

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



**BOLU KENT ATMOSFERİNDE FARKLI PARÇACIK  
BOYUTUNDA TOPLANAN AEROSOLLERDE METALLERİN  
SEVİYELERİ: ZAMANSAL DEĞİŞİMLER VE KAYNAKLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYŞENUR TEKİN**

**TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. FATMA ÖZTÜRK**

**BOLU, TEMMUZ - 2024**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Ayşenur TEKİN** tarafından hazırlanan “**BOLU KENT  
ATMOSFERİNDE FARKLI PARÇACIK BOYUTUNDA TOPLANAN  
AEROSOLLERDE METALLERİN SEVİYELERİ: ZAMANSAL  
DEĞİŞİMLER VE KAYNAKLAR**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle  
kabul edilmiştir. 29/07/2024

### Jüri Üyeleri

### İmza

Danışman  
Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye  
Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

.....

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi İlker BALCILAR  
Eskişehir Teknik 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.

.....  
**AYŞENUR TEKİN**

## ÖZET

**BOLU KENT ATMOSFERİNDE FARKLI PARÇACIK BOYUTUNDA  
TOPLANAN AEROSOLLERDE METALLERİN SEVİYELERİ:  
ZAMANSAL DEĞİŞİMLER VE KAYNAKLAR  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
AYŞENUR TEKİN  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. FATMA ÖZTÜRK)  
BOLU, TEMMUZ - 2024  
XIII + 110**

Bu çalışmanın amacı farklı parçacık boyutunda element konsantrasyonlarının belirlenmesidir. Bu amaca ulaşmak için Bolu şehir merkezinde Bolu Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün bahçesinde çalıştırılan hava kalitesi izleme istasyonunda 17/2/2021-10/3/2022 tarihleri arasında altı farklı fraksiyonda ( $>7.2$ ,  $3-7.2$ ,  $1.5-3$ ,  $0.95-1.5$ ,  $0.49-0.95$ ,  $<0.49 \mu m$ ) PM örnekleri toplanmıştır. Toplanan örnekler elementler (Ag, As, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Cs, Fe, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, V ve Zn açısından ICPMS cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Üretilen veri setine çeşitli istatistiksel teknikler uygulanarak PM kompozisyonunu etkileyen kirletici kaynakları ve PM kompozisyonunda belirlenen elementlerin sağlık riski değerlendirilmiştir. PM kompozisyonunu etkileyen başlıca kirletici kaynakları yol tozu, trafik, kömür yanması, ve toprak olarak belirlemiştir. Sağlık riski değerlendirmesi sonuçlarına göre Bolu ilinde yaşayan çocuklar için kanserojen olmayan risklerin kabul edilen sınır değerin yaklaşık iki katı olduğu diğer taraftan kanserojen olmayan risklerin erişkinler için bir tehdit oluşturmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde çocuklar için hesaplanan kanserojen risk değerinin de kabul edilebilir limit değerin üstünde olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Bolu, Aerosol, Parçacık Boyutu, Element, Sağlık Riski Değerlendirmesi

## **ABSTRACT**

### **SIZE-SEGREGATED CONCENTRATION OF METALS IN AN URBAN AEROSOL OF BOLU (TÜRKİYE): TEMPORAL VARIATIONS AND SOURCES**

**MSC THESIS**

**AYŞENUR TEKİN**

**BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. FATMA ÖZTÜRK)**

**BOLU, JULY 2024**

**XIII+110**

The main objective of this study is to find the chemical composition of size segregated PM. To achieve this objective, PM samples were collected at six different particle sizes ( $>7.2$ ,  $3-7.2$ ,  $1.5-3$ ,  $0.95-1.5$ ,  $0.49-0.95$ ,  $<0.49$   $\mu\text{m}$ ) between 17/2/2021-10/3/2022 at an air quality monitoring station established at the city center in the garden of Bolu Meteorology Province Directorate. The collected PM samples were analyzed in terms of elements (Ag, As, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Cs, Fe, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, V ve Zn) by using ICPMS. The data set was evaluated by using different statistical techniques to find the sources impacting the chemical composition of PM and also to interpret the health risks imposed on the people living in the city. The results indicated that there are mainly four different sources affecting the air quality of the city, namely, emissions from traffic, coal combustion road dust and soil. The health impact assessment revealed that the elements in the PM pose both carcinogenic and non-carcinogenic health impacts on children.

**KEYWORDS:** Bolu, Aerosol, Particle Size, Element, Health Risk Assessment

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                                           |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| KABUL VE ONAY SAYFASI .....                                                               | iii  |
| ETİK BEYAN.....                                                                           | iv   |
| ÖZET.....                                                                                 | v    |
| ABSTRACT .....                                                                            | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                         | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                        | ix   |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                       | xi   |
| KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....                                                       | xii  |
| TEŞEKKÜR .....                                                                            | xiii |
| 1. GİRİŞ.....                                                                             | 1    |
| 1.1 Çalışmanın Amacı .....                                                                | 3    |
| 1.2 Çalışmanın Kapsamı.....                                                               | 4    |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ.....                                                                   | 5    |
| 2.1 Hava Kirliliği .....                                                                  | 5    |
| 2.2 Partikül Madde (PM) .....                                                             | 8    |
| 2.2.1 Aerosollerin Kaynakları .....                                                       | 8    |
| 2.2.2 Partikül Boyut Dağılımı .....                                                       | 11   |
| 2.2.3 Partikül Maddenin İnsan Sağlığına Etkisi .....                                      | 13   |
| 2.2.4 Partikül Maddenin Çevresel Etkileri .....                                           | 15   |
| 2.2.5 Elementler.....                                                                     | 18   |
| 2.3 Türkiyede PM Element İçeriği Üzerine Yapılan Çalışmalar.....                          | 24   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                                               | 27   |
| 3.1 Sabit İstasyonda İzleme ve Örneklemeye Çalışması.....                                 | 27   |
| 3.1.1 Partikül Madde Örneklerinin Toplanması .....                                        | 28   |
| 3.2 Toplanan Örneklerin Analizi .....                                                     | 32   |
| 3.2.1 Gravimetrik Analiz .....                                                            | 32   |
| 3.2.2 Eser Elementlerin ICP-MS ile Analizi .....                                          | 32   |
| 3.2.3 Analizler Sırasında Takip Edilen Kalite Kontrol/Kalite Güvence<br>Prosedürleri..... | 33   |
| 3.3 Metal Maruziyetine Bağlı Olarak Sağlık Riskinin Belirlenmesi .....                    | 37   |
| 3.4 Faktör Analizi .....                                                                  | 41   |
| 3.5 Zenginleştirme Faktörü.....                                                           | 41   |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....                                                             | 44   |
| 4.1 Kirlenici Konsantrasyonlarının İstatistiksel Özeti.....                               | 44   |
| 4.1.1 Partikül Madde (PM) Kütle Konsantrasyonları.....                                    | 44   |
| 4.1.2 Metal Konsantrasyonları.....                                                        | 46   |
| 4.1.3 Literatür ile Karşılaştırma.....                                                    | 55   |

|                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2 Partikül Madde Kompozisyonunda Belirlenen Parametrelerin Zamansal Değişimi ..... | 59         |
| 4.2.1 Partikül Madde Kompozisyonunda Belirlenen Elementlerin Mevsimsel Değişimi..... | 63         |
| 4.3 Elementlerin Parçacık Boyut Dağılımları.....                                     | 81         |
| 4.1 Kirlenici Kaynaklarının Belirlenmesi.....                                        | 86         |
| 4.1.1 Zenginleştirme Faktörü .....                                                   | 86         |
| 4.1.2 Elementler Arasındaki Korelasyonlar .....                                      | 93         |
| 4.1.3 Faktör Analizi ile Kirlenici Kaynaklarının Belirlenmesi .....                  | 94         |
| 4.1.4 Sağlık Riski Değerlendirmesi.....                                              | 97         |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                                    | <b>101</b> |
| <b>6. KAYNAKLAR.....</b>                                                             | <b>103</b> |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Atmosferde bulunan gazlar ve kuru havadaki oranları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü).....                  | 5  |
| Şekil 2.2. Hava kirliliğine neden olan kirleticilerin birincil ve ikincil kaynakları (Döreroğlu, 2017).....        | 6  |
| Şekil 2.3. Birincil partiküller ve kaynakları (IPCC'den revize edilmiştir).....                                    | 9  |
| Şekil 2.4. İkincil partiküller ve kaynakları (IPCC'den revize edilmiştir).....                                     | 10 |
| Şekil 2.5. PM boyut dağılımı (Ertürk, 2016).....                                                                   | 11 |
| Şekil 2.6. Partikül madde boyutu ve solunum sisteminin şematik bir diyagramı (Partikül Madde Zararları, 2022)..... | 14 |
| Şekil 2.7. 2021 ve 2022 yılları arasında Türkiye'de gözlenen ölümlerin nedenleri (TÜİK Kurumsal, 2022).....        | 15 |
| Şekil 2.8. Işık demetinin saçılımı (A: yansıma, B: kırılma, C: kırılma ve yansıma, D: sapma) (Patel, 2015).....    | 16 |
| Şekil 2.9. 1750- 2011 yılları arasında emisyonlardan kaynaklanan ışımsal zorlama (IPCC, 2013).....                 | 17 |
| Şekil 3.1. Örnekleme noktası.....                                                                                  | 27 |
| Şekil 3.2. Örnekleme kabini.....                                                                                   | 28 |
| Şekil 3.3. Tisch marka yüksek hacimli örnekleyici.....                                                             | 29 |
| Şekil 3.4. Şubat 2021-Mart 2022 ayları arasında meteorolojik parametrelerin zamansal değişimi.....                 | 31 |
| Şekil 3.5. Örnekleme döneminde rüzgar yönü ve hızının değişimi.....                                                | 31 |
| Şekil 3.6. Yüksek hacimli kaskat örnekleyici ile toplanan PM örnekleri.....                                        | 32 |
| Şekil 3.7. Element analizinde kullanılan ICPMS cihazı.....                                                         | 33 |
| Şekil 3.8. Örnek ve filtre şahitlerinde belirlenen konsantrasyonların oranları.....                                | 34 |
| Şekil 3.9. ICPMS analizlerinde elementler için hesaplanan tekrarlanabilirlik değerleri.....                        | 36 |
| Şekil 4.1. Fe elementinin parçacık boyut dağılım grafiği.....                                                      | 56 |
| Şekil 4.2. As konsantrasyonunun zamansal değişimi.....                                                             | 61 |
| Şekil 4.3. Zn konsantrasyonunun zamansal değişimi.....                                                             | 61 |
| Şekil 4.4. Cu konsantrasyonunun zamansal değişimi.....                                                             | 62 |
| Şekil 4.5. Ba konsantrasyonunun zamansal değişimi.....                                                             | 62 |
| Şekil 4.6. Mn konsantrasyonunun zamansal değişimi.....                                                             | 63 |
| Şekil 4.7. Fe konsantrasyonunun zamansal değişimi.....                                                             | 63 |
| Şekil 4.8. Ag konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                            | 72 |
| Şekil 4.9. As konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                            | 73 |
| Şekil 4.10. Ba konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 73 |
| Şekil 4.11. Cd konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 74 |
| Şekil 4.12. Co konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 74 |
| Şekil 4.13. Cr konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 75 |
| Şekil 4.14. Cs konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 75 |
| Şekil 4.15. Cu konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 76 |
| Şekil 4.16. Fe konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 76 |
| Şekil 4.17. Ga konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 77 |
| Şekil 4.18. Mn konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 77 |
| Şekil 4.19. Ni konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                           | 78 |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.20.</b> Pb konsantrasyonunun mevsimsel değişimi .....                                                                 | 78 |
| <b>Şekil 4.21.</b> Rb konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                                  | 79 |
| <b>Şekil 4.22.</b> Sr konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                                  | 79 |
| <b>Şekil 4.23.</b> Tl konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                                  | 80 |
| <b>Şekil 4.24.</b> V konsantrasyonunun mevsimsel değişimi .....                                                                  | 80 |
| <b>Şekil 4.25.</b> Zn konsantrasyonunun mevsimsel değişimi.....                                                                  | 81 |
| <b>Şekil 4.26.</b> Elementlerin farklı parçacık boyutunda belirlenen konsantrasyon değerlerinin mevsimsel değişimi.....          | 84 |
| <b>Şekil 4.27.</b> Elementlerin farklı parçacık boyutunda belirlenen konsantrasyon değerlerinin mevsimsel değişimi (Devam) ..... | 85 |
| <b>Şekil 4.28.</b> >7.2 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü .                                              | 86 |
| <b>Şekil 4.29.</b> 3-7.2 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü                                               | 87 |
| <b>Şekil 4.30.</b> 1.5-3 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü                                               | 88 |
| <b>Şekil 4.31.</b> 0.95-1.5 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü .....                                      | 89 |
| <b>Şekil 4.32.</b> 0.49-0.95 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü .....                                     | 90 |
| <b>Şekil 4.33.</b> <0.49 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü                                               | 91 |
| <b>Şekil 4.34.</b> PM <sub>10</sub> fraksiyonu için hesaplanan zenginleştirme faktörü.....                                       | 92 |
| <b>Şekil 4.35.</b> Korelasyon analizi sonuçları .....                                                                            | 93 |
| <b>Şekil 4.36.</b> Korelasyon değerlerinin kümele analizi sonuçları .....                                                        | 94 |
| <b>Şekil 4.37.</b> Faktör analiz sonuçlarının şematik gösterimi .....                                                            | 95 |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 1.1.</b> PM limit değerleri .....                                                                                                                            | 2   |
| <b>Tablo 2.1.</b> Doğal kaynaklardan ve antropojenik kaynaklardan yılda atmosfere karışan partikül madde miktarları (Kahramantekin, 2006) .....                       | 10  |
| <b>Tablo 2.2.</b> Partikül maddelerin boyutlarına göre sınıflandırılması (Müezzinoğlu, 2005).....                                                                     | 13  |
| <b>Tablo 2.3.</b> Sektörel bazda ağır metal kaynakları(Özkan, 2009).....                                                                                              | 19  |
| <b>Tablo 2.4.</b> Atmosferik partikül maddelerin elementel özellikleri(Morawska & Zhang, 2002) .....                                                                  | 20  |
| <b>Tablo 2.5.</b> Elementlerin limit değerleri ( <i>Mevzuat Bilgi Sistemi</i> , 2009; WHO, 2005).....                                                                 | 21  |
| <b>Tablo 2.6.</b> Elementlerin kaynakları ve sağlık etkisi (Yerli vd., 2020) .....                                                                                    | 22  |
| <b>Tablo 2.7.</b> Farklı emisyon kaynaklarındaki partiküllerden gelen kimyasallar (Chow, 1995).....                                                                   | 23  |
| <b>Tablo 3.1.</b> Meteorolojik parametrelerin saatlik ortalamalarının istatistiksel özeti                                                                             | 30  |
| <b>Tablo 3.2.</b> Sağlık riski hesabında kullanılan parametrelerin yetişkin ve çocuklar için literatürde verilen değerleri .....                                      | 39  |
| <b>Tablo 3.3.</b> Kanserojenik ve kanserojenik olmayan risklerin hesaplanmasında kullanılan parametreler ve farklı metaller için literatürde kullanılan değerler..... | 40  |
| <b>Tablo 4.1.</b> Tüm örnekleme döneminde belirlenen partikül madde konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....  | 44  |
| <b>Tablo 4.2.</b> Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: $\text{ng}/\text{m}^3$ ) .....             | 51  |
| <b>Tablo 4.3.</b> Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: $\text{ng}/\text{m}^3$ ) (Devam) .....     | 52  |
| <b>Tablo 4.4.</b> Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: $\text{ng}/\text{m}^3$ ) (Devam) .....     | 53  |
| <b>Tablo 4.5.</b> Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: $\text{ng}/\text{m}^3$ ) (Devam) .....     | 54  |
| <b>Tablo 4.6.</b> Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: $\text{ng}/\text{m}^3$ ) (Devam) .....     | 55  |
| <b>Tablo 4.7.</b> Bu çalışmada elde edilen metal değerlerinin literatürde verilen değerler ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi: $\text{ng}/\text{m}^3$ )..... | 58  |
| <b>Tablo 4.8.</b> Faktör analizi ile belirlenen faktörler .....                                                                                                       | 96  |
| <b>Tablo 4.9.</b> $<1.5 \mu\text{m}$ belirlenen parametrelerden kaynaklanan kanserojenik olmayan sağlık riski .....                                                   | 99  |
| <b>Tablo 4.10.</b> $<1.5 \mu\text{m}$ belirlenen parametrelerden kaynaklanan kanserojenik olan sağlık riski .....                                                     | 100 |

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

|                         |                                        |
|-------------------------|----------------------------------------|
| <b>PM</b>               | : Partikül Madde                       |
| <b>US EPA</b>           | : Amerika Çevre Koruma Ajansı          |
| <b>ZF</b>               | : Zenginleştirme Faktörü               |
| <b>FA</b>               | :Faktör Analizi                        |
| <b>ng</b>               | :Nanogram                              |
| <b>BAF</b>              | :Birikim Faktörü                       |
| <b>IPCC</b>             | :Uluslararası İklim Değişikliği Paneli |
| <b>HFC</b>              | :Hidroflorokarbon                      |
| <b>DMİ</b>              | : Devlet Meteoroloji İşleri            |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b> | : Aerodinamik çapı 2.5 µm'den küçük PM |
| <b>PM<sub>10</sub></b>  | : Aerodinamik çapı 2.5 µm'den küçük PM |
| <b>SRM</b>              | : Standart Referans Madde              |
| <b>MGM</b>              | :Meteoroloji Genel Müdürlüğü           |

## TEŞEKKÜR

Danışmanım Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK'e çalışmamın her aşamasındaki denetim ve önerisiyle rehberlik edip sonsuz cesaretlendirmesi ve yardımlarıyla süreci bitirmemdeki büyük yardımları için derinden minnettarım.

Tezimi değerlendiren ve değerli katkılar sunan Sayın Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlker BALCILAR'a çok teşekkür ederim.

Atmosferik Araştırma Laboratuvarı grup üyelerim Eda SAĞIRLI ve Emre DİKMEN'e örnekleme ve analiz sırasında gösterdikleri yardım, manevi destek ve dostluklarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Hem ev arkadaşım olarak özel hayatımda hem de çalışmalarım boyunca laboratuvarıda beraber çalıştığım canım arkadaşım Burcu ÜNAL'a destek ve sabrı için teşekkür etmek istiyorum.

Bu süreçte fiziki olarak yanımda olmaları da her zaman sevgi ve desteklerini hissettiğim dostlarımla Melike ALTUN DEMİRER, Ogün ÇELİK ve Tuğba KILIÇ TÜRKMEN'e çok teşekkür ederim.

Sadece çalışma ve tez sürecimde değil hayatım boyunca sonsuz sevgi, destekle, anlayış ve sabırları için babam Ertan TEKİN, annem Aliye TEKİN ve kardeşim Ahmetcan TEKİN'e en derin teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Son olarak Dursun YEŞİLKAYA'ya sabrından dolayı teşekkür etmek istiyorum. Tez sürecim boyunca her zaman yanımda olup beni motive ederek başarabileceğime olan inancımı kaybetmeme asla izin vermedi. Bu tezin tamamlanması onun desteği ve sevgisi olmadan çok zor olurdu.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119Y256 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

# 1. GİRİŞ

Sanayileşme, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de hızlı bir kentleşme ve beraberinde çeşitli çevre sorunlarını getirmiştir. Kentleşme yönünden hızlı gelişen bölgelerdeki başlıca çevre sorunlarını evsel ve sanayi kaynaklı atıksuların arıtılmadan alıcı ortamlara verilmesiyle oluşan su kirliliği, miktarı giderek artan katı atıklar ve trafik, ısınma ve sanayiden kaynaklanan hava kirliliği şeklinde sıralamak mümkündür (Akdur vd., 1998).

Bu kirlilik türleri içinde hava kirliliği hâlâ önemli bir sorun olarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Havanın normal bileşiminde bulunmayan kirleticilerin, canlılara ve materyallere zarar verecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre atmosferde bulunması hava kirliliği olarak adlandırılır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), dünya nüfusunun %91’ini oluşturan popülasyonun yaşadığı yerlerde, hava kalitesinin sınır değerleri aştığını ve her yıl 4.2 milyon kişinin hava kirliliğine bağlı olarak yaşamını yitirdiğini belirtmektedir (WHO, 2000).

Hava kirliliğinin oluşabilmesi için ortamda kirletici kaynaklarının olması, coğrafik yapının ve meteorolojik koşulların uygun olması gereklidir. Uygun olmayan kentleşme, evsel ısıtmada kalitesiz yakıtların kullanılması, fazla atık bırakan ısıtma sistemlerinin kullanılması, termik santraller ve diğer sanayi tesisleri, taşıt egzozları önemli kirletici kaynakları oluşturmaktadır. Kirletici kaynaklarının yakınında sıra dağların bulunması, açık alanların olmayışı gibi bölgenin coğrafi özellikleri ile hava hareketlerinin durumu kirliliğin diğer belirleyicileridir (Akdur vd., 1998; Güler & Akın, 2015).

Hava kirleticilerini gazlar ve aerosol kirleticiler olarak gruplandırmak mümkündür. Karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve uçucu organik bileşikler (UOB) başlıca gaz kirleticilerdir. PM<sub>10</sub> (aerodinamik çapı <10 µm olan PM) ve PM<sub>2.5</sub>(aerodinamik çapı <2.5 µm olan PM) ise solunma riskleri nedeniyle aerosol kirleticilerin en tehlikeli fraksiyonudur (Zencirci & Işıklı, 2017).

Partikül madde (PM) yapısında pek çok kirletici bileşeni bulunduran bir karışımdır. Çeşitli antropojenik ve doğal aktiviteler sonucunda oluşan partikül maddenin bileşiminin belirlenmesi oldukça önemlidir. Partikül maddenin kütle

miktarının bilinmesi bile bir kentte yaşayan insanların sağlığının korunması hususunda alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir (Pascal vd., 2014; Zhai vd., 2014).

**Tablo 1.1'**de ülkemizde ve dünyada farklı kurumlar tarafından belirlenen PM limit değerleri paylaşılmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen değerler en sıkı olan PM limit değerleridir.

**Tablo 1.1.** PM limit değerleri

|                         | TÜRKİYE <sup>1</sup>    |                         | WHO<br>(DÜNYA SAĞLIK<br>ÖRGÜTÜ) <sup>2</sup> |                         | EPA<br>(ÇEVREYİ<br>KORUMA<br>AJANSI) <sup>3</sup> |                        | EEA<br>(AVRUPA ÇEVRE<br>AJANSI) <sup>4</sup> |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
|                         | 24 saat                 | 1 yıl                   | 24 saat                                      | 1 yıl                   | 24 saat                                           | 1 yıl                  | 24 saat                                      | 1 yıl                   |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b> | -                       | -                       | 15<br>µg/m <sup>3</sup>                      | 5 µg/m <sup>3</sup>     | 35<br>µg/m <sup>3</sup>                           | 9<br>µg/m <sup>3</sup> | 50<br>µg/m <sup>3</sup>                      | 25<br>µg/m <sup>3</sup> |
| <b>PM<sub>10</sub></b>  | 50<br>µg/m <sup>3</sup> | 40<br>µg/m <sup>3</sup> | 45<br>µg/m <sup>3</sup>                      | 15<br>µg/m <sup>3</sup> | 150<br>µg/m <sup>3</sup>                          | -                      | 50<br>µg/m <sup>3</sup>                      | 40<br>µg/m <sup>3</sup> |

(1)(Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008)

(2)(Heinecke, 2021)

(3)(US EPA, 2014)

(4)(Exceedance of Air Quality Standards in Europe, t.y.)

Partikül maddelere maruziyet, literatürde solunum ve dolaşım sistemi hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Polichetti vd., 2009). Güncel bulgular, partikül madde kirliliğinin aynı zamanda beyin ve sinir sistemini de etkilediğini (Chew vd., 2020), bebeklerin daha düşük kilo ile doğmasına sebep olduğunu (Kim vd., 2016) obezite ve metabolik sendrom riskini arttırdığını (Wei vd., 2016) da belirtmektedir. Partikül madde kirliliği, sağlık etkilerinin haricinde kuru ve yağ çökeltme ile ekosistemlerin yapısına da dâhil olmakta ve toprağın yapısını değiştirmektedir. Yeşil bitkilerde de yapraklar üstünde birikerek fotosentez oranını etkilemektedir (Rai, 2016). Benzer şekilde güneş enerjisi sistemlerinin üzerinde biriken partiküller de enerji üretim verimini düşürmektedir (Sarver vd., 2013). Aynı zamanda en büyük etkisi ise iklim değişikliğine neden olmasıdır. Tüm bu olumsuz etkilerden dolayı atmosferdeki partikül madde kirliliğinin sürekli olarak izlenmesi ve sınır değerlerin aşılması durumunda gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

İklim değışikliği ekolojik, sosyal ve ekonomik sistemlere önemli derecede zarar vermektedir. İnsan aktiviteleri sonucu atmosfere salınan karbondioksit ve diğer ısı tutan (sera) gazların artışıyla beraber, dünya ortalama sıcaklığının artacağı, yağış paternlerinin etkileneceği, buz ve kar örtüsünün azalacağı, deniz seviyesinin yükseleceği, okyanusların asitliği artacağı, ekstrem olayların sıklığı, yoğunluğu ve süresinin artacağı, değışik ekosistem özelliklerinin görüleceği beklenmektedir. Artış ve değışiklik göstermesi beklenen tüm bu hadiselerin, insan sağlığına yönelik tehditleri artıracığı da kaçınılmazdır. Bu sebeple, iklimde gerçekleşen ve gerçekleşmesi muhtemel değışimlerin incelenmesi önem arz etmektedir. Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Doğu Akdeniz havzası, iklim değışikliğine en duyarlı bölgelerden biridir. Aynı zamanda Doğu Akdeniz havzası, Afrika ve Orta Doğu çöllerini içerdiği için bölgede sık gerçekleşen toz taşınımı sebebiyle aerosol miktarında artışlarla beraber hava kalitesinde düşüş yaşamaktadır (Oğuz & Akın, 2019).

İklimi etkileyen önemli faktörlerden birisi de atmosferik aerosollerdir. Bunların başında, deniz tuzu, sülfat bileşikleri, siyah karbon ve son zamanlarda Doğu Akdeniz havzası atmosferinde baskın hale gelen çöl tozlarıdır. Atmosferde asılı kalan bu aerosol parçacıkları, doğal ve endüstriyel işlemler aracılığıyla atmosfere karışır ve uygun rüzgarlar ve hava koşulları ile dünyanın dört bir yanından taşınırlar. Bu parçacıklar, hem güneş ışınımının yayılması ve emilmesi yoluyla doğrudan, bulut özelliklerini değıştirme yoluyla da dolaylı olarak iklimi etkilemektedirler (Samset, 2016).

### **1.1 Çalışmanın Amacı**

Ülkemizin de içinde bulunduğu Doğu Akdeniz bölgesi dünyanın diğer bölgelerine göre daha fazla iklim değışikliğinden etkilenmekte olup bölgede gözlenen küresel ısınmanın arkasında en önemli etkenin sera gazlarından ziyade aerosol kaynaklı olduğu ortaya konulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar troposferik aerosollerin önemli bir kısmının insan faaliyetleri sonucunda atmosfere salındığını göstermektedir. Troposferik aerosollerini atmosfere salan en önemli antropojenik kaynaklar arasında yakıtların yakılması, endüstriyel tesisler, endüstriyel olmayan kaçak emisyonlar (yollardan kaynaklanan toz, tarım ve diğer alanlardan rüzgar ile atmosfere taşınan toz) ve ulaşım emisyonları sayılabilir.

Atmosferik aerosoller genellikle birden fazla kaynaktan salınan emisyonların karışımını içermektedir. Aerosollerin yapısında bulunan bazı metaller yer kabuğunun doğal bir bileşeni olup biyolojik açıdan gereklidir. Metallerin bir kısmı ise çok çeşitli antropojenik kaynaklardan atmosfere salınmakta olup sadece ekosistem için değil aynı zamanda insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Literatürde PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> kompozisyonunda elementlerin belirlenmesine yönelik kayda değer sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak, ultra ince partiküllerin kimyasal kompozisyonunun belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Diğer taraftan, ultra ince partiküllerin solunum sisteminde daha derinlere hareket etmesi nedeniyle insan sağlığı üzerinde daha olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenler özellikle ultra ince partiküllerin kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi halk sağlığı açısından son derece önemlidir.

Bu çalışmanın ana amacı, Bolu şehir merkezinde trafiğin ve şehirleşmenin yoğun olduğu bir alanda konuşlandırılan bir hava kalitesi izleme istasyonunda altı farklı fraksiyonda toplanan aerosol örneklerinde metallerin seviyelerinin (Ag, As, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Cs, Fe, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, V ve Zn) belirlenmesidir.

Bu çalışma aşağıdaki araştırma sorularını içermektedir:

1. PM örneklerinde belirlenen element konsantrasyonları mevsimsel değişim göstermekte midir?
2. PM örneklerinde belirlenen element konsantrasyonları parçacık boyutu ile değişim göstermekte midir?
3. PM örneklerinde belirlenen elementler arasında bir korelasyon var mıdır?
4. Çalışma alanında bulunan kaynaklar PM örneklerinin element seviyelerini etkilemekte midir?

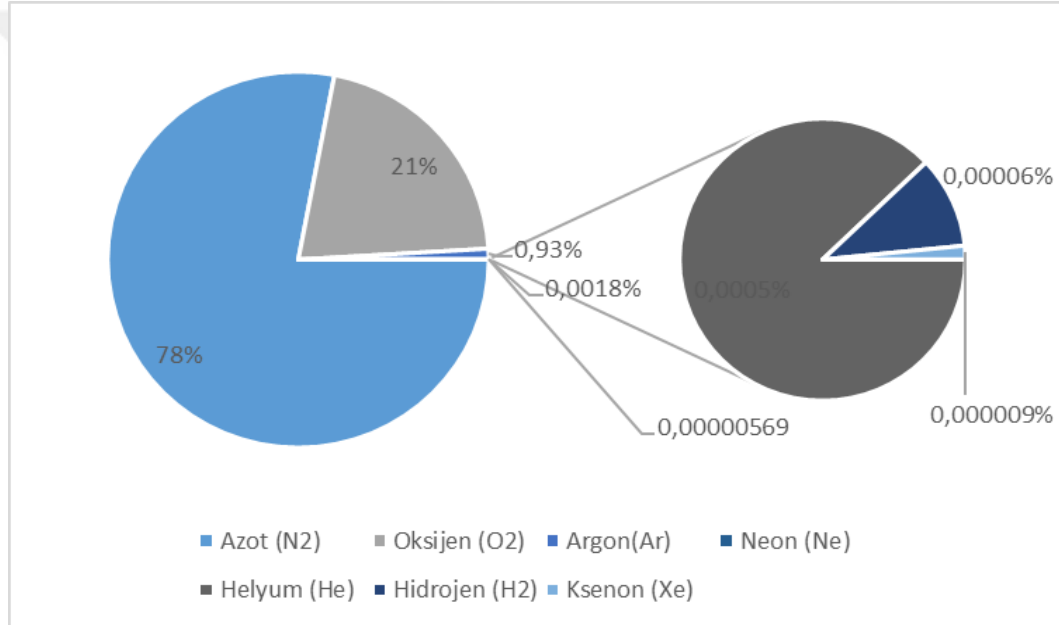
## **1.2 Çalışmanın Kapsamı**

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

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 Hava Kirliliği

Hava, atmosferi oluşturan, su ve yiyecek gibi canlılar için gerekli olan gazların bir karışımıdır (Aydınlar vd., 2009; Velicangil, 1980). **Şekil 2.1**'de atmosferde bulunan gazlar ve kuru havadaki oranları gösterilmektedir. Kuru hava; %78.09 nitrojen, %20.95 oksijen, %0.093 argon, %0.03 karbondioksit içerir. Duman, toz parçacıkları, kükürt ve nitrojen içeren gazlar ya yoktur ya da az miktarda mevcuttur. Oranları değişen atmosferik gazlar ise; karbon dioksit (%0-4) ve su buharıdır (%0.039) (Atmosfer - Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023).



**Şekil 2.1.** Atmosferde bulunan gazlar ve kuru havadaki oranları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından, havanın bileşiminin insan sağlığını veya çevre dengesini bozacak şekilde değişmesi olarak da tanımlanan hava kirliliği, "havada kirletici maddelerin varlığı" olarak tanımlamaktadır. İnsan sağlığına, refahına zarar verebilir veya başka olumsuz çevresel etkilere neden olan bir yol açabilir (Güler & Akın, 2015; *Terms of Environment; Glossary, Abbreviations and Acronyms.* | NEPIS |, 1992).



Havaya karışan kirleticilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma mekanizmalarıyla taşınarak dünyanın kendi kendini temizlemesine otomatik hava temizleme denir. Havaya karışan kirletici maddelerin miktarı ve hızı, havanın otomatik temizleme hızını ve gücünü aştığında hava kirliliği oluşur. (Akdur vd., 1998).

Çevre kirliliği sorunları arasında hava kirliliği, kaynaktan salındıktan sonra geri döndürülemez olması, gelen ortam tarafından temizlenememesi, kısa sürede geniş bir alana yayılıp büyük kitleleri etkilemesi gibi özellikleri nedeniyle fazlasıyla önemlidir (Hilmioğlu, 2004).

Hava kirleticileri fiziksel durumlarına göre de sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre kirleticiler; Gazlar ve parçacıklar olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Velicangil, 1980; WHO, 2005). Gazlar, filtre ortamıyla adsorbe edilmedikçe veya kimyasal olarak reaksiyona girmedikçe filtrelerden geçebilen küçük moleküllerdir (WHO, 2005). Partikül madde ise atmosferde asılı katı veya sıvı damlacıklar halinde bulunur.

Gazlar solunum yollarına kolayca girmelerine rağmen, suda çözündüklerinde üst solunum yollarında kaldıkları için akciğerlerin derinliklerine ulaşamazlar (WHO, 2005). Bu gazlardan bazıları; SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, hidrokarbonlar, CO<sub>2</sub>, ozon, uçucu organik bileşiklerdir. Küçük boyutları nedeniyle partikül maddeler akciğerlerin derinliklerine, hatta bazıları kan dolaşımımıza bile girebilir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hava kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi, tüm illerde hava kirliliği politikalarının hazırlanması ve bu politikalar çerçevesinde illerdeki hava kalitesinin geçen yılki değerlere göre iyileştirilmesi amacıyla hava kalitesi istasyonları kurulup Türkiye çapında Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur. Kurulan ölçüm istasyonlarında kükürt dioksit ve partikül madde gibi parametrelerin ölçümleri yapılmaktadır. Ölçüm istasyonları tarafından toplanan ölçüm verileri her saat başı yayınlanmaktadır(Zencirci & Işıklı, 2017).

## 2.2 Partikül Madde (PM)

### 2.2.1 Aerosollerin Kaynakları

Hava kirliliğine neden olan başlıca hava kirleticiler arasında katı ve sıvı parçacıklar (aerosoller) veya genel tanımıyla partikül maddelerdir. Partikül madde, asitler (sülfat, nitrat gibi), organik kimyasallar, metaller, toprak veya toz parçacıkları, bakteriler, küf, mantarlar, deniz buharlaşmasından kaynaklanan tuzlar ve alerjenik polenden oluşan, atmosferde asılı katı parçacıkların ve sıvı damlacıklardır. Genellikle katı-sıvı yakıtların yanması, motorin ve kurşunlu benzin kullanan araçlar gibi yanma işlemleri, termik santraller, bazı endüstriyel faaliyetler ve atmosferik gazlardaki değişiklikler sonucu üretilirler (Vaizoglu Acar vd., 2011). Parçacıklar aerodinamik çaplarına göre adlandırılır. PM<sub>10</sub>, çapı tipik olarak 10 mikrometre (µm) veya daha küçük olan, solunabilir ince partiküller olup PM<sub>2.5</sub> ise tipik olarak 2.5 µm veya daha küçük bulunan solunabilir partiküllerdir (EPA, 2023).

Partikül madde, insan sağlığı, iklim değişikliği ve görünürlük üzerinde olumsuz etkileri olan kentsel hava kirliliğinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Fierro, 2001). Partikül maddelerin kimyasal bileşimi oldukça karmaşıktır. Emisyon kaynağına, boyutuna, aerodinamik çapına ve hava koşullarına bağlı olarak değişir (Pražnikar & Pražnikar, 2012).

**Şekil 2.3**'te birincil partiküllerin kaynakları gösterilmektedir. Organik aerosol, asitler (sülfatlar ve nitratlar gibi), organik kimyasallar ve metallerden oluşan atmosferik ince PM'nin önemli bir bölümünü oluşturur. Birçok organik bileşikten oluşan bu karışım, özellikle yanma süreçlerinden (birincil organik aerosol doğrudan partikül formunda atmosfere salınabildiği gibi, atmosferde ikincil organik aerosol olarak da bulunabilmektedir. Organik aerosol, gaz fazındaki bileşiklerin reaksiyonlar sonucu yoğunlaşarak parçacık formuna dönüşmesi sonucu oluşur (M. Zheng vd., 1997).

Birincil ve ikincil parçacıkların oluşumu coğrafi konuma, parçacık emisyonlarının karışımına ve atmosferik kimyaya bağlıdır. Örneğin, birincil partiküller çoğunlukla kışın ısınmak için odunun yakıldığı yerlerde oluşurken, yaz

aylarında fotokimyasal döngüler sırasında oluşan parçacıkların önemli bir kısmı ikincil partiküllerdir(Grosjean & Friedlander, 1975).

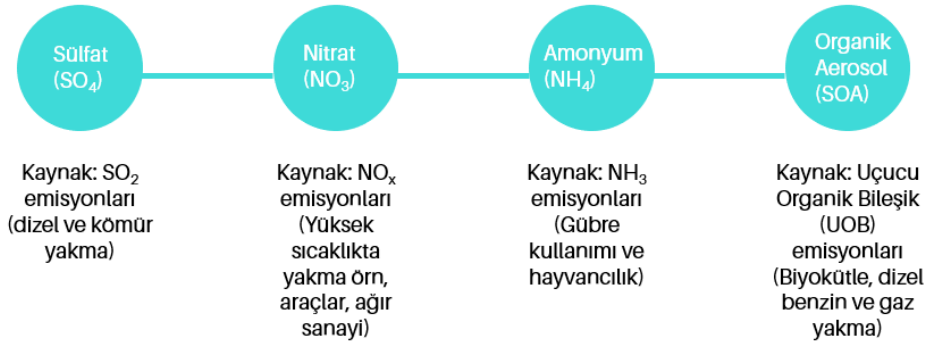


**Şekil 2.3.** Birincil partiküller ve kaynakları (IPCC'den revize edilmiştir)

Birincil parçacıkların kaynakları doğal veya antropojenik olabilir ve kaynağa bağlı olarak boyutları değişebilir. Polen, yaprak yüzeylerinden salınan parçacıklar, çürüme ürünleri, deniz tuzu, toprak tozu (mineral aerosol) ve volkanik tozlar birincil parçacıkların doğal kaynaklarıdır. Isıtma işlemleri, yakma tesisleri, buhar jeneratörleri, yangınlar, evsel ısıtma işlemleri, trafik, tarım ve inşaat faaliyetleri antropojenik kaynaklardır. Genel olarak yanma kaynakları çapı 1 µm'den küçük parçacıklar üretirken, toz kaynaklar (doğal kaynaklar) çapı 1 µm'den büyük parçacıklar üretir. Aerodinamik çapı 10 µm'den büyük olan parçacıklar, salınımlarından birkaç saat sonra yüzeyde birikir. Güçlü rüzgarlar ve türbülans tarafından yeniden yaratılmadıkları sürece ışık saçılımı üzerinde pek bir etkileri yoktur(Seinfeld & Pandis, 2016).

Motorlu taşıtlar, evsel ısıtma, yanma prosesleri gibi birincil partikül emisyonlarını etkili bir şekilde atmosfere yayan birçok emisyon kaynağı aynı zamanda gaz fazında çeşitli organik ve inorganik bileşenler oluşturan ikincil partikül madde de üretir. NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) gibi oluşan gaz halindeki türlerin bazıları, gaz fazından sülfat, nitrat ve amonyum içeren parçacık fazına geçmek için kimyasal reaksiyona geçirirler. En yaygın ikincil parçacıklar sülfatlar ve nitratlardır. Atmosferdeki gazlar, emilim, çözünme

ve yoğunlaşma yoluyla askıda partikül madde haline gelebilir (Li vd., 2021) (Süren, 2007). **Şekil 2.4**'te ikincil partiküller ve kaynakları gösterilmektedir.



**Şekil 2.4.** İkincil partiküller ve kaynakları (IPCC'den revize edilmiştir)

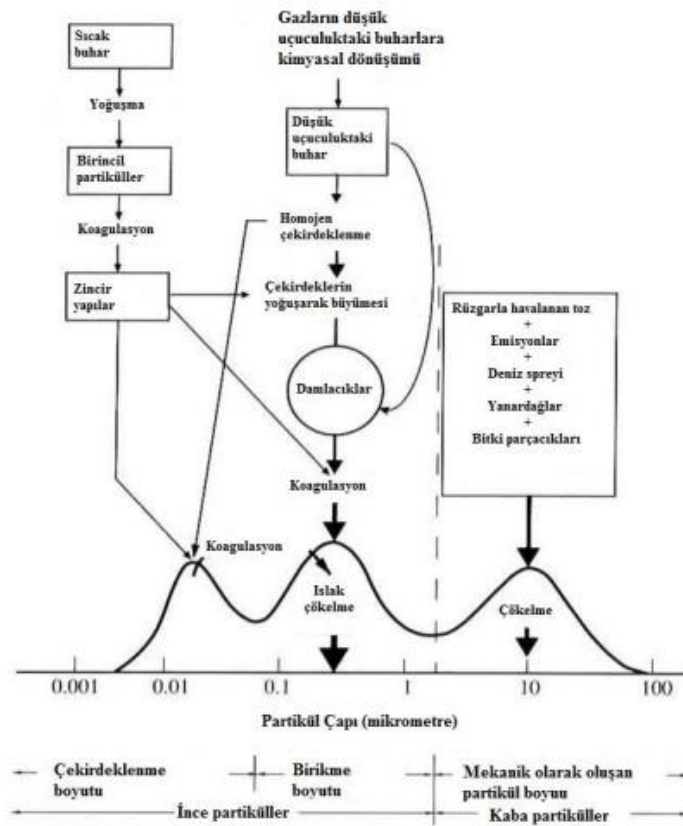
**Tablo 2.1.** Doğal kaynaklardan ve antropojenik kaynaklardan yılda atmosfere karışan partikül madde miktarları (Kahramantekin, 2006)

| Emisyon Oranları (Milyon ton/yıl)       |             |              |             |                 |
|-----------------------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| KAYNAK                                  | Düşük       | Yüksek       | Ortalama    | Partikül Boyutu |
| <b>DOĞAL</b>                            |             |              |             |                 |
| Birincil Kaynaklardan                   |             |              |             |                 |
| Toprak Kökenli Tozlar                   | 1000        | 3000         | 1500        | İri Mod         |
| Deniz Tuzları                           | 1000        | 10000        | 1300        | İri Mod         |
| Volkanik Tozalar                        | 4           | 10000        | 30          | İri Mod         |
| Biyolojik Süreçlerden                   | 26          | 80           | 50          | İri Mod         |
| İkincil Kaynaklardan                    |             |              |             |                 |
| Biyolojik Gazlardan Sülfatlar           | 80          | 150          | 130         | İnce Mod        |
| Volkanik SO <sub>2</sub> 'den Sülfatlar | 5           | 60           | 20          | İnce Mod        |
| Biyolojik VOC'lerden Organikler         | 40          | 200          | 60          | İnce Mod        |
| NO <sub>x</sub> 'den Nitratlar          | 15          | 50           | 30          | İnce İri Mod    |
| Toplam Doğal Kaynaklardan               | 2200        | 23500        | 3100        |                 |
| <b>ANTROPOJENİK</b>                     |             |              |             |                 |
| Birincil Kaynaklardan                   |             |              |             |                 |
| Endüstriyel Tozlar vb.                  | 40          | 130          | 100         | İnce İri Mod    |
| İs                                      | 5           | 20           | 10          | İnce Mod        |
| İkincil Kaynaklardan                    |             |              |             |                 |
| SO <sub>2</sub> 'den Sülfatlar          | 170         | 250          | 190         | İnce Mod        |
| Biyokütle Yanması                       | 60          | 150          | 90          | İnce Mod        |
| NO <sub>x</sub> 'den Nitrat Oluşumu     | 25          | 65           | 50          | İri Mod         |
| Antropejonik VOC'lerden Organikler      | 5           | 25           | 10          | İnce Mod        |
| Toplam Antropejonik Kaynaklardan        | 300         | 650          | 450         |                 |
| <b>TOPLAM</b>                           | <b>2500</b> | <b>24000</b> | <b>3600</b> |                 |

## 2.2.2 Partikül Boyut Dağılımı

Partikül maddelerin fiziksel özellikleri parçacık boyutuyla ilgilidir. Parçacık boyutları, solunum sistemi hastalıklarını, güneş ışınlarının enerji taşıdığı dalga boylarını etkileyerek gelen enerji akışını değiştirme ve görüş mesafesini kısaltma gibi etkilerde bulunur.

Atmosfer boyutu dağılımının temel biçimi Whitby, Husar ve Liu (1972) tarafından tanımlanmış ve daha sonra Liu, Whitby ve Pui (1974) tarafından geliştirilip Şekil 2.5'teki son halini almıştır (R. E. Lee, 1972; Whitby vd., 1974)



Şekil 2.5. PM boyut dağılımı (Ertürk, 2016)

Atmosferdeki parçacıkların boyut dağılımı genellikle lognormal bir dağılıma uygundur. Boyut dağılımı ile oluşum mekanizmaları arasındaki ilişkiye bakarsak, ince boyut aralığının esas olarak kimyasal reaksiyonlar, çekirdeklenme, yoğunlaşma ve pıhtılaşma yoluyla gazlardan oluştuğunu görülür (Wilson & Suh, 1997).

Çekirdek Modu: İnce parçacıkların bu kısmı tipik olarak çapı 0,1 µm'den küçük parçacıklar içerir. Nükleer mod yalnızca kirlenme kaynaklarından uzak, temiz alanlardan toplanan numunelerde tespit edilebilir.

Yığılma Modu: İnce parçacıkların bu kısmı genellikle 0.08-2 µm çapında parçacıklar içerir. Sülfürik asit, amonyum hidrojen sülfat, amonyum sülfat, amonyum nitrat, organik ve elementel karbon bu bölgede bulunmaktadır (APMCG, 2001). Genellikle PM<sub>10\_2.5</sub> parçacık fraksiyonunda bulunmazlar. Ancak çekirdek kısmındaki parçacıkların pıhtılaşma veya yapışma yoluyla kaba kısımda birikebilirler (Karaca, 2005).

Çekirdeklenme modundaki parçacıklar hızla yığılma modundaki parçacıklara dönüşebilir. Ancak yığılma modundaki parçacıklar büyüüp iri parçacıklara dönüşemezler. Yığılma modunda, PM<sub>2.5</sub> parçacıkları normal hava hareketlerinde binlerce kilometre yol kat ederek günlerce askıda kalabilirler. PM<sub>2.5-10</sub> parçacıkları ise birkaç saat içinde atmosfere yerleşebilir ve yalnızca kısa mesafeler kat edebilirler (Karaca, 2005).

Partikül boyutu dağılımı, aerosol oluşumuna neden olan atmosferik süreçlerin türünü anlamak ve maruz kalma ve risk çalışmaları için literatür sağlamaktadır. Genel olarak atmosferik parçacıklar; partikül maddenin, partikül boyut ölçeğindeki bir veya daha fazla nokta etrafında toplanmaya eğilimli olduğu anlamına gelen modlu boyut dağılımına sahiptirler. Parçacıkların boyutu ve bileşimi, yoğunlaşma, buharlaşma, diğer parçacıklarla kimyasal reaksiyonlar gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Başka bir deyişle, parçacık boyutu dağılım modlarının sayısı, aerosolün yaşına, oluşma yöntemine ve ortamda farklı boyutlarda parçacıklar oluşturan aktif kaynakların varlığına bağlı olarak değişir. Ancak parçacıkların ince ve kaba dağılımının rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve bağıl nem gibi hava koşullarına büyük ölçüde bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bazı araştırmacılar parçacık büyüklüğü dağılımının mevsimsel değişimlere bağlı olduğunu da belirtmişlerdir (Hien vd., 2002).

Atmosferdeki partiküllerin boyut dağılımını anlamak, parçacıkların kaynaklarını, davranışlarını ve üretim mekanizmalarını anlamak açısından çok önemlidir. Çünkü parçacıkların sağlık ve çevresel etkileri boyutlarıyla doğru

orantılıdır. Parçacıkların aerodinamik çapı küçüldükçe sağlık açısından daha tehlikeli hale gelirler çünkü solunum yollarına daha kolay ulaşırlar ve üst solunum yollarında kalmadan derinlere doğru hareket ederler. Ayrıca küçük parçacıkların atmosferde kalma süresi arttıkça çevresel etkileri de artmaktadır (Fuzzi vd., 2015).

**Tablo 2.2.** Partikül maddelerin boyutlarına göre sınıflandırılması (Müezzinoğlu, 2005)

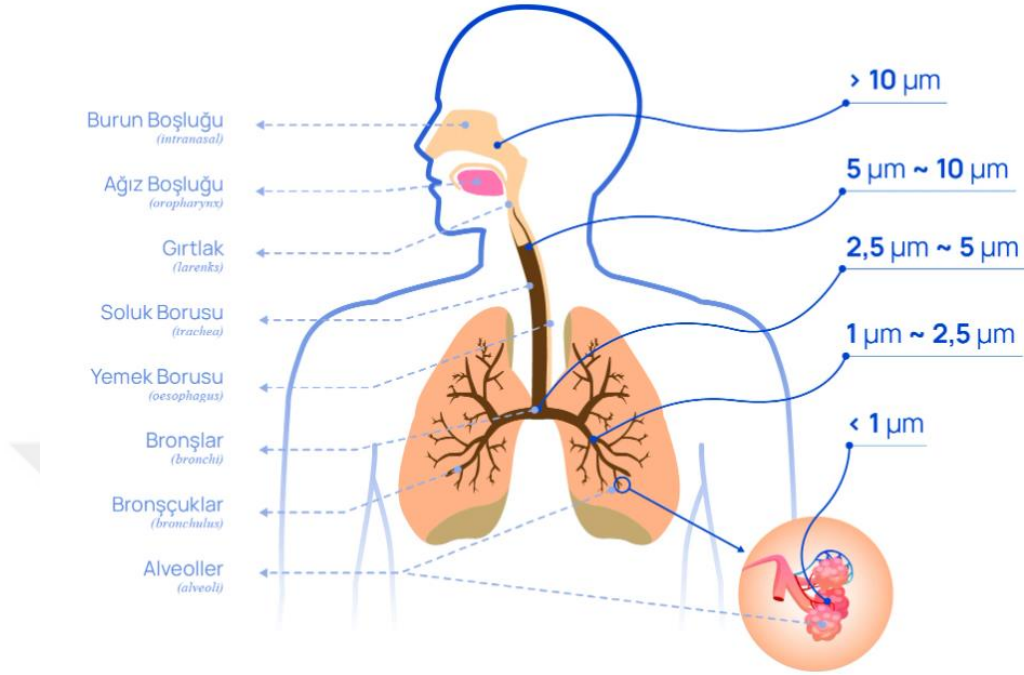
| Kirletici adı | Çap (µm) | Açıklama                                                                                                             |
|---------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uçucu kül     | 1-200    | Katı yakıtların yakılmasından oluşan ve içeriğinde yakıtında yer aldığı yanma gazlarındaki küllerdir                 |
| Toz           | 1-10     | Gaz ortamında geçici olarak asılı halde bulunan katı taneciklerdir.                                                  |
| Duman         | <1       | Tam olmayan yanma sonucu oluşan, çoğunlukla karbon ve diğer yanıcı maddeleri içeren parçacıklardır.                  |
| İslilik       | <0,5     | Karbonlu bileşiklerin tam yanmaması sonucu katranla yapılarak aglomera olan ve havada dağılan karbon tanecikleridir. |
| Sprey         | 10-200   | Bir sıvı ortamının atomize olmasıyla meydana gelen sıvı taneciklerdir.                                               |
| Sis           | 0.1-10   | Buharların yoğunlaşmasıyla oluşan ince sıvı damlacıklardır                                                           |

### 2.2.3 Partikül Maddenin İnsan Sağlığına Etkisi

Partikül kirliliği, 2.5 mikrometre çapındaki ince parçacıkları (PM<sub>2.5</sub>) ve 2.5 ila 10 mikrometre çapındaki daha küçük ve iri parçacıkları içerir. İnce parçacıklar, araçlar, bacalar ve yangınlar dahil çeşitli kaynaklardan doğrudan yayılabilir. Ayrıca bu parçacıklar, enerji santrallerinden, endüstriyel işlemlerden, benzinli ve dizel motorlardan yayılan gazların atmosferindeki reaksiyonlarla da üretilirler. Kaba parçacıklar ise trafikten, bazı tarımsal faaliyetlerden, inşaat ve yıkım faaliyetlerinden, endüstriyel faaliyetlerden ve biyokütle yakılmasından kaynaklanan yol tozunu içerir (US EPA, 2020).

Partikül madde boyutu ve solunum sisteminin şematik gösterimi **Şekil 2.6**'da sunulmuştur. Parçacıkların boyutu, sağlık sorunlarına neden olma potansiyelleri ile doğrudan ilişkilidir. Çapı 10 mikrometreden küçük olan ince parçacıklar en büyük sorunlara neden olur çünkü akciğerlerin derinliklerine, hatta bazıları kan dolaşımına bile nüfuz edebilirler. Partikül madde maruziyetinden en

çok kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler, çocuklar ve yaşlı yetişkinler etkilenmektedir (US EPA, 2020).

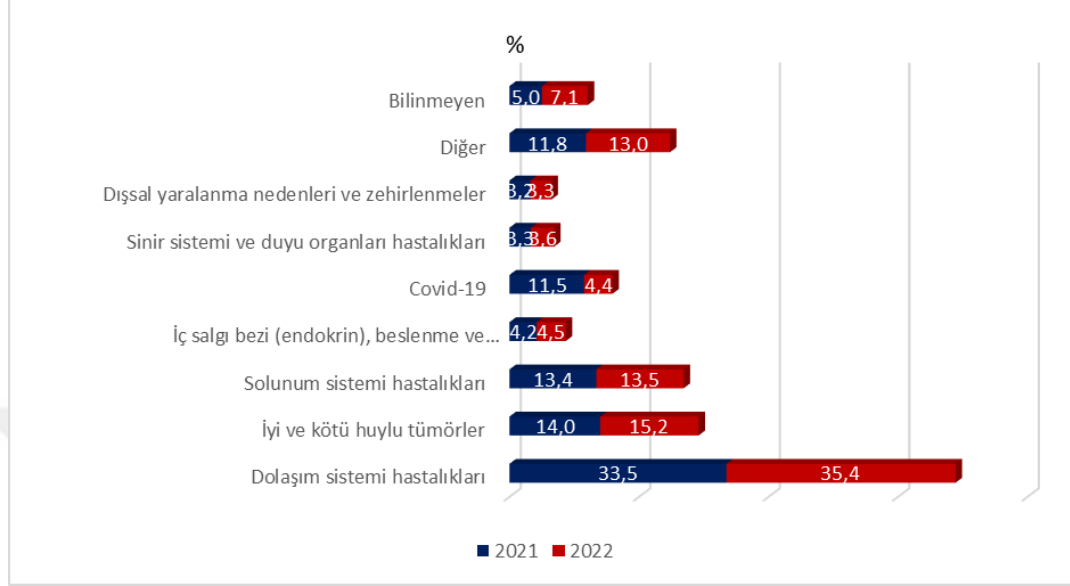


**Şekil 2.6.** Partikül madde boyutu ve solunum sisteminin şematik bir diyagramı  
(Partikül Madde Zararları, 2022)

Atmosferdeki parçacıkların insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkilerinin yanı sıra, partiküller aynı zamanda içerdikleri toksik elementler ve PAH'lar gibi kirleticileriyle dolaylı olarak da etkilidirler (Kim vd., 2015). Parçacıkların kimyasal bileşimi büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. En önemli bileşenler, nitratlar, sülfatlar, asitler, organik maddeler ve ağır metallerdir (WHO, 2003). Partikül maddenin neden olduğu başlıca sağlık sorunları; erken doğumlar, bebek ölümleri, ölümcül olmayan kalp krizleri, kalp ritim bozuklukları, astım, akciğer fonksiyon kaybı, nefes darlığı ve solunum yolları hasarları olarak sıralanabilir (Anderson vd., 2012; EPA, 2016).

Ağızdan nefes alırken ince parçacıklar esas olarak akciğerlerde, 3-5 µm boyutundaki parçacıklar ise hem akciğerlerde hem de bronşlarda birikmektedir. Daha büyük parçacıkların (7 µm - 15 µm) birikmesi çoğunlukla bronş bölgesinde meydana gelir.

**Şekil 2.7'**de 2021-2022 yılları arasında ülkemizde gözlenen ölüm nedenleri paylaşılmıştır. TÜİK 2022 verilerine göre ülkemizde gerçekleşen ölümlerin yüzde 13.5 solunum yolu hastalıkları nedeniyle meydana gelmektedir (*TÜİK Kurumsal*, 2022).

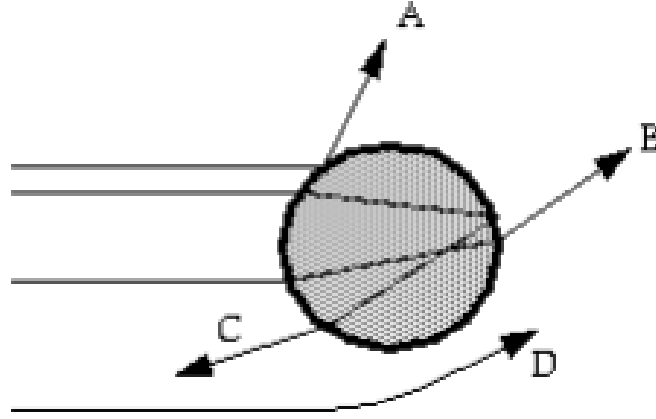


**Şekil 2.7.** 2021 ve 2022 yılları arasında Türkiye’de gözlenen ölümlerin nedenleri (*TÜİK Kurumsal*, 2022)

#### 2.2.4 Partikül Maddenin Çevresel Etkileri

Aerosoller güneş ışınımını emer, yansıtır ve bulutun mikrofiziksel özelliklerini etkiler. Ancak insanların sağlığını etkiler ve görünürlüğü azaltır. Bu özellikleri nedeniyle aerosollerin küresel radyasyon değişimini etkileyen en önemli faktör olduğu düşünülmektedir (Tezcan vd., 2022). Bu nedenle aerosol özellikleri, iklim, radyasyon bütçesi, hava kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamak için incelenmesi gereken kritik parametrelerdir (Kloog vd., 2015).

Işığın saçılması, ışığın yansımaları, kırılması veya bükülmesi şeklinde meydana gelebilir. Bu parçacık mekanizmaları **Şekil 2.8'**de gösterilmektedir.



**Şekil 2.8.** Işık demetinin saçılımı (A: yansıma, B: kırılma, C: kırılma ve yansıma, D: sapma) (Patel, 2015)

Parçacıkların görünürlük, tarımsal ve doğal ekosistemler ve miras binaları üzerinde olumsuz etkisi vardır (Lazaridis vd., 2002).

Parçacıklar, Dünya'ya radyasyon saçılması ve emilmesi yoluyla doğrudan ve yoğunlaşma ve buz çekirdekleri yoluyla dolaylı olarak Dünya'nın radyasyon dengesini etkiler (Y. L. Lee & Sequeira, 2002).

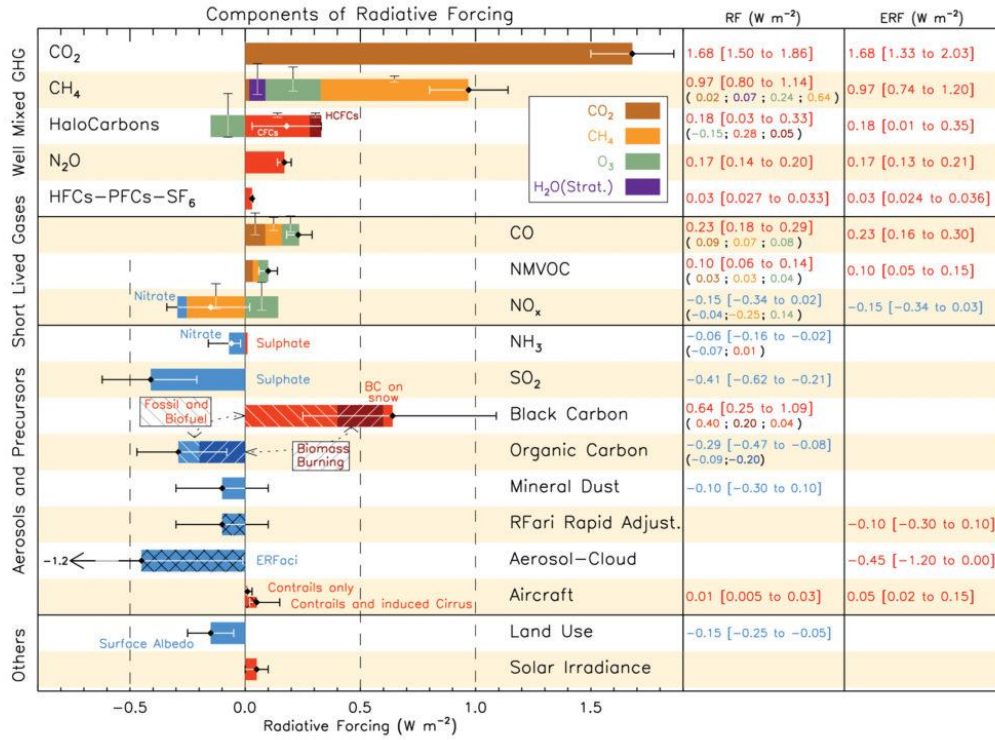
Partikül madde iklim değişikliğini etkileyen faktörlerden biridir. Parçacıkların bu değişime doğrudan ve dolaylı etkileri vardır. Doğrudan etkiler ışınların saçılması ve emilmesidir. Parçacıklar güneş ışınlarını dünyaya ulaşmadan önce uzaya geri göndererek soğutma etkisine sahiptir.

Atmosfer sistemine giren kısa dalga boylu güneş enerjisi ile geri yayılan uzun dalga boylu karasal ışıınım ortalama koşullar altında denge halindedir. Güneş radyasyonu ile karasal radyasyon arasındaki bu dengeyi veya enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve okyanuslar arasındaki dağılımını değiştiren herhangi bir faktör, iklimi de etkiler. Dünyanın ve atmosferin enerji dengesindeki bu değişikliklere ışıınımsal zorlama denir (Türkeş, 2008).

İklim değişikliğinin ışıınım yoğunluğu, IPCC İklim Değişikliği Beşinci Değerlendirme Raporu 2013'te sunulmaktadır (Şekil 2.9). Benzer şekilde siyah karbon, NO<sub>x</sub> ve CO pozitif strese neden olurken, organik karbon, mineral tozu ve aerosol bulutu da negatif strese neden olur. Sera gazları (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar (PFC) ve sülfür hekzaflorür (SF<sub>6</sub>) radyasyona en önemli katkı sağlayanlardır. Aerosoller, güneş radyasyonu ve

albedo değışiklikleri ve stratosferik ozonun tüklenmesine neden olan kloroflorokarbonlar (CFC'ler) gibi radyasyonu etkileyen başka maddeler de vardır (Türkeş, 2007).

IPCC (2001, 2007, 2013) raporları, iklim değışikliğine ilişkin konuyla ilgili uzmanların yayınladığı bilimsel çalışmaları değerlendirerek iklim değışikliğinin etkilerini, uyum ve müdahale stratejilerini belirledi (Kundzewicz vd., 2008).



**Şekil 2.9.** 1750- 2011 yılları arasında emisyonlardan kaynaklanan ışımsal zorlama (IPCC, 2013)

Türkiye subtropikal kıtaların batı kesiminde ve Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir iklim kuşağında yer almaktadır. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'de çok sayıda alt iklim türü mevcut olup ortalama yüksekliği yaklaşık 1.100 metredir. İklim türlerinin bu çeşitliliği, Türkiye'nin yıl boyunca kutup ve tropikal (ekvator) bölgelerden farklı basınç sistemleri ve hava koşullarından etkilenen bir geçiş bölgesinde yer almasıyla ilgilidir. Buna topoğrafik özelliklerin karmaşıklığı ve bunların kısa mesafelerdeki farklılıkları vb. de dahildir. fiziksel ve coğrafi özellikler de eklenebilir (Şen, 2022).

Türkiye'nin küresel ısınmanın olumsuz yönlerinden, özellikle su kaynaklarının bozulması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile buna bağlı ekolojik bozulmalardan etkilenebileceği öngörülüyor. Bu, küresel ısınmanın olası etkilerine dayanarak risk altındaki ülkeler arasındaki uluslararası yayınlarda ve IPCC raporlarında açıkça görülmektedir (Solomon vd., 2007; Şen, 2022).

Akdeniz havzasında hava koşullarının normalden daha kuru olması nedeniyle Ege ve Akdeniz bölgelerinde kitlesel olmasa da gözle görülür ağaç kurumaları gözlemlendi. Ayrıca ağaçların zayıflaması, ormanların fırtına, kar, çığ ve diğer hava felaketlerinin etkilerine karşı direncini azaltır.

İklim değişikliğinin ve insan faaliyetinin etkisi yerel olarak ve zaman içinde kendini gösterdiği için sosyal, ekonomik, endüstriyel, tarımsal, su kaynakları vb. Önlenemediği takdirde ülkelerin etkileri önümüzdeki yıllarda artacaktır. Sera gazlarının alt atmosferden troposfere yayılmasından kaynaklanan kimyasal reaksiyonlar sonuçta küresel ısınmaya ve bunun sonucunda iklim değişikliğine yol açmaktadır (Şen, 2022).

#### **2.2.5 Elementler**

Son yıllarda atmosferik aerosol bileşenlerinin tanımlanması ve kimyasal karakterizasyonu üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde parçacık kütesinin %1'inden fazlasını oluşturan türlerin çoğu kolaylıkla tespit edilebilmekte ve bunların ana kaynakları tespit edilebilmektedir. İnorganik atmosferik parçacıklar, toprak elementleri (Si, Al, Fe, Ca), deniz tuzu aerosolü (Na, Cl), inorganik ikincil türler (nitrat, sülfat, amonyum), karbon aerosolü (element karbon) ve elementler (ağır metaller ve eser elementler ) birkaç ana kategoriye ayrılabilir (Morera-Gómez, 2019).

Ağır metaller yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup>'ten büyük, atom numarası 20'den büyük olan, toksisiteye ve kirliliğe neden olan metaller olarak tanımlanabilir (Apaydın, 2005). Ağır metal terimi, özelliklerine ve konsantrasyon seviyelerine bağlı olarak organizmalar için toksik olabilen hem esansiyel hem de esansiyel olmayan iz metalleri içerir. Ağır metaller (Ag, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn) su sisteminde hem çözünmüş formda (omurgalılar dahil birçok organizma üzerinde toksik etkilere neden olabilir) hem de partikül formda bulunur. (Nollet & De Gelder,

2014). Genel olarak ağır metal konsantrasyonlarının kentsel veya endüstriyel alanlarda çok daha yüksek olduğu kabul edilir. (Nollet & De Gelder, 2014).

Ağır metaller, insanlar tarafından oluşturulamaması veya yok edilememesi nedeniyle diğer toksik elementlerden farklıdır. Bu nedenle toprakta, çökeltilerde, tatlı su kaynaklarında ve deniz suyunda birikme eğilimindedirler. Ağır metaller çevre kirliliğinde oldukça önemlidir (Karaçağıl, 2013). Çeşitli kaynaklardan atmosfere giren ağır metaller, kuru ve ıslak yağmurlar yoluyla toprağa, yüzey sularına, daha sonra da yeraltı sularına karışarak ekolojik dengeye zarar verebilmektedir. Farklı sektörlerin atmosfere saldıgı bu kirleticiler Tablo 2.3'te gösterilmektedir.

**Tablo 2.3.** Sektörel bazda ağır metal kaynakları(Özkan, 2009)

| Endüstri/Elementler     | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Ni | Sn | Zn |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Kağıt Endüstrisi        | -  | +  | +  | +  | +  | +  | -  | -  |
| Petrokimya              | +  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  |
| Klor- alkali Üretimi    | +  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  |
| Gübre Sanayi            | +  | +  | +  | +  | +  | +  | -  | +  |
| Demir- Çelik Sanayi     | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| Enerji Üretimi (Termik) | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |

Ağır metaller besin zinciri, solunum veya cilt teması yoluyla insan vücuduna girebilmektedir. Bazı ağır metaller insan vücudunun metabolizması için gerekli olmasına rağmen yüksek konsantrasyonlarda sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir ve ölüme yol açabilir. Bunun nedeni ağır metallerin vücutta lipit metabolizması veya protein yapılarına bağlanma yoluyla birikmesidir.

Eser elementler (Li, Al, Co, V, Se, Sb, Sr, Sn, Ti) yer kabuğundaki iz elementler olarak kabul edilir. Genellikle milyarda parça (ppb =  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) veya trilyonda parça (ppt =  $\text{ng L}^{-1}$ ) olarak literatüre geçerler. Ancak madencilik ve endüstriyel faaliyetler, yüksek sıcaklıktaki su veya mineral ve metal açısından zengin kayaların aşınması nedeniyle çevrede çok daha yüksek konsantrasyonlarda meydana gelebilir (Al-Saleh vd., 2011). Çoğu eser elementin biyosfer üzerindeki

etkileri henüz tam olarak anlaşılmamış olsa da birçoğunun tehlikeli veya potansiyel olarak zararlı olduğu düşünülmektedir. Uluslararası kuruluşlar (USEPA, WHO, Avrupa Birliği Komisyonu) suda yaşayan organizmaların ve insan sağlığının korunmasına yönelik kılavuzlar hazırlamıştır (Bach vd., 2012).

Eser elementler partikül emisyonlarıyla ilişkili en tipik kimyasallardır. İz elementlerin çoğu, kaynaklarından (doğal veya antropojenik) parçacıklar halinde atmosfere girer ve uzak bölgelere taşındıklarında parçacıklar halinde kalır. İz elementlerin bu davranışı nedeniyle herhangi bir boyut fraksiyonunda ölçülebilirler (Kulkarni ve diğerleri, 2007) ve kirlilik kaynaklarını tanımlamak için doğal belirteçler olarak kullanılabilirler (Güllü ve diğerleri, 2000; Valotto ve diğerleri, 2014; Yatin ve diğerleri, 2000). Aerosollerdeki her eser elementin oranına bağlı olarak bunların doğal veya antropojenik kökenleri atfedilebilir.

**Tablo 2.4.** Atmosferik partikül maddelerin elementel özellikleri(Morawska & Zhang, 2002)

| <b>Kaynak</b>                                   | <b>Eser Elementler</b>                |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Karayolu Taşımacılığı</b>                    |                                       |
| <b>Motorlu araç emisyonları</b>                 | Br, Pb, Ba, Cl, Zn, V, Ni, Se, Sb, As |
| <b>Motor aşınması</b>                           | Fe, Al                                |
| <b>Lastik aşınması</b>                          | Zn                                    |
| <b>Yol kenarı tozu</b>                          | Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Zn             |
| <b>Endüstriyel Tesisler</b>                     |                                       |
| <b>Kömür yakma</b>                              | Se, As, Cl, Cu, Al, S, P, Ca          |
| <b>Rafineriler</b>                              | V                                     |
| <b>Demir çelik fabrikaları</b>                  | As, In, Cu, Zn, Pb                    |
| <b>Bakır enstitüsü</b>                          | Cu                                    |
| <b>Küçük Ölçekli Yakma Tesisleri</b>            |                                       |
| <b>Atık yakma fırını</b>                        | Zn,Sb, Cu, Cd, Hg, K, Pb              |
| <b>Odun yakma</b>                               | Ca, Na, K, Fe, Br, Cl, Cu, Zn         |
| <b>Mineralizasyon ve Ham Malzeme Prosesleri</b> |                                       |
| <b>Deniz Spreyi</b>                             | Na, Cl, S, K                          |
| <b>Havada Asılı Toprak Partikülleri</b>         | Si, V, Cr, Ca, Ti, Sr, Al, Mn, Se     |

Ana metaller, konsantrasyonları diğer doğal sulardaki katyonlardan önemli ölçüde daha yüksek olan metal iyonlarıdır. En önemli baz metaller Na, K, Ca, Mg, Mn veya Fe'dir. Genellikle gerekli besin maddeleridirler ve eksiklikleri insanlarda, hayvanlarda veya bitkilerde çeşitli hastalıklara neden olabilir. Ayrıca birçok metal suda aşırı miktarda bulunduğunda ciddi toksik etkilere neden olabilir (Nollet & De Gelder, 2014).

İz elementler, hava kirleticiler arasında yaygın olarak incelenen maddelerdir. Çeşitli emisyon kaynaklarından doğal veya insan faaliyetleri yoluyla atmosfere girerler. Belli bir konsantrasyonu aşıtları takdirde canlı organizmalar üzerinde kanserojen, toksik veya genotoksik etki gösterirler. Arsenik (As), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu), cıva (Hg), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) gibi bazı toksik elementler önemli kirleticiler olarak da bilinir. Parçalanmayan toksinler besin zincirine girer. İnsan sağlığı açısından bu elementlerin havadaki yüksek seviyelerinin kanser, solunum yolu hastalıkları ve kalp hastalıkları gibi birçok hastalıkla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Allajbeu vd., 2017; Tchounwou vd., 2012; Uyar vd., 2020). İlgili elementlerin kaynakları ve sağlık üzerindeki etkileri Tablo 7'de gösterilmektedir. Hava kirliliğinin belirlenmesindeki amaç, eser elementleri inceleyerek kaynağı bulmaktır. Bazen bu terim "minör metaller" ve "ağır metaller" terimleriyle karıştırılır (Zhang, 2020).

**Tablo 2.5.** Elementlerin limit değerleri (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2009; WHO, 2005)

| <b>Metal</b> | <b>Limit değer (Türkiye)</b>    | <b>Limit değer (Dünya)</b>            |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| <b>As</b>    | 6 ng/m <sup>3</sup>             | 6 ng/m <sup>3</sup>                   |
| <b>Cd</b>    | 5 ng/m <sup>3</sup>             | 0.2 ng/m <sup>3</sup>                 |
| <b>Cr</b>    | -                               | 12 ng/m <sup>3</sup>                  |
| <b>Ni</b>    | 20 ng/m <sup>3</sup>            | 0.24 ng/m <sup>3</sup>                |
| <b>Cu</b>    | -                               | <sup>e</sup> 100 µg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Fe</b>    | -                               | <sup>e</sup> 10,000 µg/m <sup>3</sup> |
| <b>Pb</b>    | (yıllık)<br>2 µg/m <sup>3</sup> | 0.15 µg/m <sup>3</sup>                |

**Tablo 2.6.** Elementlerin kaynakları ve sağlık etkisi (Yerli vd., 2020)

| Element         | Kaynakları                                                                                          | Sağlık Etkisi                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Arsenik</b>  | Herbisitler ve böcek ilaçları, elektronik atıklar, bu elementi içeren atıkların yakılması, kirli su | Karaciğerin büyümesine, kansızlığa, deride kahverengi lekelere ve birçok cilt hastalıklarına neden olabilmektedir.                                                                                                         |
| <b>Bakır</b>    | Döküm tesisi emisyonları, madencilik atıkları                                                       | Büyüme ve gelişmenin yavaşlamasına, saçların ağarmasına, vücut ısısının düşmesine ve beyin hasarlarına neden olmaktadır                                                                                                    |
| <b>Civa</b>     | Elektronik ve Plastik atıklar, böcek ilaçları, ilaç ve diş atıkları                                 | Böbrek hasarlarına, sinir sisteminde tahribatlara, hamilelikte düşüğe ve bebekte anormalliklere neden olur.                                                                                                                |
| <b>Çinko</b>    | Çinko açısından zengin yataklar, döküm tesisi emisyonları, madencilik yatakları                     | Ülsere, akciğerlerde ödeme, mukoz zarlarda ve solunum yollarında tahrişlere neden olmaktadır                                                                                                                               |
| <b>Demir</b>    | Maden atığı, pirit (bi demir sülfür),                                                               | Karaciğer yetersizliği, baş dönmesi ve mide rahatsızlıkları gibi problemlere neden olmaktadır.                                                                                                                             |
| <b>Kadmiyum</b> | Elektronik atıklar, Plastik, piller                                                                 | Kemik erimesi ve diş hastalıklarının başlıca kaynağıdır                                                                                                                                                                    |
| <b>Kobalt</b>   | Nikel ve gümüş cevheri yatakları, madencilik atığı                                                  | Akciğer kanserine neden olduğu gibi DNA yapısında olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır                                                                                                                                     |
| <b>Krom</b>     | Ultramafik kayalar, çözünür tuzlar içinde eser element olarak, endüstriyel atık                     | Üst solunum yolu rahatsızlıkları, astım ve burun içinde tahribata bağlı olarak kanamalar görülmektedir                                                                                                                     |
| <b>Kurşun</b>   | Endüstriyel ve araç emisyonları, boyalar, plastik, kağıt vb. yanması                                | Kana karıştıktan sonra kemik ve diğer organlara yayılarak böbrek, beyin ve sinir sistemlerinde tahribatlara neden olmaktadır                                                                                               |
| <b>Mangan</b>   | Kireç taşları, kayalar, maden yatakları                                                             | Alzheimer hastalığına ve merkezi sinir sistemi hücrelerinin ölümünde önemli bir rol oynar.                                                                                                                                 |
| <b>Nikel</b>    | Maden atıkları, döküm tesisi emisyonları, endüstriyel atıklar                                       | Nikelin eşik değeri üzerinde alınımı sonucunda, ishal, kusma, nefes daralması, karaciğer ve böbreklerde hasarlar oluşabileceği gibi kronik nikel zehirlenmesine bağlı olarak alerjik reaksiyonlarda ortaya çıkabilmektedir |

Emisyon kaynaklarından gelen parçacıklar için baskın parçacık boyutları farklıdır. Aynı zamanda bu boyutların kimyasal konumları da yüzde olarak farklıdır.

**Tablo 2.7.** Farklı emisyon kaynaklarındaki partiküllerden gelen kimyasallar  
(Chow, 1995)

| Kaynak tipi         | Baskın parçacık boyutu | Yüzde kütle olarak kimyasal bolluk                                          |                                                                                                    |                                                                                                                  |                                                                  |
|---------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                     |                        | <0.1 %                                                                      | 0.1-1 %                                                                                            | 1 -10 %                                                                                                          | > 10 %                                                           |
| Asfaltlı yol tozu   |                        |                                                                             |                                                                                                    |                                                                                                                  |                                                                  |
| Asfaltsız yol tozu  | Kaba                   | Cr, Sr, Pb, Zr                                                              | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , P, S, Cl, Mn, Zn, Ba, Ti         | Elemental Carbon (EC), Al, K, Ca, Fe                                                                             | Organic Carbon (OC), Si                                          |
| Yapı                | Kaba                   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , P, Zn, Sr, Ba | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , P, S, Cl, Mn, Ba, Ti             | OC, Al, K, Ca, Fe                                                                                                | Si                                                               |
| Tarım toprağı       | Kaba                   | Cr, Mn, Zn, Sr, Ba                                                          | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , K <sup>+</sup> , S, Ti                                              | OC, Al, K, Ca, Fe                                                                                                | Si                                                               |
| Doğal toprak        | Kaba                   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cr, Zn, Sr    | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , S, Cl, Mn, Ba, Ti                | OC, Al, K, Ca, Fe                                                                                                | Si                                                               |
| Göl yatağı          | Kaba                   | Cr, Mn, Sr, Zn, Ba                                                          | Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , Ec, P, S, Cl, Ti                                               | OC, Al, Mg, K, Ca, Fe                                                                                            | Si                                                               |
| Motorlu araç        | Kaba                   | Mn, Sr, Ba                                                                  | K <sup>+</sup> , Ti                                                                                | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , Na <sup>+</sup> , OC, Al, S, Cl, K, Ca, Fe                                        | Si                                                               |
| Bitkisel yakma      | İnce                   | Cr, Ni, Y, Sr, Ba                                                           | Si, Cl, Al, P, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Pb                                                              | Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S | OC, EC                                                           |
| Atık yağ yakma      | İnce                   | Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Pb, Rb                                                  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S, Na | Cl <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> , Cl, K                                                                         | OC, EC                                                           |
| Yakma fırını        | İnce                   | K <sup>+</sup> , OC, Cl, Ti, Cr, Co, Ga, Se                                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Zn, Fe, Si                                        | V, OC, EC, Ni                                                                                                    | S, SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>                                  |
| Kömür yakıtlı kazan | İnce                   | V, Mn, Cu, Ag, Sn                                                           | K <sup>+</sup> , Al, Ti, Zn, Hg                                                                    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , EC, Si, S, Ca, Fe, Br, La, Pb                                   | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , OC |
| Akaryakıt santrali  | İnce                   | Cl, Cr, Mn, Ga, As, Se, Br, Rb, Zr                                          | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , P, K, Ti, V, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb                                     | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , OC, EC, Al, S, Ca, Fe                                                             | Si                                                               |
| Döküm sanayisi      | İnce                   | V, Ni, Se, As, Br, Ba                                                       | Al, Si, P, K, Zn                                                                                   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , OC, EC, Na, Ca, Pb                                                                | S, SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>                                  |
| Antimon             | İnce                   | V, Mn, Sb, Cr, Ti                                                           | Cd, Zn, Mg, Na, Ca, K, Se                                                                          | Fe, Cu, As, Pb                                                                                                   | S                                                                |
| Deniz               | İnce                   | V, Cl, Ni, Mn                                                               | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , Sb, Pb                                                              | S                                                                                                                | None reported                                                    |
|                     | Kaba - İnce            | Ti, V, Ni, Sr, Zr, Pd, Ag, Sn, Sb, Pb                                       | Al, Si, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ba, La                                                                  | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , OC, EC                                             | Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , Na, Cl                       |

### 2.3 Türkiye'de PM Element İçeriği Üzerine Yapılan Çalışmalar

Arı ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışma kapsamında Eskişehir Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsünde toplanan günlük PM<sub>2.5</sub> örneklerinin organik ve inorganik kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Toplanan örneklerde gerçekleştirilen kimyasal karakterizasyon çalışmaları; suda çözünabilir anyonik bileşiklerin belirlenmesi, PM elementel bileşiminin belirlenmesi, PM organik çözücüde çözünür PAH, n-alkan, karboksilik asit ve levoglucosan derişimlerinin belirlenmesi olarak yapılmıştır. Elde edilen verilere göre; partikül fazdaki elementlerden en yüksek derişimde bulunanlar sırasıyla Al (299.4 ng m<sup>-3</sup>), Ca (129.3 ng m<sup>-3</sup>), Fe (111.4 ng m<sup>-3</sup>) olarak sıralanırken, Zn (12.7 ng m<sup>-3</sup>), Sn (5.4 ng m<sup>-3</sup>), Pb (4.9 ng m<sup>-3</sup>) Ba (4.7 ng m<sup>-3</sup>) ve Cr (2.5 ng m<sup>-3</sup>) seviyelerinde ölçülmüştür.

Ertürk ve ark. tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen çalışmada Kütahya'da kentsel ve kırsal olmak üzere iki farklı bölgede boyut ayrımlı atmosferik partikül madde örnekleri toplanmıştır. Bir istasyon Kütahya il merkezinde, diğer istasyon ise termal santral emisyonlarının olası etkilerini araştırmak için Göbel'in Tavşanlı ilçesi kırsalında kurulmuştur. Numuneler, her ikisi de iki istasyonda yüksek hacimli kademeli çarpıcılar tarafından 6 farklı PM boyutunda toplanmıştır (>10.2, 10.2-4.2, 4.2-2.1, 2.1-1.3, 1.3- 0.69 ve <0.69µm) ve eser metaller analizi yapılmıştır. Genel olarak, büyük boyutlu fraksiyonlarda kristal element konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu, antropojenik elementlerin ise en küçük boyut aralığında olduğu bulunmuştur. Eser element konsantrasyonlarının ise kentsel istasyonda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Göbel beldesi yakınındaki kırsal istasyonda ise literatürde rastlanan kırsal atmosfer derişimlerinin oldukça üzerinde elemental derişimler ölçüldüğü belirtilmiştir.

Vural 2014 yılında yaptığı çalışmada Gümüşhane şehir merkezinden geçen yol boyunca uzanan topraklarda ağır metal/eser element birikimi ve bu topraklarda yetişen 1-2 yıllık akasya ağaçlarının (*Robinia pseudoacacia* L.) sürgünleri incelemiştir. Toprak ve bitkilerdeki ağır metal içerikleri sırasıyla Zenginleştirme Faktörü (EF), Coğrafi birikim indeksi (Igeo) parametreleri ve Biyo Birikim Faktörü (BAF) ile analiz edilmiş ve Coğrafi birikim endeksine göre

toprağın Cr, Co, Cu, Rb, Sr açısından kirlenmemiş; V, Ni ve Zn açısından kirlenmemiş ila orta derecede kirlenmiş, As açısından orta ila aşırı kirli ve Pb açısından orta ila aşırı kirli olduğu, EF parametrelerine göre ise toprağın Cr, Co, Sr ve Ba açısından hafiften zenginleşmemiş; Ni ve Cu açısından orta derecede zenginleşmemiş; Zn açısından hafiften önemli ölçüde zenginleştirilmiş; Cr, Co, Sr ve Ba açısından çok yüksek oranda zenginleştirilmiş ve Pb açısından ise aşırı derecede zenginleştirilmiş olduğu görülmüştür. Akasya sürgünlerinin iz/ağır metal içerikleri genellikle akasya için normal değerler dahilinde olmasına rağmen, belirli örnekleme noktalarında Cu, Fe, Mo, Ni, Sr ve Zn konsantrasyonlarının normal değerlerin üst sınırları içinde veya üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Ören ve vd.'nin 2021 yılında kömürle çalışan iki termik santral bulunan Zonguldak'ta yaptığı bir çalışmada ise şehirde 39 noktada biyomonitör yosun örnekleri toplanarak bunlarda Pah ve eser elementlerin atmosferik birikimleri araştırılmıştır. Toplanan örnekler ICP-MS ile analizleri gerçekleştirilmiş ve eser elementler için konsantrasyon sıralaması  $\mu\text{g/g}$  kuru ağırlık olarak  $\text{Zn}(42,5) > \text{Pb}(11,2) > \text{Cu}(9,7) > \text{Cr}(6,05) > \text{Ni}(5,6) > \text{As}(1,5) > \text{Cd}(0,27)$  olarak bulunmuştur. Bununla birlikte eser elementler için örnekleme noktalarına göre çökeltme yoğunluk haritaları oluşturulmuş ve kirleticilerin termik santrallerin yakınında daha yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma Çatalağzı'nda Uyar ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında Ni ve Pb'un konsantrasyonlarının daha az olduğu ve As, Cr ve Cu konsantrasyonlarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada bunun nedeni Ereğli'nin İstanbul yolu üzerinde yer almasına ve yoğun trafik faaliyetlerinin görülmesinin etkili olduğu düşünülmüştür. Ayrıca sonuçlar, örnekleme yapılan periyotta ısınma amaçlı yoğun kömür kullanımı ve il merkezinin bölgede yer alan iki büyük sanayii tesisinin ortasında yer alması bağlanmıştır.

Dorjsuren'in 2012 yılında İstanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesinde Ekim 2010 –Aralık 2011 tarihleri arasında örnekleme yaparak solunabilir partikül maddenin metal içeriğini ve (PM) boyut dağılımını belirlemiştir. Çalışmada örneklenen PM suda çözülmüş ve ICP-MS cihazı kullanılarak 15 (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Ba, Pb) adet toksik metal içeriği incelenmiştir. PM10 içeriğindeki suda çözünen metal konsantrasyonları

incelendiğinde en yüksek ortalama değerlerin Zn, Ba, Fe ve V (sırasıyla  $195.7 \pm 304.7 \text{ ng/m}^3$ ,  $80.9 \pm 66.9 \text{ ng/m}^3$ ,  $12.6 \pm 19.9 \text{ ng/m}^3$  ve  $7.4 \pm 9.6 \text{ ng/m}^3$ ) için gözlemlendiği belirtilmiştir. PM'nin boyut dağılımını belirlemek için ise 8 kademeli kaskatlı PM örnekleme sistemi kullanılmış ve kademelerde örneklenen PM'nin boyutları şu şekilde verilmiştir: 0-0.4  $\mu\text{m}$ , 0.4-0.7  $\mu\text{m}$ , 0.7-1.1  $\mu\text{m}$ , 1.1-2.1  $\mu\text{m}$ , 2.1-3.3  $\mu\text{m}$ , 3.3- 4.7  $\mu\text{m}$ , 4.7-5.8  $\mu\text{m}$ , 5.8-9  $\mu\text{m}$  ve >9  $\mu\text{m}$ . Çalışmada 2010 ve 2011 yıllarında günlük örneklenen PM<sub>10</sub>'un ortalama konsantrasyonu  $42.0 \pm 27.3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  olarak bulunmuş ve meteorolojik parametrelerin PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun değişiminde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Yatkın ve Bayram tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada Haziran 2004 ile Mayıs 2005 arasında atmosferik partikül madde (PM) fraksiyonları (PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub>), eş zamanlı olarak İzmir'deki iki tesiste (kentsel ve banliyö) örneklendi. Bu çalışmada PM'nin element bileşimi için (Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, V ve Zn) indüktif olarak bağlanmış plazma-optik emisyon spektrometresi kullanılmış ve bununla birlikte bazı PM kaynaklarının da elementel bileşimi belirlenmiştir. PMF sonuçlarına göre, PM'ye en fazla katkıda bulunanlar fosil yakıt yakma, trafik emisyonları, maden endüstrileri ve deniz tuzları olarak belirlenmiştir. Zeydan 2020 yılındaki çalışmada, 2019 yılında Türkiye'deki tüm hava kalitesi izleme istasyonlarında (mobil ve test istasyonları hariç) kaydedilen PM<sub>10</sub> konsantrasyonları, yönetmelikteki sınır değerlere göre değerlendirmiştir. 176 istasyonda hem yıllık hem de günlük limit değerlerin aşılması değerlendirilmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, limit aşım haritalarını ve PM<sub>10</sub> kirlilik dağılım haritasını hazırlamak için kullanılmıştır. Sonuç olarak, 71 istasyon yıllık bazda eşik değer sağlanırken 105 istasyon yıllık limiti aşılmıştır. Muş, Iğdır ve Kahramanmaraş - Elbistan istasyonlarında en yüksek PM<sub>10</sub> değerleri bulunmuştur. 145 istasyonda günlük PM<sub>10</sub> ölçümleri, yönetmelik sınır değerini aşmıştır. Marmara Denizi etrafındaki bölgede daha iyi hava kalitesi gözlemlenmekteyken, Muş ve Iğdır, partikül madde kirliliği açısından en kirli şehirler olarak bulunmuştur. Çalışma sonucuna göre 2019'da Türkiye'nin 81 ilinden 49'u partikül madde açısından kirli hava solumuştur. İstasyon türlerine göre yapılan değerlendirme sonucunda da yıllık ortalama sınır değerinin en fazla trafik istasyonlarında (%72) aşıldığı belirlenmiştir.



### 3.1.1 Partikül Madde Örneklerinin Toplanması

Örneklerin toplanmasında Tisch marka yüksek hacimli örnekleyici kullanılmıştır. Örnekleme cihazı haftada 1 kere olmak üzere 4 gün (96 saat) boyunca kesintisiz çalıştırılarak altı farklı parçacık fraksiyonunda ( $>7.2$ ,  $3.0-7.2$ ,  $1.5-3.0$ ,  $0.95-1.5$ ,  $0.49-0.95$   $\mu\text{m}$  ve geri toplama filtresi  $<0.49$   $\mu\text{m}$ ) arazi şahitleriyle beraber 246 adet PM örneği toplanmıştır. Örnekleme çalışması 17/2/2021-10/3/2022 tarihleri arasında yapılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği örnekleme kabininin fotoğrafı **Şekil 3.2**'de paylaşılmıştır.



**Şekil 3.2.** Örnekleme kabini

Bu çalışmada kullanılan imaktörün bir fotoğrafı **Şekil 3.3**'te sunulmuştur. İmpaktörün birinci kademesinde toplanan parçacıkların boyutları ( $D_p$ )  $>7.2$   $\mu\text{m}$ , ikinci kademesinde toplanan parçacıkların boyutları  $3.0$   $\mu\text{m} < D_p < 7.2$   $\mu\text{m}$ , üçüncü kademesinde toplanan parçacıkların boyutları  $1.5$   $\mu\text{m} < D_p < 3.0$   $\mu\text{m}$ , dördüncü kademesinde toplanan parçacıkların boyutları  $0.95$   $\mu\text{m} < D_p < 1.5$   $\mu\text{m}$ , beşinci kademesinde toplanan parçacıkların boyutları  $0.49$   $\mu\text{m} < D_p < 0.95$   $\mu\text{m}$  ve geri toplama (back up) filtresinde ise  $<0.49$   $\mu\text{m}$  çapından küçük olan parçacıkları toplanmıştır.



**Şekil 3.3.** Tisch marka yüksek hacimli örnekleyici

Kaskat impaktörün farklı kademelerinde 14.29 cm x 13.65 cm büyüklüğünde kanallı kuvarz filtreler kullanılırken, geri toplama filtresinde 20.32 cm x 25.4 cm büyüklüğünde olan kuvarz filtre kullanılmıştır. Kuvarz filtreler örneklemeden önce 550 °C’de kül fırınında alüminyum folyo içerisine sarılıp yakılmış, ve üzerindeki olası kontaminasyon uzaklaştırılmıştır. Daha sonra filtreler 25 °C ve % 40-45 nispi nem değeri sağlanan koşullandırma kabininde bir gün bekletilerek sabit tartıma getirilmiş, darası alınmış ve etüvde önceden bekletilen alüminyum folyolara sarılıp etiketlenerek örnekleme anına kadar – 18 °C’de dolapta muhafaza edilmiştir. Yüksek hacimli örnekleyici 4 gün (96 saat) boyunca 57.8 m<sup>3</sup>/saat debide çalıştırılmıştır.

Örnekleme kabini Meteoroloji Genel Müdürlüğü Bolu Meteoroloji İl Müdürlüğü bahçesinde bulunmakta ve ilgili Müdürlük bu bahçede bir otomatik gözlem istasyonu çalıştırmıştır. Bu çalışmada söz konusu meteorolojik veriler temin edilerek kullanılmıştır.

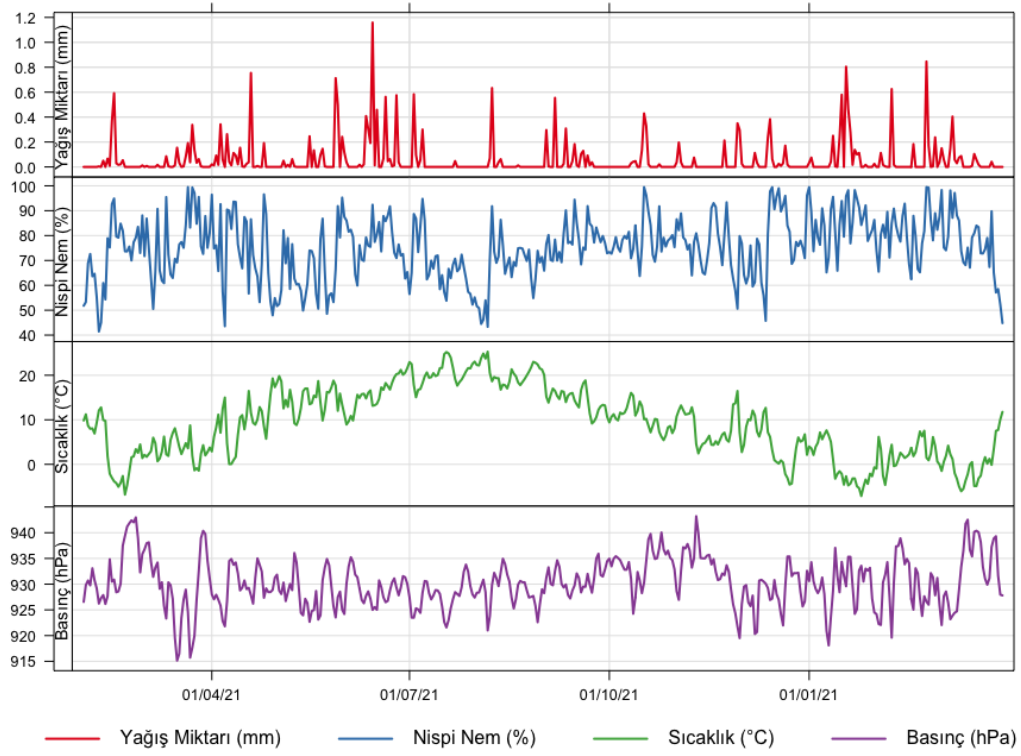
**Tablo 3.1’**de meteorolojik parametrelere ait istatistiksel değerler sunulmuştur. Sıcaklık için en yüksek değer 36.5 °C en düşük değer -13.8 °C ölçülmüştür. Basınç için en yüksek değer 944.2 hPa en düşük değer 911.8 hPa olarak belirlenmiştir. Nispi nem için en yüksek değer % 100 en düşük değer ise % 10 bulunmuştur. Yağış için en yüksek değer 17.8 mm, ortalama değer ise 0.058

mm olarak belirlenmiştir. Rüzgar hızı için ise en yüksek değer 5 m/sn olarak belirlenmiştir.

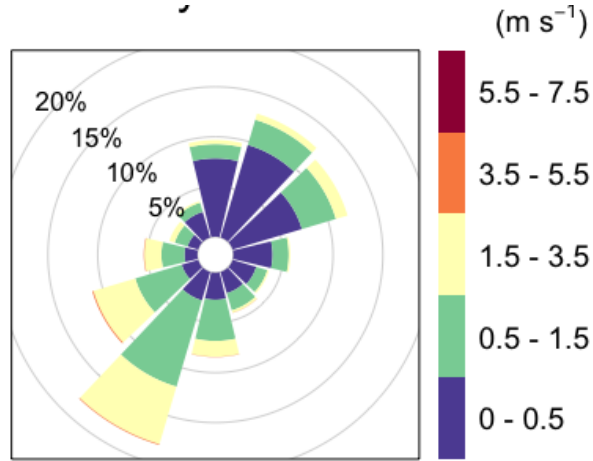
**Tablo 3.1.** Meteorolojik parametrelerin saatlik ortalamalarının istatistiksel özeti

|                          | N     | Ort.  | Std. Sap. | Ortanca | Min.  | Mak.  | Q <sub>0.25</sub> | Q <sub>0.75</sub> |
|--------------------------|-------|-------|-----------|---------|-------|-------|-------------------|-------------------|
| <b>Rüzgar hızı (m/s)</b> | 10114 | 0.845 | 0.730     | 0.6     | 0     | 5     | 0.3               | 1.2               |
| <b>Sıcaklık (°C)</b>     | 10124 | 9.12  | 8.86      | 8.9     | -13.8 | 36.5  | 2                 | 15.3              |
| <b>Yağış (mm)</b>        | 10107 | 0.059 | 0.43      | 0       | 0     | 17.8  | 0                 | 0                 |
| <b>Nispi Nem (%)</b>     | 10030 | 75.20 | 21.11     | 80      | 10    | 100   | 60                | 93                |
| <b>Basınç (hPa)</b>      | 10096 | 930   | 5.01      | 930     | 911.8 | 944.2 | 927.1             | 933.5             |

**Şekil 3.4**'te Şubat 2021-Mart 2022 tarihleri arasında yağmur, nem, basınç ve sıcaklık paramterelerinin zamansal değişimi verilmiştir. Sıcaklık değerlerinin Nisan ayından başlayarak arttığı, Eylül ayının sonundan itibaren ise azaldığı görülmektedir. Çalışma alanında baskın olan rüzgar yönü de incelenmiş ve sonuçlar **Şekil 3.5**'de sunulmuştur. Kuzeyden esen rüzgarlarda rüzgar hızının <0.5 m/sn olduğu, baskın hakim rüzgar yönü olan güney ve güney batıdan ise daha şiddetli (<1.5 ve <3.5 m/sn) rüzgarların estiği görülmektedir.



**Şekil 3.4.** Şubat 2021-Mart 2022 ayları arasında meteorolojik parametrelerin zamansal değişimi



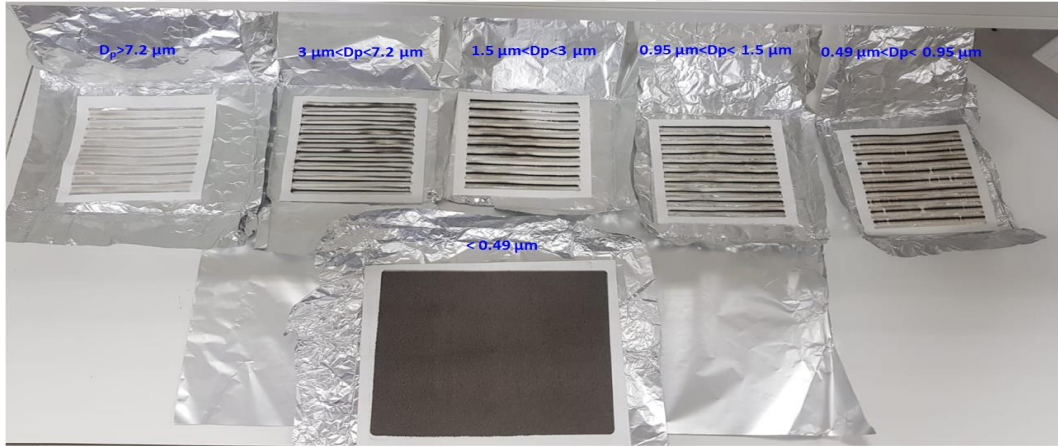
**Şekil 3.5.** Örnekleme döneminde rüzgar yönü ve hızının değişimi

### 3.2 Toplanan Örneklerin Analizi

#### 3.2.1 Gravimetrik Analiz

Bu çalışma kapsamında örnekleme çalışmasında kullanılacak olan filtreler araziye götürülmeden önce ve araziden döndükten sonra uygun koşullar altında şartlandırılmış ve şartlandırılan filtrelerin darası ve dolu ağırlıkları 0.01 mg hassasiyetle Precisa Gravimetric 360ES (Almanya) marka (Almanya) hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir.

Örneklemeden sonra kuvarz filtreler yine alüminyum folyolar içerisine sarılarak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi (BAİBÜ), Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma-Geliştirme laboratuvarına getirilmiş ve tekrar şartlandırılarak PM kütle konsantrasyonunun belirlenmesi için yeniden tartılmıştır. Tartımı tamamlanan örnekler analiz anına kadar – 18 °C’de dolapta saklanmıştır. Toplanan örneklere ait bir fotoğraf ’de sunulmuştur.

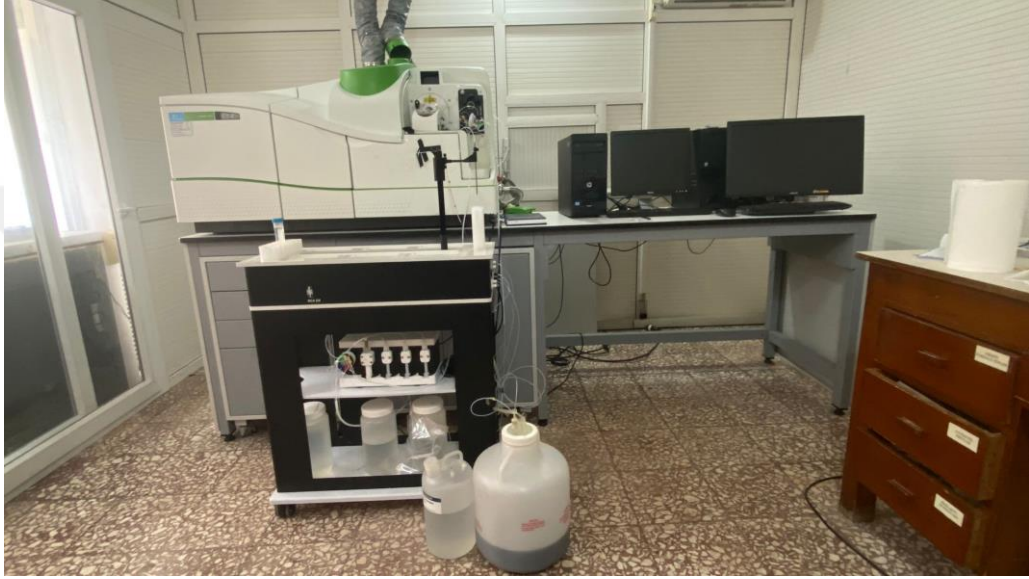


Şekil 3.6. Yüksek hacimli kaskat örnekleyici ile toplanan PM örnekleri

#### 3.2.2 Eser Elementlerin ICP-MS ile Analizi

Bu çalışma kapsamında toplanan PM örneklerinin metal analizleri ODTÜ, Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde gerçekleştirilmiştir. Örneklerden alınan parçalar 50 mL sentrifüj tüpüne alınmış, sonrasında örneklerin üzerine 1 mL HF eklenerek, örnekler bir gece ağzı kapalı bir biçimde 60 °C’de etüvde bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin üzerine 5 mL HNO<sub>3</sub> asit eklenmiş ve yine örneklerin ağzı

kapatılarak etüvde 60 °C sıcaklıkta bir gece bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin üzerine % 15-20'lik 2.5 mL borik asit eklenerek örneklerdeki HF söndürülmüştür. Sonrasında örneklerin ultra saf su ile 50 mL'ye tamamlanmıştır. Örnekler Perkin Elmer Nexion 350X marka ICPMS ve Esi otosampler kullanılarak Ag, As, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Cs, Fe, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, V ve Zn elementleri açısından analiz edilmiştir. Element analizinde kullanılan cihazın bir fotoğrafı Şekil 3.7'de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Element analizinde kullanılan ICPMS cihazı

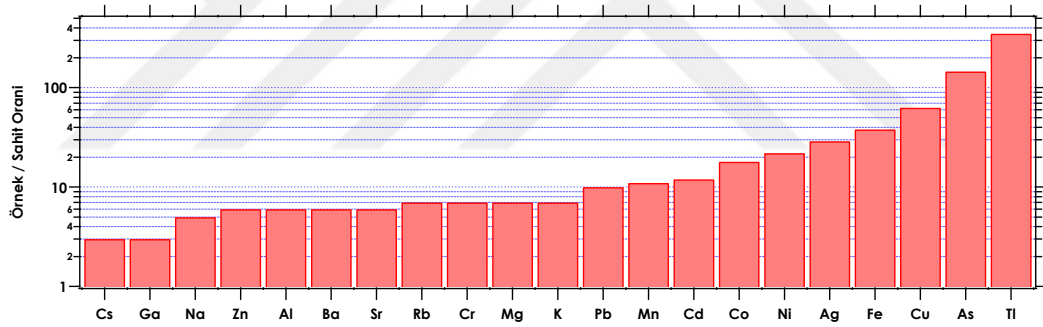
### 3.2.3 Analizler Sırasında Takip Edilen Kalite Kontrol/Kalite Güvence Prosedürleri

Bu çalışma kapsamında hem örnekleme hem de analiz sırasında örneklerin kirlenmemesi ve sonuçların tekrarlanabilirliğinin ve doğruluğunun takip edilebilmesi açısından bir takım kalite güvence / kalite kontrol prosedürleri takip edilmiştir. Filtrelerin kontamine olmaması için filtrelerin tartılması ve bölünmesi aşamalarında pudrasız eldiven kullanılmıştır. Örnekler arazi çalışması öncesi ve sonrasında etüvde belirli bir sıcaklıkta tutularak üzerinde kontaminasyona neden olabilecek maddelerin uzaklaştırıldığı alüminyum folyoda saklanmıştır. Filtre örneklerinde gerek laboratuvarda gerçekleştirilen işlemler gerekse arazide örneklerin toplanması sırasında gerçekleşebilecek herhangi bir kontaminasyonun

olup olmadığını anlamak için laboratuvar ve arazi şahit filtreleri de toplanmış ve örnekler ile aynı koşullarda saklanıp aynı işlemlere tabi tutulmuştur.

Örneklerin ICPMS analizi için hazırlanması sırasında kullanılan tüm sarf malzemeler % 10'luk asit çözeltisinde bekletilmiş daha sonra ultra saf su ile yıkanmıştır.

Çalışma kapsamında toplanan filtre şahitlerinde de element analizleri gerçekleştirilerek örneklerin kontaminasyonu takip edilmiştir. **Şekil 3.8**'de örneklerde belirlenen ortalama element konsantrasyonlarının şahitlerde belirlenen element konsantrasyonlarına oranları verilmiştir. Tüm elementler için bu oran > 2.0 olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile filtrelerin kontamine olmadıklarını söylemek mümkündür. Bu çalışmada raporlanan tüm element sonuçları şahit filtre düzeltilmesi yapılarak verilmiştir.



**Şekil 3.8.** Örnek ve filtre şahitlerinde belirlenen konsantrasyonların oranları

Yapılan analizlerin doğruluğunun belirlenmesi amacıyla iki adet standart referans madde (SRM) de örnekler ile aynı koşullarda ekstrakte edilmiş ve analiz edilmiştir. NIST 1575a ve IAEA 336 numaralı standart referans maddelerin ICPMS analiz sonuçları ve sertifika değerleri ile hesaplanan doğruluk değerleri sırasıyla Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de sunulmuştur. NIST 1575a için hesaplanan doğruluk değerlerinin Ba dışındaki tüm elementler için <%20 ve IAEA 336 standart referans maddesi için hesaplanan doğruluk değerlerinin Cs dışındaki tüm elementler için <%20 olduğu belirlenmiştir.

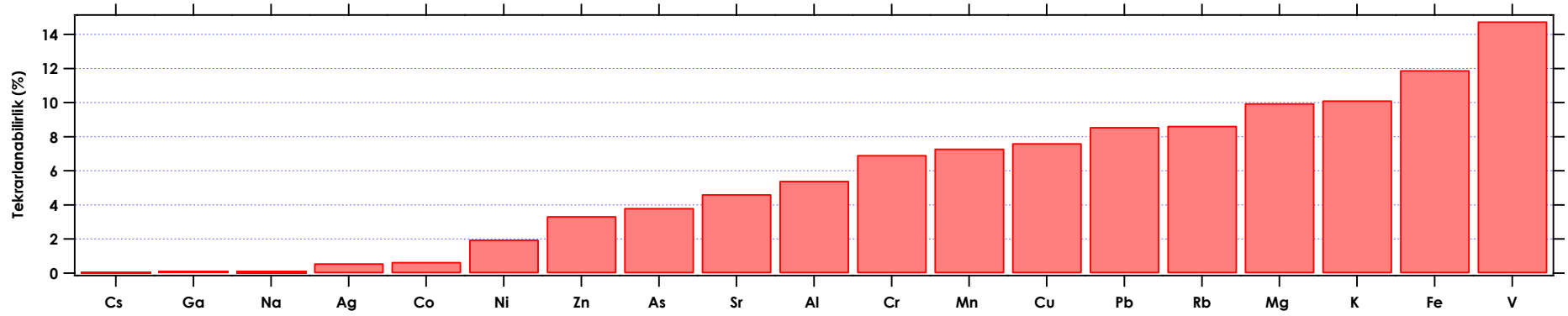
**Tablo 3.2.** NIST 1575a standart referans maddesi için belirlenen doğruluk değerleri

| Element | Ölçülen Değer<br>mg/kg | Sertifika Değeri<br>mg/kg | Doğruluk<br>% |
|---------|------------------------|---------------------------|---------------|
| Al      | 683                    | 580                       | 17.76         |
| Ba      | 7                      | 6                         | 20.89         |
| Cd      | 0.256                  | 0.233                     | 10.06         |
| Cu      | 2.9                    | 2.8                       | 4.73          |
| Fe      | 45                     | 46                        | 1.17          |
| K       | 4958                   | 4170                      | 18.91         |
| Rb      | 18.3                   | 16.5                      | 10.71         |
| Zn      | 42                     | 38                        | 11.02         |

**Tablo 3.3.** IAEA 336 standart referans maddesi için belirlenen doğruluk değerleri

| Element | Ölçülen Değer<br>mg/kg | Sertifika Değeri<br>mg/kg | Sertifika Güven<br>Aralığı<br>mg/kg | Doğruluk<br>% |
|---------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Al      | 602                    | 680                       | 570-790                             | 11.41         |
| As      | 0.65                   | 0.63                      | 0.55-0.71                           | 3.40          |
| Ba      | 6.8                    | 6.4                       | 5.3-7.5                             | 5.66          |
| Co      | 0.31                   | 0.29                      | 0.24-0.34                           | 6.38          |
| Cd      | 0.10                   | 0.117                     | 0.1-0.134                           | 12.55         |
| Cr      | 1.18                   | 1.06                      | 0.89-1.23                           | 11.58         |
| Cu      | 3.51                   | 3.6                       | 3.1-4.1                             | 2.56          |
| Cs      | 0.085                  | 0.11                      | 0.097-0.123                         | 22.39         |
| Fe      | 435                    | 430                       | 380-480                             | 1.05          |
| K       | 1753                   | 1840                      | 1640-2040                           | 4.72          |
| Mn      | 58                     | 63                        | 56-70                               | 7.60          |
| Na      | 284                    | 320                       | 280-360                             | 11.35         |
| Pb      | 4.50                   | 4.9                       | 4.3-5.5                             | 8.15          |
| Rb      | 1.66                   | 1.76                      | 1.54-1.98                           | 5.55          |
| V       | 1.33                   | 1.47                      | 1.25-1.69                           | 9.37          |
| Zn      | 29                     | 30.4                      | 27-33.8                             | 4.32          |

Çalışma kapsamında ayrıca tekrarlanan standart referans madde analizlerine ait sonuçlar kullanılarak rölatif standart sapma değerleri hesaplanmış ve tekrarlanabilirlik değerleri olarak **Şekil 3.9**'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi Fe ve V dışındaki tüm elementler için tekrarlanabilirlik değeri < %10 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.9. ICPMS analizlerinde elementler için hesaplanan tekrarlanabilirlik değerleri

### 3.3 Metal Maruziyetine Bağlı Olarak Sağlık Riskinin Belirlenmesi

Bolu ilinde partikül madde kimyasal kompozisyonunda bulunan metallere soluma, yutma ve deri ile temas yollarıyla maruz kalmanın insan sağlığı riskini değerlendirmek için kanserojenik ve kanserojenik olmayan riskler bu çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada yetişkinler ve çocuklar (1-6 yaş) için hem kanserojenik hem de kanserojenik olmayan riskler hesaplanmıştır.

Bu bağlamda, yutma, soluma ve dermal temas yoluyla günlük kimyasal alımı (CDI, µg/g/vücut ağırlığı.gün) Eşitlik 1, 2 ve 3 denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır (Zararsız & Öztürk, 2020). Bu denklemlerde kullanılan parametreler ve bunlara karşılık gelen değerler **Tablo 3.2**'de sunulmuştur.

Yutma yoluyla maruziyetin hesaplanması:

$$CDI_{ing} = C_{UCL} \times \frac{R_{ing} \times F_{exp} \times T_{exp}}{ABW \times T_{avg}} \times 10^{-6} \quad (1)$$

Soluma yoluyla maruziyetin hesaplanması:

$$CDI_{inh} = C_{UCL} \times \frac{R_{inh} \times F_{exp} \times T_{exp}}{PEF \times ABW \times T_{avg}} \quad (2)$$

Dermal temas yoluyla maruziyetin hesaplanması:

$$CDI_{dermal} = C_{UCL} \times \frac{SAF \times A_{skin} \times DAF \times F_{exp} \times T_{exp}}{ABW \times T_{avg}} \times 10^{-6} \quad (3)$$

Eşitlik 1, 2 ve 3'de kullanılan  $C_{UCL}$  (maruziyet noktası üst güvenilir limiti (upper confidence level), µg/g) değerinin, ortalama için %95 güven aralığının üst sınırı olan bir "makul azami doz" tahmini verdiği kabul edilir (Hu vd., 2012a). Bu çalışmada, sağlık riski hesabında kullanılan çoğu elementin konsantrasyonları normal olmayan bir dağılıma sahip olduğundan  $C_{UCL}$  değeri Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır (Zararsız & Öztürk, 2020).

$$C_{95\%} = \exp \left\{ \bar{X} + 0.5xs^2 + \frac{sxH}{\sqrt{n-1}} \right\} \quad (4)$$

Burada;  $\bar{X}$ : logaritması alınmış olan verinin aritmetik ortalamasını; s: standart sapma; H: H-istatistik değerini; n: örnek sayısını göstermektedir.

Farklı maruziyet yolları için kanserojenik ve kanserojenik olmayan riskler sırasıyla Eşitlik 4 ve 5 kullanılarak hesaplanmıştır (Zararsız & Öztürk, 2020). Bu eşitliklerde kullanılan parametreler ve bunlara karşılık gelen değerler **Tablo 3.2**'de verilmiştir. Eşitlik 5 ile hesaplanan kanserojenik risk, her bir maruziyet yolunun kanser risklerinin toplamı olarak ifade edilir. Hesaplanan toplam kanserojenik risk değerleri, bir kişinin kansere neden olma potansiyeli olan herhangi bir tehlikeli maddeye ömür boyu maruz kalması durumunda kanser olasılığını ifade eder. Bu kapsamda, kabul edilebilir risk değerleri  $1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-4}$  arasında olmalıdır. Kanserogenik olmayan tehlike, tehlike indeksi (HI) olarak tanımlanır ve her maruz kalma yolunun tehlike oranlarının toplamını temsil eder (Eşitlik 6). Bu kapsamda, kabul edilebilir risk değerlerinin (HI)  $< 1$  olması gerekmektedir (USEPA, 2001).

**Kanserojenik Risk**

$$= CDI_{ing,inh,dermal} \times BAF \times SLF \quad (5)$$

**Tehlike İndeksi (HI)**

$$= \sum HQ_i \quad (6)$$

$$Tehlike Oranları (HQ) = \frac{CDI \times BAF}{RfD_0} \quad (7)$$

**Tablo 3.2.** Sağlık riski hesabında kullanılan parametrelerin yetişkin ve çocuklar için literatürde verilen değerleri

| Parametre  | Tanımı                                                       | Birim                         | Değer                |                      | Kaynak                                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|
|            |                                                              |                               | Yetişkin             | Çocuk                |                                                          |
| $C_{UCL}$  | PM örneğindeki metal konsantrasyonu (upper confidence limit) | $\mu g\ g^{-1}$               |                      |                      | Bu Çalışma                                               |
| $R_{inh}$  | Soluma Faktörü                                               | $m^3\text{gün}^{-1}$          | 20                   | 7.6                  | (Van den Berg, 1995), (N. Zheng vd., 2010)               |
| $R_{ing}$  | Yutma Faktörü                                                | $mg\ \text{gün}^{-1}$         | 100                  | 200                  | (USEPA, 2002), (N. Zheng vd., 2010)                      |
| $F_{exp}$  | Maruziyet Sıklığı                                            | $day\ yıl^{-1}$               | 180                  | 180                  | (Ferreira-baptista & Miguel, 2005)                       |
| $T_{exp}$  | Maruziyet Süresi                                             | yıl                           | 24                   | 6                    | (USEPA, 2002), (N. Zheng vd., 2010)                      |
| $A_{skin}$ | Deri Yüzey Alanı                                             | $cm^2$                        | 5700                 | 2800                 | (USEPA, 2002), (N. Zheng vd., 2010)                      |
| $SAF$      | Cilt Adezyon Faktörü                                         | $mg\ cm^{-2}\text{saat}^{-1}$ | 0.7                  | 0.2                  | (USEPA, 2002), (N. Zheng vd., 2010)                      |
| $DAF$      | Dermal Faktörü                                               | -                             | 0.001                | 0.001                | (N. Zheng vd., 2010)                                     |
| $PEF$      | Partikül Emisyon Faktörü                                     | $m^3\text{kg}^{-1}$           | $1.36E+09$           | $1.36E+09$           | (USEPA, 2002)                                            |
| $ABW$      | Ortalama Vücut Ağırlığı                                      | kg                            | 70                   | 15                   | (USEPA, 2002), (N. Zheng vd., 2010)                      |
| $T_{avrg}$ | Ortalama Süre                                                | gün                           |                      |                      |                                                          |
|            | Kanserojenler                                                |                               | 25550                | 25550                | (Ferreira-baptista & Miguel, 2005), (N. Zheng vd., 2010) |
|            | Kanserojen Olmayanlar                                        |                               | $T_{exp} \times 365$ | $T_{exp} \times 365$ | (Ferreira-baptista & Miguel, 2005), (N. Zheng vd., 2010) |

**Tablo 3.3.** Kanserojenik ve kanserojenik olmayan risklerin hesaplanmasında kullanılan parametreler ve farklı metaller için literatürde kullanılan değerler

|                                                                    |                                | Mn   | Cu   | Zn   | Cr<br>(kanser<br>olmayan) | Cr<br>(kanser) | Pb<br>(kanser<br>olmayan) | Pb<br>(kanser) | Kaynak                                                            |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------|------|------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>R<sub>i</sub>D<sub>0</sub></b><br><b>(mg/kg-</b><br><b>day)</b> | Referans<br>Doz                | 0.14 | 0.04 | 0.3  | 0.003                     |                | 0.0035                    |                | (Kurt-Karakus,<br>2012)                                           |
| <b>BAF (%)</b>                                                     | Biyoalnabilirlik<br>Fraksiyonu | 47.6 | 64.4 | 53.2 | 5.83                      |                | 37.2                      |                | (Kurt-Karakus,<br>2012)                                           |
| <b>SLF</b><br><b>(mg/kg-</b><br><b>day)</b>                        | Kanser Eğim<br>Faktörü         |      |      |      |                           | 0.50           |                           | 0.28           | Cr için (Kurt-<br>Karakus, 2012) ve<br>Pb için (Hu vd.,<br>2012b) |

### 3.4 Faktör Analizi

Bu çalışmada PM kompozisyonunda belirlenen elementlerin kaynaklarını belirlemek amacıyla faktör analizi uygulanmıştır. 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). Bu çalışmada FA JMP ® Pro 16.0.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Eigenvalue (öz değer), her bir faktörün faktör yüklerinin kareleri toplamı, her bir faktör tarafından açıklanan varyansın oranının hesaplanmasında ve önemli faktör sayısına karar vermede kullanılan bir katsayıdır. Eigenvalue yükseldikçe, faktörün açıkladığı varyans da yükselir (Büyüköztürk, 2002). FA çalışmasında eigenvalue değeri  $>1.0$  olan faktörler kirlетici kaynağı olarak kabul edilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Faktör analizinde varyansın açıklanmasıyla ilgili olarak su üç varyanstan söz edilebilir: Ortak faktörlerce açıklanabilen varyansa ortak varyans ya da ortak faktör varyans; bir testte ya da değışkёnde gözlenen varyansı tanımlayan özgül varyans (specifi'c variance); veri setine ilişkin varyansın açıklanamayan kısmını gösteren hata varyansıdır (error variance) (Hovardaoğlu, 2000; Kline, 1994) Ortak faktör varyansı olarak da isimlendirilen ortak varyans ile özgül varyansın toplamı, testin güvenilirliğini yorumlamada kullanılır. Bir değışkёne ilişkin faktörlerin açıkladıkları ortak varyans (communality), değışkenin faktör yük değёrlerinin kareleri toplamına eşittir (Hovardaoğlu, 2000). Ortak faktör varyansı, maddelerin faktörlerle olan çoklu korelasyonunun karesi ile de açıklanmaktadır (Rennie, 1997). Ortak faktör varyansının yüksek olmasının, modele ilişkin açıklanan toplam varyansı artıracakğı dikkate alınmalıdır.

### 3.5 Zenginleştirme Faktörü

Aerosollerdeki eser metaller çeşitli kaynaklardan atmosfere salınır. Bu kaynaklar yer kabuğı, okyanuslar, volkanik aktivite, biyosfer ve çok sayıda antropojenik faaliyetlerdir (örneğin fosil yakıtların yakılması, atıkların yakılması ve cevherlerin işlenmesi) (Chester vd., 1999). Bu çalışmada zenginleştirme faktörü Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Zenginleştirme Faktörü } (EF_c) = \frac{\left(\frac{C_x}{C_R}\right)_{\text{örnek}}}{\left(\frac{C_x}{C_R}\right)_{\text{toprak}}} \dots \dots \dots (8)$$

Burada,

$C_X$ , örnekteki ilgilenilen elementin konsantrasyonu

$C_R$ , referans olarak alınan topraktaki elementin konsantrasyonudur.

Zenginleşme Faktörü ( $EF_c$ ) başta ağır metaller olmak üzere toprak yüzeyinde antropojenik kirleticilerin yoğunluğunu belirlemek için kullanılır. Analizin amacı toprak bileşenlerine göre seçilen bir referans metalin miktarını kullanarak kirlilik endekslerini hesaplamaktır (Barbieri, 2016).

$EF_c$  analizinde doğru sonuçları almak için referans elementin seçimi çok önemlidir. Kullanılacak referans elementin toprakta bol miktarda bulunmasına, çeşitli analitik tekniklerle ölçülebilir olmasına ve tüm numunelerde ölçülebilir olmasına dikkat edilmelidir.  $EF_c$  hesaplamalarında genellikle referans element olarak Al kullanılır. Çalışmada Al ölçülmediğinde alanına göre Fe, Ca, Si ve Sc gibi diğer toprak kökenli elementler referans olarak kullanılabilir. (Chester vd., 1999).

Bu çalışmada referans element olarak Fe ve Mn kullanılmış ve 6 farklı boyuttaki partikül madde konsantrasyonları içerisinde analizi yapılan 18 elementin zenginleştirme faktörleri hesaplanmıştır.

Toplanan örneklerde belirlenen metallerin hangilerinin insan faaliyetleri sonucu ortam havasına karıştığını belirleyebilmek için gerekli olan  $EF_c$  değerlerinin hesaplanmasında yukarıda verilen eşitlik kullanılmıştır. Öncelikle örneklerde belirlenen metallerin yine aynı örneklerdeki mangan konsantrasyonuna oranı alınmış ve bu oran daha sonra referans olarak kullanılan (Mason, 1966) toprak kompozisyonundaki orana bölünmüştür (Zararsız & Öztürk, 2020).

Toprak zenginleştirme faktörü ( $EF_{toprak}$ ) değerleri şu şekilde kategorize edilir :

$EF_{toprak} < 2.0$  metaller açısından minimum zenginleşmeyi

$EF_{toprak} = 2.0$  ile  $5.0$  arasında orta derecede zenginleşmeyi,

$EF_{toprak} = 5.0$  ile  $20$  arasında önemli zenginleşmeyi,

$EF_{toprak} = 20$  ile  $40$  arasında çok yüksek zenginleşmeyi

$EF_{toprak} > 40$  aşırı derecede zenginleşmiş olduğunu

ifade eder (Gope vd., 2018).

Yerküreden kaynaklanan ve insan faaliyetleri sonucu kirlenmeye uğramamış alanlarda toplanan örneklerde belirlenen elementler için toprak  $EF_c < 2.0$  iken, antropojenik kaynaklar sonucu kirlenmiş alanlarda ise bu değer  $> 2.0$ 'dir (Barbieri, 2016).

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Kirletici Konsantrasyonlarının İstatistiksel Özeti

#### 4.1.1 Partikül Madde (PM) Kütle Konsantrasyonları

Bu çalışma kapsamında toplanan PM örneklerinin kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak belirlenmiştir. **Tablo 4.1**'de partikül madde (PM) konsantrasyonlarının  $<0.49 \mu\text{m}$  boyutunda ortalaması  $13.26 \pm 7.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iken  $<7.2 \mu\text{m}$  boyutunda  $2.40 \pm 1.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak belirlenmiştir.  $\text{PM}_{10}$  boyutunda ortalama değer ise  $40.39 \pm 8.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  belirlenmiştir.

$\text{PM}_{10}$  ortalama konsantrasyonu Türkiye'de Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirlenen 24 saatlik sınır değer (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) altında kalırken yıllık sınır değer (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) eşiğindedir. Aynı zamanda Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen 24 saatlik sınır değer (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) altında kalırken yıllık sınır değer (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yaklaşık üç katı olduğu görülmektedir (*Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği*, 2008; Heinecke, 2021).

**Tablo 4.1.** Tüm örnekleme döneminde belirlenen partikül madde konsantrasyonlarının istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Partikül çapı ( $\mu\text{m}$ ) | <0.49 | 0.49-0.95 | 0.95-1.5 | 1.5-3 | 3-7.2 | >7.2 | $\text{PM}_{10}$ |
|---------------------------------|-------|-----------|----------|-------|-------|------|------------------|
| N                               | 39    | 39        | 39       | 39    | 38    | 39   | 38               |
| Ortalama                        | 13.26 | 6.72      | 4.94     | 3.79  | 5.90  | 2.40 | 40.39            |
| Standart Sapma                  | 7.14  | 3.94      | 3.32     | 2.40  | 3.64  | 1.46 | 27.67            |
| Ortanca                         | 11.59 | 5.21      | 3.56     | 3.44  | 5.11  | 1.95 | 32.06            |
| Minimum                         | 4.47  | 2.53      | 1.69     | 0.27  | 0.03  | 0.71 | 5.05             |
| Maksimum                        | 37.45 | 18.45     | 14.01    | 12.19 | 17.83 | 6.38 | 156.17           |
| Geo. Ortalama                   | 11.81 | 5.86      | 4.10     | 3.09  | 4.60  | 2.05 | 33.72            |

Onat ve Şahin, Mart 2009-Mart 2010 tarihleri arasında İstanbul-Yenibosna'da trafiğin yoğun olduğu D100 otoyolu kenarında yaptıkları örnekleme

alışmasında 36 rnek toplamış ve  $PM_{10}$  boyutunda ortalama değeri  $98.6 \mu g/m^3$  belirlemiştir (Onat & Sahin, 2012). Belirlenen sonucun hem bu çalışmada Bolu ili için bulunan ortalama değerin hemde belirlenen sınır değerlerin çok üzerinde olduğu görülmektedir.

Yılmaz, 2011-2015 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesinde  $PM_{10}$  kirliliği üzerine yaptığı çalışmada toplam dokuz şehirde örnekleme yapmıştır. Örnekleme sonucunda ortalama  $PM_{10}$  konsantrasyonları Adıyaman  $63.42 \pm 45.14 \mu g/m^3$ , Batman  $86.12 \pm 62.14 \mu g/m^3$ , Diyarbakır  $55.88 \pm 42.82 \mu g/m^3$ , Gaziantep  $76.29 \pm 55.46 \mu g/m^3$ , Kilis  $42.68 \pm 39.94 \mu g/m^3$ , Mardin  $57.60 \pm 62.33 \mu g/m^3$ , Siirt  $96.09 \pm 63.29 \mu g/m^3$ , şanlıurfa  $52.98 \pm 44.68 \mu g/m^3$  ve şırnak  $29.89 \pm 30.48 \mu g/m^3$  olarak belirlenmiştir (Yılmaz, 2018). Bu çalışmada bulunan Bolu ili ortalama  $PM_{10}$  konsantrasyonu şırnak'ın konsantrasyon değeriinin üzerinde kalırken diğer sekiz şehrin konsantrasyonunun altında kaldığı görülmektedir.

Yatkin ve Bayram, Haziran 2004-Mayıs2005 tarihleri arasında İzmir şehir merkezinde (Yeşildere semti) ve yarı-kırsal özellikteki Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde topladıkları rneklerle  $PM_{10}$  konsantrasyonlarını incelemiştir. Örnekleme sonucunda ortalama  $PM_{10}$  konsantrasyonları, Tınaztepe'de  $46.9 \pm 20,1 \mu g/m^3$  ve Yeşildere'de  $80.0 \pm 30.2 \mu g/m^3$  olarak belirlenmiştir (Yatkin & Bayram, 2007). Şehir merkezinde belirlenen konsantrasyonun bu çalışmada belirlenen Bolu ili konsantrasyonundan oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Altunok ve Eskiocak 2015-2017 yılları arasında Trakya'da hava kirliliğini incelemiştir. Yapılan çalışmada veri olarak evre ve Şehircilik Bakanlığı'nın internet sitesinden alınan değerler kullanılmış ve üç yıllık  $PM_{10}$  ortalama konsantrasyonları bulunmuştur. Yapılan çalışmada 2015,2016 ve 2017 yıllarının ortalama konsantrasyonları Edirne Merkez İlçe için  $48.97 \mu g/m^3$ , Keşan için  $74.58 \mu g/m^3$ , Kırklareli Merkez İlçe için  $61.07 \mu g/m^3$ , Lüleburgaz için  $39.01 \mu g/m^3$ , Tekirdağ Merkez İlçesi için  $78.81 \mu g/m^3$ , erkezky için  $40.80 \mu g/m^3$  olarak belirlenmiştir (Altunok & Eskiocak, 2020). Bu çalışmada bulunan Bolu ili konsantrasyonunun Keşan, Kırklareli ve Tekirdağ illerinden daha düşükken; Edirne, Lüleburgaz ve erkezky'de belirlenen değerele yakın olduğu görülmektedir.

Bolu vd., T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi'nden aldıkları 2014 yılına ait hava kalitesi verileri ile Düzce ilinde SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> kirliliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda yıllık ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonu 106.42±102 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir (Bolu vd., 2015). Benzer iklimsel özelliklere sahip olmalarına rağmen Düzce ili için belirlenen değer bu çalışmada bulunan Bolu ili konsantrasyonundan çok yüksektir.

#### 4.1.2 Metal Konsantrasyonları

PM kompozisyonunda belirlenen elementlerin parçacık boyutuna bağlı istatistiksel özeti **Tablo 4.2- Tablo 4.6**'de sunulmuştur.

Krom, Ag, Cs, Ga, Ni, Tl, V ve Zn için en yüksek ortalama konsantrasyon değerleri geri toplama filtresinde (<0.49 µm) bulunan partikül madde üzerinde sırasıyla 3.93±3.06, 0.45±0.11, 0.129±0.070, 0.89±0.76, 9.49±4.04, 0.052±0.035, 2.06±0.63 ve 34.14±15.84 ng/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir. Bu parametrelerin dışında As için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 4.22±2.12 ng/m<sup>3</sup> olarak >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenirken Ba için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 3-7.2 µm parçacık boyutunda 18.37±11.56 ng/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır.

Gümüş, As ve Ba elementlerinin istatistiksel özeti **Tablo 4.2**' de verilmiştir.

Gümüş için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 0.45 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49 µm parçacık boyutunda, en düşük konsantrasyon değeri 0.28 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Bu element için yönetmelikte bir sınır değer bulunmamaktadır. Aynı zamanda literatürde de bu elementin analiz edildiği bir çalışma bulunmamaktadır.

Arsenik için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 4.22 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 1.03 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Türkiye'de As için verilen limit değer 6 ng/m<sup>3</sup>'tür (*Mevzuat Bilgi Sistemi*, 2009). Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya'da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.14, 0.26, 0.19, 0.16, 0.14, 0.40 ng/m<sup>3</sup> değerlerini

bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.25, 0.60, 0.38, 0.44, 0.91, 4.58 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Baryum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 18.37 ng/m<sup>3</sup> ile 3-7.2 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 6.16 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Bu element için yönetmelikte bulunan bir sınır değeri bulunmamaktadır. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 1.10, 1.52, 1.43, 1.06, 0.98, 0.91 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 2.10, 5.51, 3.49, 3.37, 2.25, 2.65 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Kadmiyum, Co, Cr ve Cs elementlerinin istatistiksel özeti **Tablo 4.3**’te verilmiştir.

Kadmiyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 0.2 ng/m<sup>3</sup> ile 0.49-0.95 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.02 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Türkiye’de Cd için verilen limit değeri 5 ng/m<sup>3</sup>’tür (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2009). Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.02, 0.04 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.01, 0.02, 0.02, 0.05, 0.14, 0.64 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Kobalt için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 1.40 ng/m<sup>3</sup> ile 3-7.2 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.73 ng/m<sup>3</sup> ile 0.49-0.95 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Bu element için yönetmelikte bulunan bir sınır değeri bulunmamaktadır. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.05, 0.10, 0.06, 0.05, 0.03, 0.03 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.11, 0.25, 0.13, 0.11, 0.07, 0.17 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Krom için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 3.93 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 1.93 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Bu element için yönetmelikte bulunan bir sınır

değer bulunmamaktadır. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.57, 1.00, 0.67, 0.54, 0.43, 0.58 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 1.15, 2.55, 1.50, 1.34, 1.08, 2.06 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Sezyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 0.13 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.07 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.36, 0.75, 0.16, 0.28, 0.18, 0.18 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.04, 0.10, 0.05, 0.05, 0.04, 0.16 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Bakır, Fe, Ga ve Mn elementlerinin istatistiksel özeti **Tablo 4.4**’de verilmiştir.

Bakır için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 15.26 ng/m<sup>3</sup> ile 0.95-1.5 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 2.14 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 3.17, 12.96, 18.19, 41.46, 61.39, 34.44 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 7.93, 42.62, 95.80, 145.57, 60.28, 107.73 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Demir için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 452.42 ng/m<sup>3</sup> ile 3-7.2 µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 85.80 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49 µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 78.54, 145.54, 104.24, 83.65, 59.35, 65.47 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 126.95, 293.88, 171.51, 144.802, 91.78, 138.07 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Galyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 0.89 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.46 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada

Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.39, 0.70, 0.49, 0.42, 0.35, 0.35 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.67, 1.74, 1.12, 1.00, 0.70, 1.06 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Mangan için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 10.07 ng/m<sup>3</sup> ile 3-7.2µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 3.03 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 1.58, 3.06, 2.07, 1.61, 1.34, 1.44 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 2.52, 5.74, 3.11, 2.66, 2.13, 3.58 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Nikel, Pb, Rb ve Sr elementlerinin istatistiksel özeti **Tablo 4.5**’de verilmiştir.

Nikel için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 9.49 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 4.48 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Türkiye’de Ni için verilen limit değer 20 ng/m<sup>3</sup>’tür (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2009). Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.66, 1.15, 0.72, 0.65, 0.49, 0.63 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 1.63, 3.38, 1.91, 1.58, 1.14, 3.21 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Kurşun için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 4.51 ng/m<sup>3</sup> ile 0.49-0.95µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.35 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.53, 0.86, 0.73, 0.79, 1.25, 2.20 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.75, 1.88, 1.73, 3.29, 6.00, 27.01 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Rubidyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 1.08 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.64 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada

Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.14, 0.28, 0.18, 0.14, 0.12, 0.18 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.26, 0.60, 0.30, 0.27, 0.26, 0.97 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Stronsiyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 9.29 ng/m<sup>3</sup> ile 3-7.2µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 6.35 ng/m<sup>3</sup> ile 0.49-0.95µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.60, 1.07, 0.71, 0.56, 0.42, 0.45 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 1.31, 2.91, 1.51, 1.23, 0.80, 1.44 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Talyum, V ve Zn elementlerinin istatistiksel özeti **Tablo 4.6**’de verilmiştir.

Talyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 0.052 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 0.003 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.04, 0.03, 0.02, 0.01, 0.02, 0.02 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise değer bulunamamıştır. (Ertürk, 2016).

Vanadyum için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 2.06 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 1.08 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 0.42, 0.97, 0.57, 0.48, 0.37, 0.73 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 0.57, 1.47, 0.85, 0.83, 0.65, 1.94 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

Çinko için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri 34.14 ng/m<sup>3</sup> ile <0.49µm parçacık boyutunda en küçük konsantrasyon değeri 19.48 ng/m<sup>3</sup> ile >7.2µm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Ertürk, 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya’da yaz aylarında >10.2, 4.2-10.2, 2.1-4.2, 1.3-2.1, 0.69-1.3, <0.69 parçacık boyutları için sırasıyla 1.46, 2.88, 2.33, 2.57, 3.38, 4.58 ng/m<sup>3</sup> değerlerini

bulmuştur. Kış ayları için ise sırasıyla 1.51, 5.77, 3.80, 4.97, 10.57, 44.57 ng/m<sup>3</sup> değerlerini bulmuştur (Ertürk, 2016).

**Tablo 4.2.** Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: ng/m<sup>3</sup>)

| Partikül çapı (µm) | <0.49  | 0.49-0.95 | 0.95-1.5 | 1.5-3 | 3-7.2 | >7.2  |
|--------------------|--------|-----------|----------|-------|-------|-------|
| <b>Ag</b>          |        |           |          |       |       |       |
| N                  | 33     | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 0.45   | 0.31      | 0.30     | 0.30  | 0.30  | 0.28  |
| Standart Sapma     | 0.11   | 0.08      | 0.08     | 0.07  | 0.08  | 0.07  |
| Ortanca            | 0.46   | 0.31      | 0.31     | 0.30  | 0.30  | 0.28  |
| Minimum            | 0.27   | 0.19      | 0.19     | 0.19  | 0.19  | 0.15  |
| Maksimum           | 0.67   | 0.46      | 0.46     | 0.44  | 0.44  | 0.42  |
| Geo. Ortalama      | 0.43   | 0.30      | 0.29     | 0.29  | 0.29  | 0.27  |
| <b>As</b>          |        |           |          |       |       |       |
| N                  | 32     | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 1.03   | 1.47      | 1.46     | 2.45  | 4.20  | 4.22  |
| Standart Sapma     | 0.45   | 0.58      | 0.55     | 1.64  | 3.01  | 2.12  |
| Ortanca            | 1.02   | 1.42      | 1.40     | 2.00  | 2.96  | 3.92  |
| Minimum            | 0.32   | 0.45      | 0.49     | 0.52  | 0.69  | 1.18  |
| Maksimum           | 1.71   | 2.75      | 2.47     | 8.44  | 12.47 | 9.68  |
| Geo. Ortalama      | 0.92   | 1.35      | 1.35     | 2.03  | 3.35  | 3.68  |
| <b>Ba</b>          |        |           |          |       |       |       |
| N                  | 30     | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 12.29  | 6.19      | 8.75     | 10.90 | 18.37 | 6.16  |
| Standart Sapma     | 32.10  | 3.30      | 4.69     | 5.36  | 11.66 | 2.88  |
| Ortanca            | 6.53   | 5.88      | 7.89     | 9.94  | 14.51 | 6.06  |
| Minimum            | 2.45   | 0.82      | 2.82     | 3.86  | 4.00  | 0.99  |
| Maksimum           | 181.39 | 13.81     | 18.85    | 29.87 | 45.71 | 12.14 |
| Geo. Ortalama      | 6.42   | 5.22      | 7.58     | 9.83  | 15.29 | 5.42  |

**Tablo 4.3.** Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: ng/m3) (Devam)

| Partikül çapı (µm) | <0.49 | 0.49-0.95 | 0.95-1.5 | 1.5-3 | 3-7.2 | >7.2  |
|--------------------|-------|-----------|----------|-------|-------|-------|
| <b>Cd</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 32    | 33        | 32       | 33    | 32    | 26    |
| Ortalama           | 0.17  | 0.20      | 0.11     | 0.05  | 0.04  | 0.02  |
| Standart Sapma     | 0.10  | 0.12      | 0.06     | 0.02  | 0.03  | 0.02  |
| Ortanca            | 0.16  | 0.17      | 0.11     | 0.05  | 0.04  | 0.03  |
| Minimum            | 0.01  | 0.02      | 0.001    | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Maksimum           | 0.40  | 0.46      | 0.24     | 0.11  | 0.11  | 0.05  |
| Geo. Ortalama      | 0.13  | 0.15      | 0.08     | 0.04  | 0.03  | 0.02  |
| <b>Co</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 33    | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 0.92  | 0.73      | 0.90     | 0.99  | 1.40  | 0.75  |
| Standart Sapma     | 0.32  | 0.20      | 0.36     | 0.38  | 0.64  | 0.22  |
| Ortanca            | 0.92  | 0.74      | 0.78     | 0.88  | 1,25  | 0.73  |
| Minimum            | 0.51  | 0.43      | 0.41     | 0.49  | 0.45  | 0.38  |
| Maksimum           | 1.75  | 1.15      | 1.88     | 1.90  | 3.10  | 1.17  |
| Geo. Ortalama      | 0.87  | 0.71      | 0.84     | 0.92  | 1,26  | 0.71  |
| <b>Cr</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 33    | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 3.93  | 2.16      | 2.42     | 2.55  | 3.45  | 1.93  |
| Standart Sapma     | 3.06  | 1.11      | 1.29     | 1.28  | 1.65  | 1.00  |
| Ortanca            | 3.62  | 2.02      | 2.06     | 2.17  | 3.19  | 1.85  |
| Minimum            | 0.39  | 0.64      | 0,54     | 1.05  | 0.69  | 0.62  |
| Maksimum           | 19.00 | 6.03      | 5.56     | 5.96  | 7.17  | 4.66  |
| Geo. Ortalama      | 3.16  | 1.90      | 2.08     | 2.26  | 3.06  | 1.68  |
| <b>Cs</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 28    | 33        | 31       | 31    | 33    | 29    |
| Ortalama           | 0.13  | 0.11      | 0.09     | 0.09  | 0.10  | 0.07  |
| Standart Sapma     | 0.07  | 0.06      | 0.05     | 0.05  | 0.07  | 0.04  |
| Ortanca            | 0.15  | 0.11      | 0.09     | 0.08  | 0.09  | 0.07  |
| Minimum            | 0.01  | 0.01      | 0.01     | 0.002 | 0.001 | 0.01  |
| Maksimum           | 0.26  | 0.25      | 0.21     | 0.21  | 0.27  | 0.13  |
| Geo. Ortalama      | 0.11  | 0.08      | 0.07     | 0.07  | 0.07  | 0.06  |

**Tablo 4.4.** Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: ng/m<sup>3</sup>) (Devam)

| Partikül çapı (µm) | <0.49  | 0.49-0.95 | 0.95-1.5 | 1.5-3  | 3-7.2   | >7.2   |
|--------------------|--------|-----------|----------|--------|---------|--------|
| <b>Cu</b>          |        |           |          |        |         |        |
| N                  | 33     | 33        | 33       | 33     | 33      | 33     |
| Ortalama           | 7.74   | 11.74     | 15.26    | 11.71  | 11.07   | 2.14   |
| Standart Sapma     | 4.32   | 7.69      | 12.81    | 10.71  | 7.07    | 1.10   |
| Ortanca            | 7.59   | 9.78      | 10.18    | 8.25   | 8.43    | 1.98   |
| Minimum            | 1.86   | 1.98      | 0.79     | 1.85   | 1.63    | 0.53   |
| Maksimum           | 17.50  | 33.34     | 47.65    | 49.79  | 25.12   | 4.67   |
| Geo. Ortalama      | 6.61   | 9.39      | 10.77    | 8.50   | 8.89    | 1.87   |
| <b>Fe</b>          |        |           |          |        |         |        |
| N                  | 33     | 33        | 33       | 33     | 33      | 33     |
| Ortalama           | 85.80  | 90.79     | 162.92   | 235.47 | 452.42  | 102.04 |
| Standart Sapma     | 61.62  | 56.17     | 120.87   | 155.17 | 272.04  | 59.72  |
| Ortanca            | 83.61  | 80.83     | 127.28   | 217.90 | 410.13  | 92.87  |
| Minimum            | 6.66   | 13.58     | 14.09    | 34.34  | 30.95   | 15.54  |
| Maksimum           | 307.83 | 261.11    | 552.76   | 783.17 | 1076.36 | 275.95 |
| Geo. Ortalama      | 63.86  | 76.48     | 125.78   | 189.17 | 365.75  | 84.47  |
| <b>Ga</b>          |        |           |          |        |         |        |
| N                  | 33     | 33        | 33       | 33     | 33      | 33     |
| Ortalama           | 0.89   | 0.62      | 0.60     | 0.63   | 0.84    | 0.46   |
| Standart Sapma     | 0.76   | 0.23      | 0.24     | 0.24   | 0.37    | 0.16   |
| Ortanca            | 0.73   | 0.60      | 0.55     | 0.62   | 0.74    | 0.44   |
| Minimum            | 0.20   | 0.22      | 0.25     | 0.32   | 0.28    | 0.16   |
| Maksimum           | 4.42   | 1.11      | 1.04     | 1.24   | 1.78    | 0.75   |
| Geo. Ortalama      | 0.70   | 0.58      | 0.55     | 0.59   | 0.76    | 0.43   |
| <b>Mn</b>          |        |           |          |        |         |        |
| N                  | 33     | 33        | 33       | 33     | 33      | 33     |
| Ortalama           | 3.20   | 3.57      | 4.29     | 5.17   | 10.07   | 3.03   |
| Standart Sapma     | 2.37   | 1.68      | 2.62     | 3.10   | 5.99    | 1.61   |
| Ortanca            | 2.62   | 3.23      | 3.53     | 4.46   | 9.17    | 2.84   |
| Minimum            | 0.41   | 0.70      | 0.56     | 1.09   | 0.94    | 0.65   |
| Maksimum           | 11.47  | 7.34      | 11.30    | 15.70  | 25.18   | 7.29   |
| Geo. Ortalama      | 2.42   | 3.18      | 3.55     | 4.35   | 8.28    | 2.60   |

**Tablo 4.5.** Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: ng/m<sup>3</sup>) (Devam)

| Partikül çapı (µm) | <0.49 | 0.49-0.95 | 0.95-1.5 | 1.5-3 | 3-7.2 | >7.2  |
|--------------------|-------|-----------|----------|-------|-------|-------|
| <b>Ni</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 33    | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 9.49  | 5.10      | 4.96     | 5.05  | 5.60  | 4.48  |
| Standart Sapma     | 4.04  | 5.50      | 5.03     | 5.35  | 4.87  | 4.63  |
| Ortanca            | 8.22  | 4.48      | 4.21     | 4.29  | 4.68  | 3.80  |
| Minimum            | 2.60  | 1.27      | 1.30     | 1.31  | 1.71  | 0.44  |
| Maksimum           | 18.23 | 34.06     | 31.05    | 33.14 | 29.88 | 28.32 |
| Geo. Ortalama      | 8.62  | 4.00      | 3.94     | 4.01  | 4.59  | 3.43  |
| <b>Pb</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 33    | 33        | 31       | 33    | 32    | 28    |
| Ortalama           | 3.97  | 4.51      | 2.88     | 1.31  | 1.69  | 0.35  |
| Standart Sapma     | 2.25  | 2.73      | 1.84     | 0.85  | 0.96  | 0.2   |
| Ortanca            | 4.24  | 4.20      | 2.55     | 1.11  | 1.36  | 0.34  |
| Minimum            | 0.43  | 0.46      | 0.42     | 0.05  | 0.25  | 0.05  |
| Maksimum           | 9.69  | 11.56     | 8.78     | 3.83  | 3.89  | 0.80  |
| Geo. Ortalama      | 3.20  | 3.66      | 2.38     | 1.00  | 1.42  | 0.29  |
| <b>Rb</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 27    | 33        | 33       | 33    | 33    | 33    |
| Ortalama           | 1.08  | 1.03      | 0.88     | 0.82  | 1.07  | 0.64  |
| Standart Sapma     | 0.64  | 0.50      | 0.51     | 0.51  | 0.72  | 0.43  |
| Ortanca            | 1.12  | 1.06      | 0.78     | 0.79  | 0.95  | 0.54  |
| Minimum            | 0.002 | 0.14      | 0.07     | 0.13  | 0.09  | 0.04  |
| Maksimum           | 2.46  | 2.41      | 2.08     | 2.34  | 2.77  | 1.38  |
| Geo. Ortalama      | 0.73  | 0.87      | 0.69     | 0.65  | 0.83  | 0.47  |
| <b>Sr</b>          |       |           |          |       |       |       |
| N                  | 33    | 33        | 33       | 33    | 33    | 32    |
| Ortalama           | 7.29  | 6.35      | 6.79     | 7.27  | 9.29  | 6.42  |
| Standart Sapma     | 3.73  | 2.03      | 2.39     | 2.41  | 3.60  | 1.80  |
| Ortanca            | 6.95  | 6.28      | 6.50     | 7.83  | 8.64  | 6.31  |
| Minimum            | 1.33  | 2.81      | 3.00     | 3.30  | 4.06  | 3.00  |
| Maksimum           | 14.57 | 10.05     | 11.49    | 13.52 | 18.56 | 9.63  |
| Geo. Ortalama      | 6.24  | 6.01      | 6.36     | 6.88  | 8.65  | 6.16  |

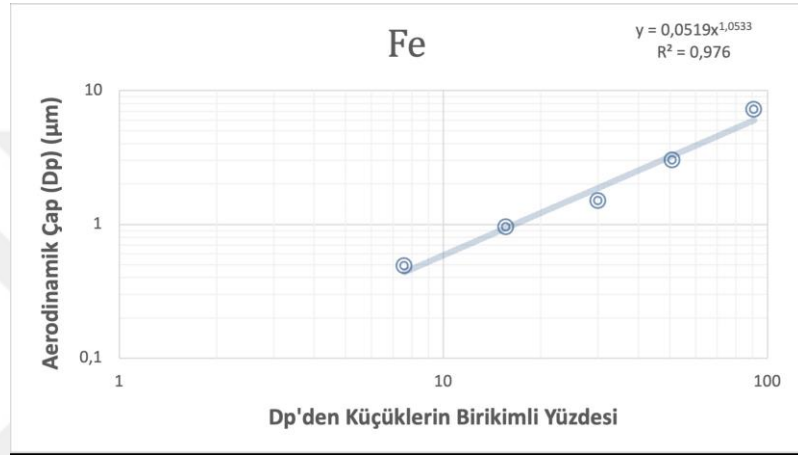
**Tablo 4.6.** Partikül madde örneklerinde belirlenen metal parametrelerinin istatistiksel özeti (Konsantrasyon Birimi: ng/m<sup>3</sup>) (Devam)

| Partikül çapı (µm) | <0.49 | 0.49-0.95 | 0.95-1.5 | 1.5-3 | 3-7.2 | >7.2   |
|--------------------|-------|-----------|----------|-------|-------|--------|
| <b>Tl</b>          |       |           |          |       |       |        |
| N                  | 33    | 33        | 33       | 33    | 33    | 33     |
| Ortalama           | 0.052 | 0.049     | 0.021    | 0.011 | 0.015 | 0.003  |
| Standart Sapma     | 0.035 | 0.044     | 0.019    | 0.006 | 0.008 | 0.002  |
| Ortanca            | 0.042 | 0.028     | 0.014    | 0.010 | 0.014 | 0.003  |
| Minimum            | 0.012 | 0.007     | 0.001    | 0.001 | 0.002 | 0.0001 |
| Maksimum           | 0.139 | 0.169     | 0.085    | 0.025 | 0.042 | 0.013  |
| Geo. Ortalama      | 0.042 | 0.035     | 0.014    | 0.009 | 0.012 | 0.002  |
| <b>V</b>           |       |           |          |       |       |        |
| N                  | 33    | 33        | 33       | 33    | 33    | 33     |
| Ortalama           | 2.06  | 1.37      | 1.33     | 1.40  | 1.93  | 1.08   |
| Standart Sapma     | 0.63  | 0.43      | 0.51     | 0.53  | 0.77  | 0.41   |
| Ortanca            | 2.20  | 1.36      | 1.27     | 1.36  | 1.73  | 1.07   |
| Minimum            | 0.83  | 0.61      | 0.55     | 0.69  | 0.62  | 0.24   |
| Maksimum           | 3.05  | 2.18      | 2.71     | 3.10  | 3.83  | 1.85   |
| Geo. Ortalama      | 1.95  | 1.29      | 1.24     | 1.31  | 1.79  | 1.00   |
| <b>Zn</b>          |       |           |          |       |       |        |
| N                  | 28    | 33        | 33       | 33    | 33    | 31     |
| Ortalama           | 34.14 | 33.53     | 30.55    | 24.80 | 26.57 | 19.48  |
| Standart Sapma     | 15.84 | 15.93     | 15.96    | 13.31 | 14.58 | 11.35  |
| Ortanca            | 36.44 | 34.24     | 30.11    | 23.68 | 26.76 | 19.77  |
| Minimum            | 2.84  | 4.51      | 3.36     | 3.48  | 3.75  | 1.10   |
| Maksimum           | 61.56 | 60.76     | 67.79    | 55.03 | 56.06 | 37.60  |
| Geo. Ortalama      | 28.41 | 28.25     | 25.27    | 20.83 | 22.03 | 15.04  |

#### 4.1.3 Literatür ile Karşılaştırma

Partikül maddenin farklı fraksiyonlarında belirlenen element konsantrasyonları literatürde verilen diğer çalışmalarla karşılaştırılıp sonuçlar **Tablo 4.7'**de verilmiştir. Literatür karşılaştırmasında kullanılan referans çalışmaların özellikle kentsel ortamlarda yapılan çalışmalar olmasına özen gösterilmiştir. Bu çalışmada farklı parçacık boyutunda toplanan örnekler analiz edildiği ve literatür çalışmalarında çok kısıtlı sayıda benzer bir örnekleme metodolojisi takip edildiği için PM örneklerinde belirlenen element

parametrelerinin  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  konsantrasyonları hesaplanmıştır.  $PM_{10}$  konsantrasyonları için altı farklı fraksiyonda toplanan örneklerin konsantrasyonları toplanmıştır.  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının belirlenmesi için ise **Şekil 4.1**'de Fe için örnek olarak verilen parçacık boyut dağılım grafiğinden faydalanılmıştır. Her parametre için parçacık boyut dağılım grafiği çizilerek 2.5  $\mu m$  boyuta karşılık gelen konsantrasyon değeri kullanılarak birikimli yüzde hesaplanmış ve bulunan bu değer  $PM_{10}$  konsantrasyon değeri ile çarpılarak  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerine ulaşılmıştır.



**Şekil 4.1.** Fe elementinin parçacık boyut dağılım grafiği

Öztürk ve Keleş tarafından Bolu şehir merkezinde halı hazırda bulunan istasyonda Aralık 2014 ve Şubat 2015 tarihleri arasında kaba ( $PM_{2.5-10}$ ) ve ince ( $PM_{2.5}$ ) fraksiyonda numuleler toplanmıştır. Kaba ve ince fraksiyonda PM örnekleri SFU örnekleyici kullanılarak nükleopor filtre üzerinde toplanmış ve toplanan örneklerde metal içeriği (Al, As, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Si, Ti, V ve Zn) WDXRF cihazı ile bakılmıştır.

Theodosi vd. tarafından Aralık 2013'ten Mart 2016'ya kadar Atina'nın merkezindeki bir kentsel alanda 12 ila 24 saat bazında toplam 850 aerosol numunesi toplayarak ana iyonlar, eser elementler ve organik ve elementel karbon analizlerini gerçekleştirdi.

Galindo vd. tarafından Şubat 2015'ten Şubat 2018'e kadar Elche şehir merkezinde (İspanyol Akdeniz kıyılarına yakın) 400'den fazla  $PM_1$  ve 400  $PM_{10}$  günlük numune toplandı. Spesifik kirlilik olaylarının her iki PM fraksiyonunun

kimyasal bileşimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla ana ve eser bileşenlerin konsantrasyonlarını belirlemek için numuneler analiz edildi.

Bhuyan vd. (2018) tarafından orta Brahmaputra ovası bölgesindeki üç kırsal konumda aerosol örnekleri ( $PM_{10}$ ,  $n = 250$  olarak) toplanarak metaller (Al, Fe, Co, Cu, Cr, Cd, Mn, Ni, Pb) ve iyonlar ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) için kimyasal olarak analiz edildi.

Hsu vd. (2021) tarafından  $PM_{2.5}$ 'e bağlı metaller, 2016 ile 2018 yılları arasında Tayvan'ın kentsel, yarı kentsel, kırsal ve sanayi bölgelerinde toplandı.

Bu çalışmada  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  kompozisyonunda belirlenen Cu, Zn ve As metallerine ait ortalama konsantrasyonların karşılaştırılan diğer tüm istasyonlar için raporlanan değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Bhuyan vd. (2018)'den sonraki en yüksek Mn ve Fe konsantrasyonları da yine bu çalışmada gözlemlenmiştir. Bu metallerden kaba fraksiyonlarda görülen Fe'nin toprak ile ilişkisi kurulurken ince fraksiyondaki Fe, Mn ve Zn çelik endüstrisinden kaynaklanan parametreler olarak bilinmektedir. Dolayısı ile Bolu il merkezinde bulunan istasyonun uzun mesafeli taşınım ile sanayi kaynaklı kirleticilerin etkisi altında olduğunu söylemek mümkündür.

**Tablo 4.7.** Bu çalışmada elde edilen metal değerlerinin literatürde verilen değerler ile karşılaştırılması (Konsatrasyon Birimi: ng/m<sup>3</sup>)

|               | Bu Çalışma       |                   | (Öztürk & Keleş, 2015) |                   | (Theodosi vd., 2018) |                   | (Galindo vd., 2020) | (Bhuyan vd., 2018) | (Hsu vd., 2021)   |                   |                   |                   |
|---------------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| İstasyon Tipi | Kentsel          |                   | Kentsel                |                   | Kentsel              |                   | Kentsel             | Kırsal             | Kentsel           | Yarı-kentsel      | Kırsal            | Endüstriyel       |
| PM fraksiyonu | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>10-2.5</sub>   | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>10-2.5</sub> | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>10</sub>    | PM <sub>10</sub>   | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>2.5</sub> |
| <b>Cd</b>     | 0.6              | 0.5               |                        |                   | 1.7                  |                   |                     | 3                  | 0                 | 1                 | 0                 | 1                 |
| <b>V</b>      | 9.2              | 5.3               | 2                      | 0.67              | 6.9                  |                   | 6                   |                    | 4                 | 5                 | 3                 | 3                 |
| <b>Mn</b>     | 29               | 14                | 12                     | 14                | 4.6                  |                   | 17                  | 30                 | 6                 | 9                 | 2                 | 6                 |
| <b>Fe</b>     | 1129             | 447               | 322                    | 178               | 264                  |                   | 548                 | 1420               | 142               | 138               | 57                | 211               |
| <b>Cu</b>     | 60               | 37                | 7                      | 5                 | 14.8                 |                   | 26                  | 20                 | 6                 | 6                 | 2                 | 5                 |
| <b>Zn</b>     | 169              | 105               | 18                     | 17                | 93                   |                   | 42                  |                    | 41                | 58                | 24                | 48                |
| <b>As</b>     | 15               | 11                | 1                      | 0.93              | 2                    |                   |                     |                    | 1                 | 1                 | 1                 | 1                 |
| <b>Ba</b>     | 62.7             | 32.9              | 12                     | 9                 |                      |                   |                     |                    | 42                | 17                | 29                | 26                |
| <b>Pb</b>     | 15               | 12                | 18                     | 16                | 4.1                  |                   |                     | 60                 | 7                 | 20                | 4                 | 21                |
| <b>Cr</b>     | 16               | 10                |                        |                   | 27.1                 |                   | 11                  | 60                 | 13                | 3                 | 6                 | 5                 |
| <b>Ni</b>     | 35               | 20                |                        |                   | 6                    |                   | 11                  | 50                 | 11                | 3                 | 2                 | 5                 |
| <b>Co</b>     | 6                | 3                 |                        |                   |                      |                   |                     | 2                  | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 |
| <b>Sr</b>     | 43               | 23                |                        |                   |                      |                   |                     |                    | 2                 | 2                 | 1                 | 2                 |

#### 4.2 Partikül Madde Kompozisyonunda Belirlenen Parametrelerin Zamansal Değişimi

Bu çalışma kapsamında toplanan PM örnekleri 18 element açısından analiz edilmiştir. Örnekleme bir yıl boyunca devam etmiş ve altı farklı PM fraksiyonunun element konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen veri seti zamansal değişimler açısından incelenmiştir. **Şekil 4.2-Şekil 4.7**'de seçilen bazı parametrelerin uzun dönem değişimleri gösterilmektedir. Antropojenik kaynaklardan atmosfere salınan As, Ba, Cu, Fe, Mn ve Zn gibi elementlerin örnekleme dönemi boyunca farklı değişimler gösterdiği görülmektedir.

Arsenik element konsantrasyonunun zamansal değişimi **Şekil 4.2**'de verilmiştir. Tüm örnekleme dönemi incelendiğinde konsantrasyon değerleri Nisan 2021-Ekim 2021 dönem aralığında  $<0.49 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda, Ocak 2022-Mart 2022 dönem aralığında ise  $3-7.2 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda yüksek pikler vermiştir.

Çinko element konsantrasyonunun zamansal değişimi **Şekil 4.3**'te verilmiştir. Tüm örnekleme dönemi incelendiğinde konsantrasyon değerleri Mart 2021-Ekim 2021 dönem aralığında tüm parçacık boyutlarında kış aylarına göre daha yüksek konsantrasyonlarda ve farklı aylarda farklı parçacık boyutlarında yüksek pikler vermiştir. Kasım 2021-Mart 2022 dönem aralığında ise  $0.49-0.95 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda yüksek pikler vermiştir.

Bakır element konsantrasyonunun zamansal değişimi **Şekil 4.4**'te verilmiştir. Tüm örnekleme dönemi incelendiğinde konsantrasyon değerleri Mayıs 2021-Temmuz 2021 dönem aralığında  $0.95-1.5 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda yüksek konsantrasyonlarda, kış aylarında ise  $0.95-1.5 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda düşük konsantrasyonlarda pikler vermiştir.

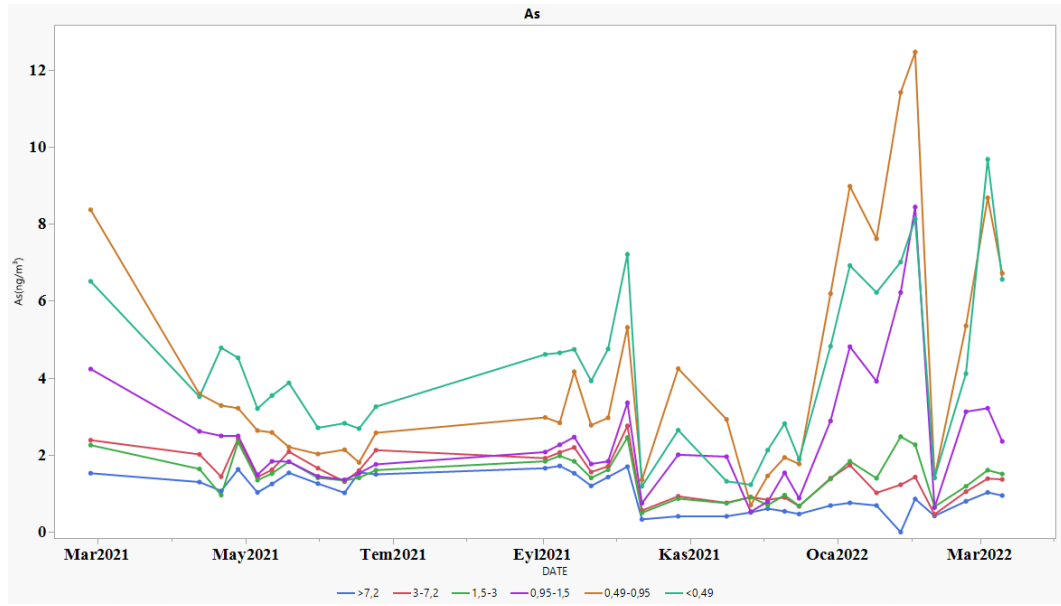
Baryum element konsantrasyonunun zamansal değişimi **Şekil 4.5**'te verilmiştir. Tüm örnekleme dönemi incelendiğinde konsantrasyon değerleri  $3-7.2 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda yüksek pikler vermiştir. Aynı zamanda Mayıs 2021 döneminde  $<0.49 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda anlık yüksek pik vermiştir.

Mangan element konsantrasyonunun zamansal değişimi **Şekil 4.6**'da verilmiştir. Tüm örnekleme dönemi incelendiğinde konsantrasyon değerleri 3-7.2 µm parçacık boyutunda yüksek pikler vermiştir. Aynı zamanda Mayıs 2021 ve Ekim 2021 dönemlerinde bu parçacık boyutunda anlık yüksek pikler vermiştir.

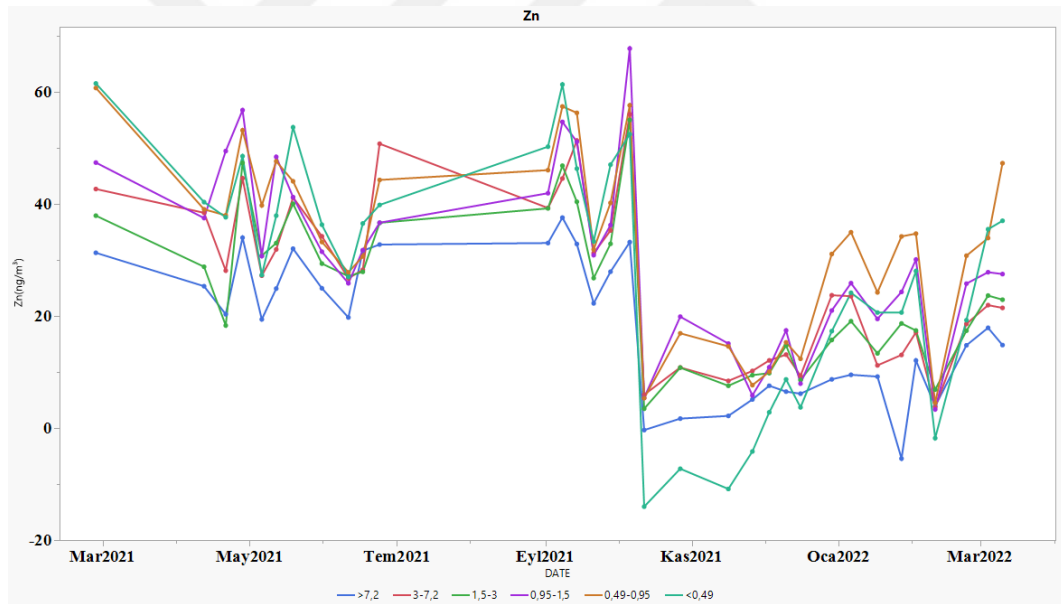
Demir element konsantrasyonunun zamansal değişimi **Şekil 4.7**'de verilmiştir. Tüm örnekleme dönemi incelendiğinde konsantrasyon değerleri 3-7.2 µm parçacık boyutunda yüksek pikler vermiştir. Aynı zamanda Mayıs 2021, Ekim 2021 ve Ocak 2022 dönemlerinde bu parçacık boyutunda anlık yüksek pikler vermiştir.

Ertürk 2016 yılında yaptığı çalışmada Kütahya istasyonunda kaba partikül kütleli derişimlerinin yaz ayları örneklerinde kış aylarına göre daha düşük olduğu, benzer şekilde toprak kaynaklı element derişimlerinin yine kış aylarında toplanan örneklerde daha yüksek derişimlerde görüldüğü gibi genel kirletici mevsimsel eğilimlerine uymayan sonuçlara rastlandığını belirtmiştir. Aynı zamanda dış ortam hava sıcaklığının daha düşük olduğu dönemlerde toplanan örneklerdeki bazı istisna bileşenler dışında hemen hemen bütün parametrelerin yaz mevsimindekilere göre daha yüksek bulunduğunu gözlemlemiştir (Ertürk, 2016).

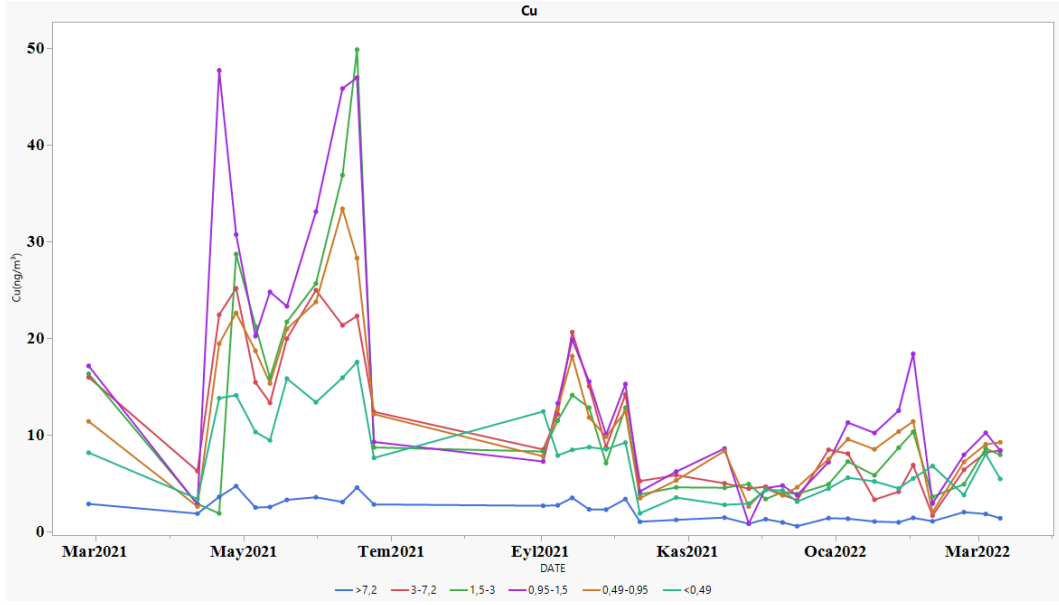
Tepe ve Doğan 2014-2015 yıllarında Antalya'da yaptıkları çalışmada kaba fraksiyonda As, Cu, Zn, Pb ve Ti elementlerinin konsantrasyonları kış aylarında daha yüksek, Al, Si ve Na konsantrasyonlarının ise yaz aylarında daha yüksek olduğu görülmüştür. İnce fraksiyonda As, Pb, K, Zn, Ca, Ti, Cu elementlerinin konsantrasyonları kış aylarında daha yüksek, Al, Si, Na, V ve S elementlerinin konsantrasyonlarının ise yaz aylarında daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Tepe & Doğan, 2017)



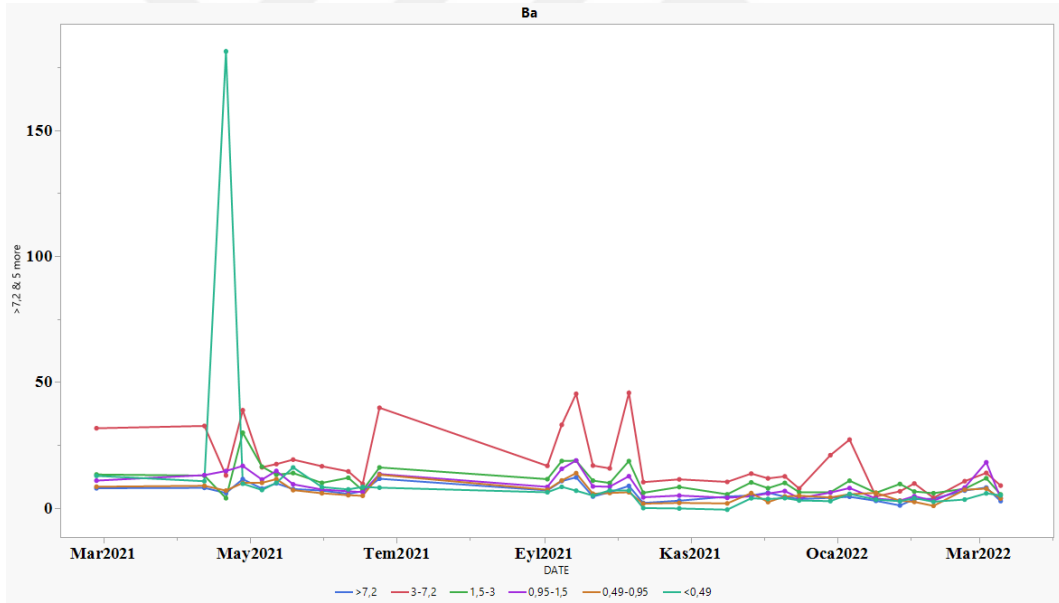
Şekil 4.2. As konsantrasyonunun zamansal değişimi



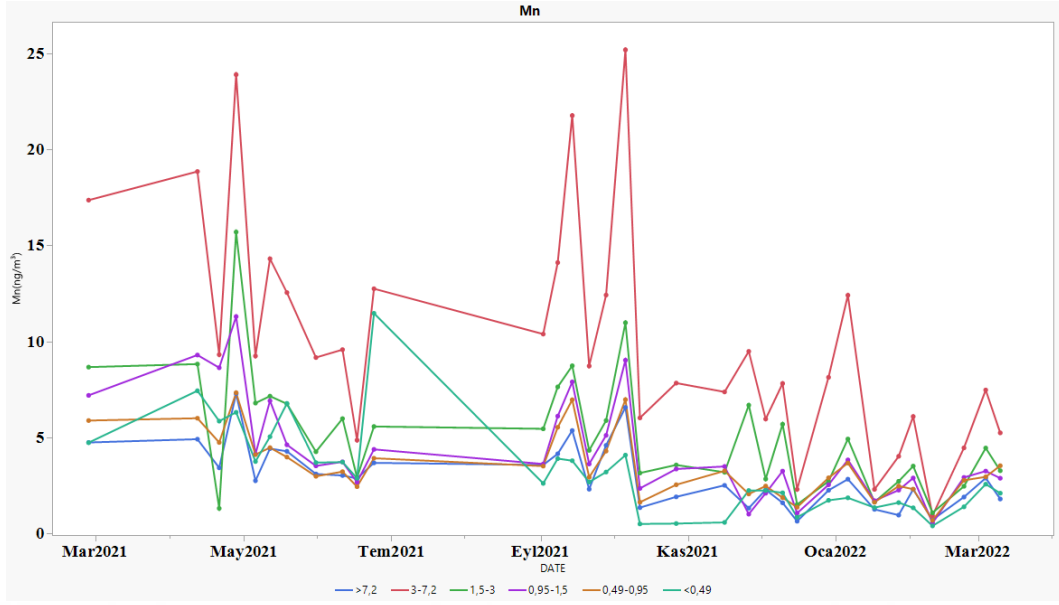
Şekil 4.3. Zn konsantrasyonunun zamansal değişimi



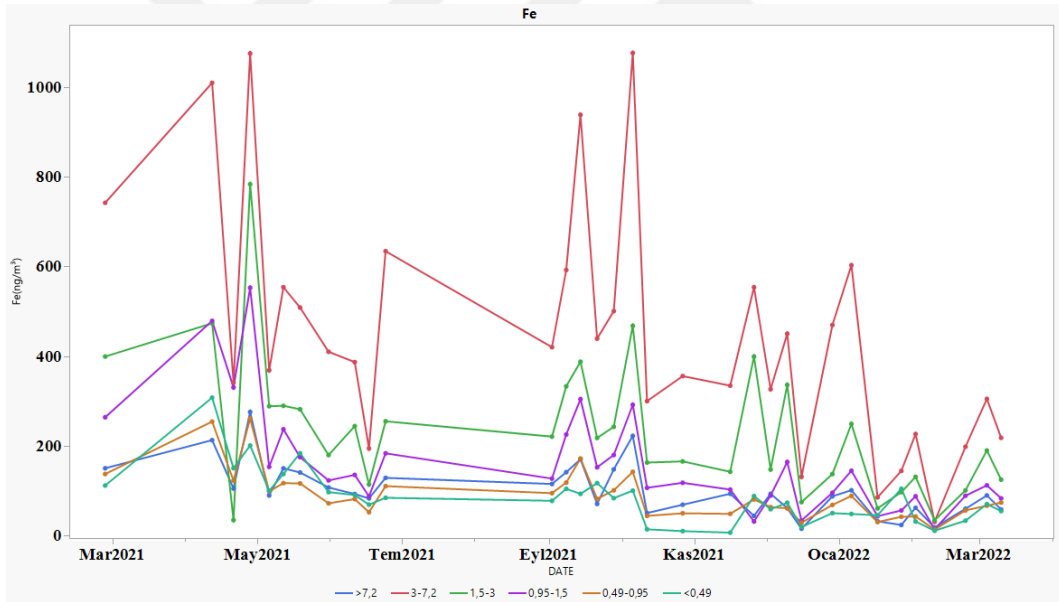
Şekil 4.4. Cu konsantrasyonunun zamansal değişimi



Şekil 4.5. Ba konsantrasyonunun zamansal değişimi



Şekil 4.6. Mn konsantrasyonunun zamansal değişimi



Şekil 4.7. Fe konsantrasyonunun zamansal değişimi

#### 4.2.1 Partikül Madde Kompozisyonunda Belirlenen Elementlerin Mevsimsel Değişimi

Farklı parçacık boyutunda belirlenen elementlerin mevsimsel değişimleri Şekil 4.8-Şekil 4.25 arasında sunulmuştur. Atmosferdeki metal konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişiklikler, doğal süreçler, antropojenik

faaliyetler ve çevresel koşullar gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Çalışmalar, atmosferdeki ağır metal konsantrasyonlarının belirgin mevsimsel desenler gösterebileceğini, belirli mevsimlerde daha yüksek konsantrasyonların gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Wirnkor vd. (2019), Nijerya'nın Owerri Metropolü'ndeki halka açık okul oyun alanlarında ağır metaller için önemli bir mevsimlik değişkenlik bulmuş, büyük değişkenliğin kuru ve yağışlı mevsimler arasında gözlemlendiğini altını çizmiştir. Bu bulgular, atmosferdeki metal konsantrasyonlarının yıl boyunca önemli ölçüde değişebileceğini göstermektedir (Wirnkor vd., 2019).

Ayrıca, çevresel koşulların, sıcaklık, nispi nem ve yağış gibi, atmosferdeki metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri üzerindeki etkisini vurgulayan çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Sharma vd. (2008), yağışlı mevsim boyunca sık sık yağmurun ağır metaller içeren partikülleri atmosferden uzaklaştırdığını, bu nedenle yağışlı mevsimde Cu, Zn ve Cd gibi bazı metallerin birikim oranlarının düştüğünü rapor etmiştir. Ayrıca, Wong vd. (2003), Pearl River Delta'daki atmosferik birikimlerin Pb oranlarının, bazı konumlardaki atmosferik Pb'nin diğer antropojenik kaynaklara atfedilebileceğini, belirli çevresel koşulların atmosferik metallerin kaynakları ve dağılımı üzerindeki etkisini göstermiştir. Analiz edilen metal parametreleri arasında sadece Fe, Co ve Mn parametrelerine ait konsantrasyon değerlerinin 3-7.2 µm parçacık boyutunda en yüksek seviyesinde olduğu ve kış mevsiminde bu parametreler için belirlenen seviyelerin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu bulgu, Fe, Co ve Mn elementlerinin sıcaklığın artmasına bağlı olarak kuruyan toprağın rüzgarın etkisiyle atmosfere taşınması ile açıklanabilir (Sharma vd., 2008; Wong vd., 2003) .

Gümüş mevsimsel değişimi **Şekil 4.8**'de sunulmuştur. Gümüş elementinin kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Ag konsantrasyonu <0.49 µm çapında parçacıklarda görülmüştür.

Arsenik mevsimsel değişimi **Şekil 4.9**'da sunulmuştur. Arsenik elementinin kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde parçacık boyutu dağılımının benzer olduğu görülmektedir. En yüksek As konsantrasyonu kış mevsiminde 0.49-0.95 µm çapında parçacıklarda görülürken diğer mevsimlerde <0.49 µm

apında parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da As elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda ilkbaharda arttığı bulunmuştur. 0.1-1  m parçacık boyutunda arasında 1  m'a yakın boyutta kış mevsiminde ani pik verdiği görülmüştür. Beşiktaş'ta As konsantrasyonlarında kış mevsiminde birbirine yakın değerler görülürken diğer mevsimlerde 1-10  m parçacık boyutunda ani yükseliş ve düşüşler görülmüştür. Göztepe'de en yüksek As konsantrasyon değerleri sonbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. En düşük konsantrasyon değerleri ise kış mevsiminde 1-10  m parçacık boyutunda, yaz mevsiminde ise 0.1-1  m parçacık boyutunda belirlenmiştir. Kilyos'da en yüksek As konsantrasyon değerleri ilkbahar mevsiminde görülürken en düşük konsantrasyonlar kış mevsiminde görülmüştür. Aynı zamanda burada sonbahar mevsiminde 1-10  m parçacık boyutunda arasında 1  m'a yakın boyutta ani pik gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Baryum mevsimsel değerimi şekil 4.10'da sunulmuştur. Baryum elementinin ilkbahar mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Ba konsantrasyonu ilkbaharda <0.49  m çapında parçacıklarda görülürken diğer mevsimlerde 3-7.2  m çapında parçacıklarda görülmüştür.

Kadmiyum mevsimsel değerimi şekil 4.11'de sunulmuştur. Kadmiyum elementinin her mevsim için belirgin değerimler gösterdiği görülmektedir. Cd konsantrasyonu ilkbaharda <0.49  m çapında parçacıklarda, kış ve sonbahar aylarında 0.49-0.95  m çapında parçacıklarda en yüksek konsantrasyonları verirken yaz mevsiminde <0.49 ve 0.49-0.95  m çapında parçacıklarda eşit düzeyde olup en yüksek görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Cd elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda tüm mevsimlerde 0.1-1  m çapında parçacıklarda artış gözlemlenirken 1-10  m çapında parçacıklarda düşüş gözlemlenmiştir. 0.1-1  m parçacık boyutunda arasında 1  m'a yakın boyutta kış mevsiminde ani pik verdiği görülmüştür. Beşiktaş'ta Cd konsantrasyonlarında sonbahar mevsiminde en yüksek değerler görülürken ilkbahar mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. Göztepe'de Cd konsantrasyonlarında sonbahar mevsiminde en yüksek değerler görülürken yaz mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. 0.1-1  m parçacık boyutunda

arasında 1  $\mu\text{m}$ 'a yakın boyutta sonbahar mevsiminde ani pik verdiği görülmüştür. Kilyos'da en yüksek Cd konsantrasyon değeri yaklaşık 1  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda sonbahar mevsiminde görülürken en düşük konsantrasyon değeri 0.1-1  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda arasında 0.1  $\mu\text{m}$ 'a yakın boyutta yaz mevsiminde görülmüştür. Bunun dışında kış ve sonbahar mevsimlerinde Cd konsantrasyon değerleri birbirlerinin tersi yönünde dalgalı bir değişim göstermiştir (Polat, 2011).

Kobalt mevsimsel değişimi **Şekil 4.12**'de sunulmuştur. Kobalt elementinin kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. Co konsantrasyonu kış mevsiminde belirgin bir şekilde azalmasına rağmen her mevsimde 3-7.2  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda en yüksek seviyede görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Co elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda tüm mevsimlerde parçacık boyutu arttıkça Co konsantrasyonu artmış ve 10  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda en yüksek konsantrasyon değerini vermiştir. Beşiktaş'ta Co konsantrasyonlarında kış mevsimi dışında birbirine yakın değerler gözlenirken kış mevsiminde özellikle 1-10  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda ani pikler gözlenlenmiştir. Göztepe'de Co konsantrasyonlarında kış mevsiminde en yüksek değerler görülürken yaz mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. 1-10  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda arasında kış mevsiminde belirgin yükselişler görülmüştür. Kilyos'da en yüksek Co konsantrasyon değeri 10  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda ilkbahar mevsiminde görülürken en düşük konsantrasyon değeri 0.1-1  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda arasında 0.1  $\mu\text{m}$ 'a yakın boyutta yaz mevsiminde görülmüştür (Polat, 2011).

Krom mevsimsel değişimi **Şekil 4.13**'te sunulmuştur. Krom elementinin kış mevsiminde düşük, ilkbahar mevsiminde yüksek seviyelerde olduğu görülürken sonbahar ve yaz mevsimlerinde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Cr konsantrasyonu yaz mevsiminde 3-7.2  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda görülürken diğer mevsimlerde <0.49  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Cr elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda Cr konsantrasyonu en yüksek 1-10  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10  $\mu\text{m}$  çapında parçacıklarda yaz mevsiminde

gözlemlenmiştir. Beşiktaş'ta Cr konsantrasyonlarında en yüksek 1-10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Göztepe'de Cr konsantrasyonlarında sonbahar mevsiminde en yüksek değerler görülürken yaz mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. Kilyos'da en yüksek Cr konsantrasyonlarında en yüksek 1-10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Sezyum mevsimsel değişimi **Şekil 4.14**'te sunulmuştur. Sezyum elementinin kış mevsiminde düşük, ilkbahar mevsiminde yüksek seviyelerde olduğu görülürken sonbahar ve yaz mevsimlerinde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Cs konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsiminde <0.49  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda, kış mevsiminde 0.49-0.95  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda ve sonbahar mevsiminde 3-7.2  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda görülmüştür.

Bakır mevsimsel değişimi **Şekil 4.15**'te sunulmuştur. Bakır elementinin yaz mevsiminde belirgin bir şekilde yükseldiği görülürken sonbahar ve kış mevsimlerinde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Cu konsantrasyonu sonbahar mevsiminde 0.95-1.5 ve 3-7.2  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda görülürken diğer mevsimlerde 0.95-1.5  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Cu elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda Cu konsantrasyonu tüm mevsimlerde 10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda pik yaptığı gözlemlenmiştir. Beşiktaş'ta Cu konsantrasyonlarında en yüksek 1-10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenmiştir. Göztepe'de Cu konsantrasyonlarında sonbahar mevsiminde en yüksek değerler görülürken yaz mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. Kilyos'da tüm mevsimlerde 10  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda pik yaptığı gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Demir mevsimsel değişimi **Şekil 4.16**'da sunulmuştur. Demir elementinin kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Fe konsantrasyonu 3-7.2  $\mu\text{m}$   $\text{çapında}$  parçacıklarda

görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Fe elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda Fe konsantrasyonu en yüksek 10 µm çapında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 10 µm çapında parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenmiştir. Beşiktaş'ta Fe konsantrasyonlarında tüm mevsimlerde parçacık boyutu arttıkça Fe konsantrasyonu artmış ve 10 µm çapında parçacıklarda en yüksek konsantrasyon değerini vermiştir. Göztepe'de Fe konsantrasyonlarında sonbahar mevsiminde en yüksek değerler görülürken yaz mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. Tüm mevsimlerde parçacık boyutu arttıkça Fe konsantrasyonu artmış ve 10 µm çapında parçacıklarda en yüksek konsantrasyon değerini vermiştir. Kilyos'da Fe konsantrasyonu en yüksek 1-10 µm çapında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Galyum mevsimsel değişimi **Şekil 4.17**'de sunulmuştur. Galyum elementinin tüm mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu aynı zamanda ilkbahar mevsiminde <0.49 µm çapında belirgin bir artış olduğu görülmektedir. En yüksek Ga konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde <0.49 µm çapında parçacıklarda, sonbahar ve kış mevsimlerinde 3-7.2 µm çapında parçacıklarda görülmüştür.

Mangan mevsimsel değişimi **Şekil 4.18**'de sunulmuştur. Mangan elementinin kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Mn konsantrasyonu 3-7.2 µm çapında parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Mn elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda Mn konsantrasyonu en yüksek 10 µm çapında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 10 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. Beşiktaş'ta Mn konsantrasyonlarında tüm mevsimlerde parçacık boyutu arttıkça Mn konsantrasyonu artmış ve 10 µm çapında parçacıklarda en yüksek konsantrasyon değerini vermiştir. Göztepe'de Mn konsantrasyonlarında sonbahar mevsiminde en yüksek değerler görülürken yaz mevsiminde en düşük değerler görülmüştür. Tüm mevsimlerde parçacık boyutu arttıkça Mn konsantrasyonu artmış ve 10 µm çapında parçacıklarda en

yüksek konsantrasyon değerini vermiştir. Kilyos'da Mn konsantrasyonu en yüksek 10 µm çapında parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10 µm çapında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Nikel mevsimsel değişimi **Şekil 4.19**'da sunulmuştur. Nikel elementinin ilkbahar mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Ni konsantrasyonu <0.49 µm çapında parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Ni elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda Ni konsantrasyonu en yüksek 10 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10 µm çapında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Beşiktaş'ta Ni konsantrasyonlarında Ni konsantrasyonu en yüksek 10 µm çapında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 1-10 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. Göztepe'de Ni konsantrasyonlarında sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde tüm parçacık boyutlarında birbirine yakın değerlerde görülürken yaz ve kış mevsimlerinde 1-10 µm çapında parçacıklarda artışlar görülmüştür. Kilyos'da Ni konsantrasyonu en yüksek 10 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 10 µm çapında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Kurşun mevsimsel değişimi **Şekil 4.20**'de sunulmuştur. Kurşun elementinin sonbahar ve kış mevsimlerinde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Pb konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde <0.49 µm çapında parçacıklarda, sonbahar ve kış mevsimlerinde 0.49-0.95 µm çapında parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul'da yapılan çalışmada da Pb elementinin Avcılar'da PM kompozisyonunda Pb konsantrasyonu en yüksek 0.1-1 µm çapında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 0.1-1 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. Beşiktaş'ta Pb konsantrasyonu en yüksek 0.1-1 µm çapında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 0.1-1 µm çapında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Göztepe'de Pb konsantrasyonu en yüksek yaklaşık 1 µm

apında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise yaklaşık 1 µm çapında parçacıklarda ilkbahar ve yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Kilyos’da Pb konsantrasyonu en yüksek kiş mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyonlar 0.1-1 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde 1-10 µm çapında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Rubidyum mevsimsel değişimi **şekil 4.21**’de sunulmuştur. Rubidyum elementinin kiş mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Rb konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsiminde <0.49 µm çapında parçacıklarda, sonbahar mevsiminde 3-7.2 µm çapında parçacıklarda ve kiş ayında 0.49-0.95 µm çapında parçacıklarda görülmüştür.

Stronsiyum mevsimsel değişimi **şekil 4.22**’de sunulmuştur. Stronsiyum elementinin kiş mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Sr konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde <0.49 ve 3-7.2 µm çapında parçacıklarda ve sonbahar ve kiş mevsimlerinde 3-7.2 µm çapında parçacıklarda görülmüştür.

Talyum mevsimsel değişimi **şekil 4.23**’te sunulmuştur. Talyum elementinin kiş mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek Tl konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsiminde <0.49 µm çapında parçacıklarda, sonbahar mevsiminde <0.49 ve 0.49-0.95 µm çapında parçacıklarda ve kiş mevsiminde 0.49-0.95 µm çapında parçacıklarda görülmüştür.

Vanadyum mevsimsel değişimi **şekil 4.24**’te sunulmuştur. Vanadyum elementinin kiş mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir. En yüksek V konsantrasyonu sonbahar mevsiminde 3-7.2 µm çapında parçacıklarda görülürken diğer mevsimlerde <0.49 µm çapında parçacıklarda görülmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul’da yapılan çalışmada da V elementinin Avcılar’da PM kompozisyonunda V konsantrasyonu en yüksek yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon sonbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. Beşiktaş’ta V konsantrasyonu en yüksek 0.1-1 µm çapında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük

konsantrasyon ise 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{\AA}$ apında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Göztepe’de V konsantrasyonu en yüksek yaklaşık 1  $\mu\text{m}$   $\text{\AA}$ apında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise yaklaşık 1  $\mu\text{m}$   $\text{\AA}$ apında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Kilyos’da V konsantrasyonu en yüksek 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{\AA}$ apında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyonlar 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

Çinko mevsimsel değişimi **şekil 4.25**’te sunulmuştur. Çinko elementinin kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde birbirine yakın seviyelerde olduğu görölmektedir. En yüksek Zn konsantrasyonu yaz mevsiminde 3-7.2  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda görölürken diğer mevsimlerde 0.49-0.95  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda görölmüştür. Polat tarafından 2011 yılında İstanbul’da yapılan çalışmada da Zn elementinin Avcılar’da PM kompozisyonunda Zn konsantrasyonu en yüksek 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. Beşiktaş’ta Zn konsantrasyonu en yüksek 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda ilkbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyon ise 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenmiştir. Göztepe’de Zn konsantrasyonu en yüksek 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda sonbahar mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyonlar 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir. Kilyos’da Zn konsantrasyonu en yüksek 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda kış mevsiminde gözlemlenirken en düşük konsantrasyonlar 0.1-1  $\mu\text{m}$   $\text{~}$ apında parçacıklarda yaz mevsiminde gözlemlenmiştir (Polat, 2011).

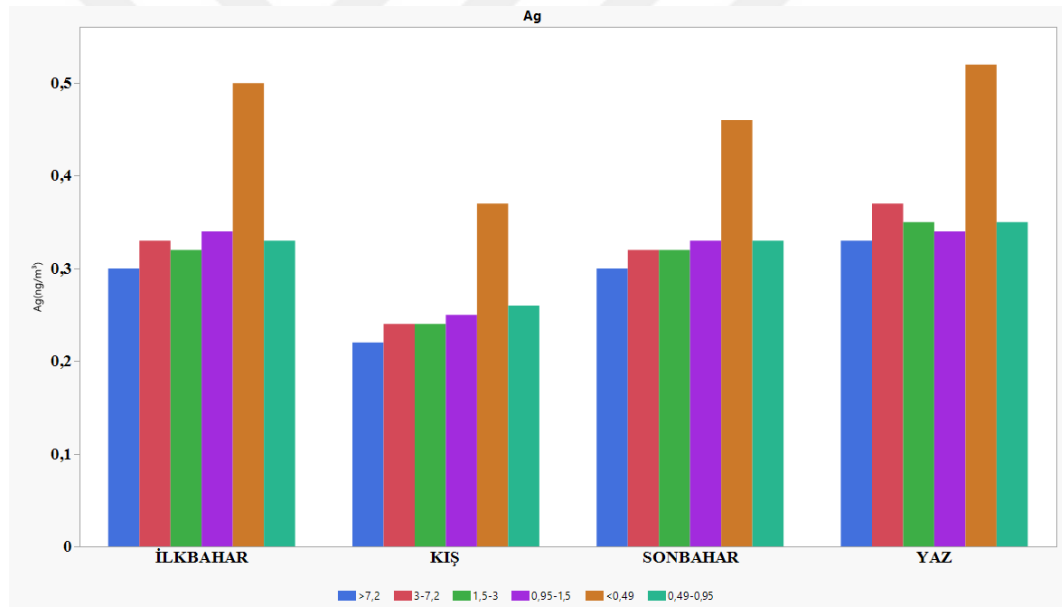
Bakır, Ba ve Zn parametrelerine ait seviyeler kış mevsiminde diğer mevsimlere kıyasla daha düşük ölçölmüştür. Bu parametreler, trafik emisyonları ile ikişkili olan kirleticiler olarak bilinmektedir. Kışın asfalt ve toprak zemininin ıslak olması, taşıt lastikleri, balata ve diğer araç aksamlarından kaynaklanan bu kitleticilerin atmosfere ulaşmasını engellemektedir.

Rubidyum biyokötle yakılması sonucu atmosfere salınan kirletici olarak bilinmektedir. Bu çalışmada bu kirletici için kış mevsimindeki değerlerin diğer

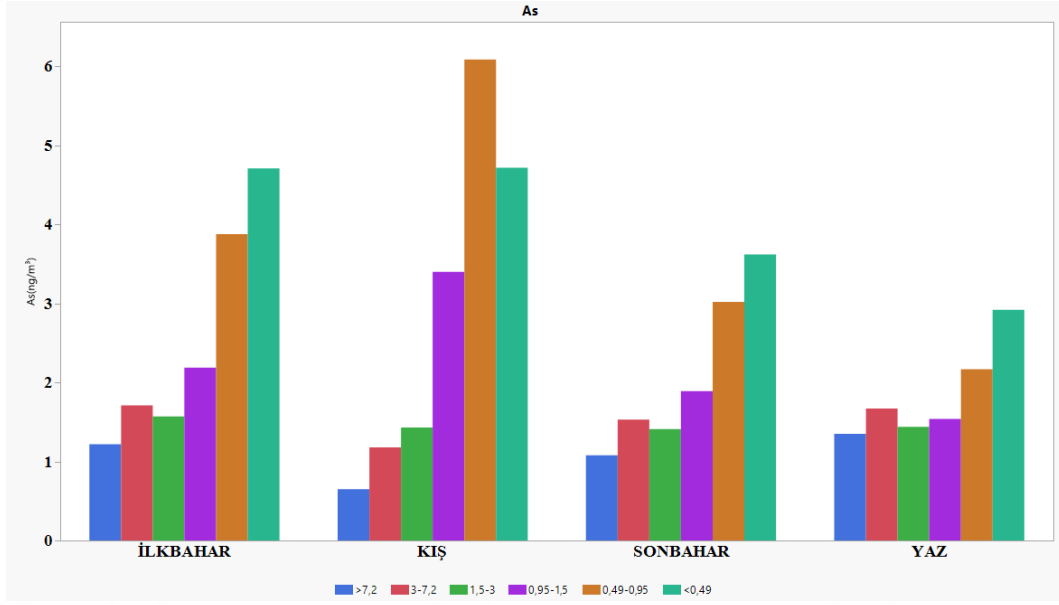
mevsimlere göre biraz daha düşük olduğu gör÷lmüştür. Bu durum, biyokütle yanmasının Bolu ilinde yıl boyunca devam ettiğini göstermektedir.

Bakır metalinin yaz mevsiminde diğ er mevsimlere göre oldukça yüksek seviyelere çıkt ığı gör÷lmektedir. Bu bulgu, bakırın bölgeye uzun mesafeli olarak taşınması ile açıklanabilir.

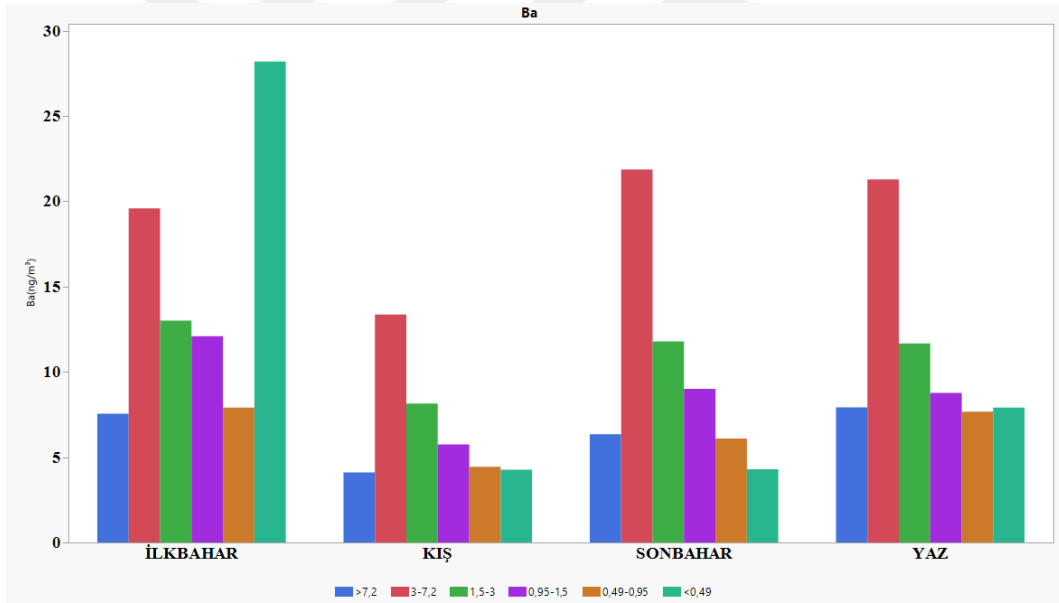
Arsenik, Pb ve Tl parametrelerine ait kış konsantrasyonları diğ er mevsimlere göre oldukça yüksektir. Arsenik kömürün yanması sonucu atmosfere salınan bir kirleticidir. Dolayısı ile bu üç kirleticinin kış mevsiminde seviyelerinin artmasını kış mevsiminde artan evsel yanma emisyonları ile ilişkilendirmek mümkündür.



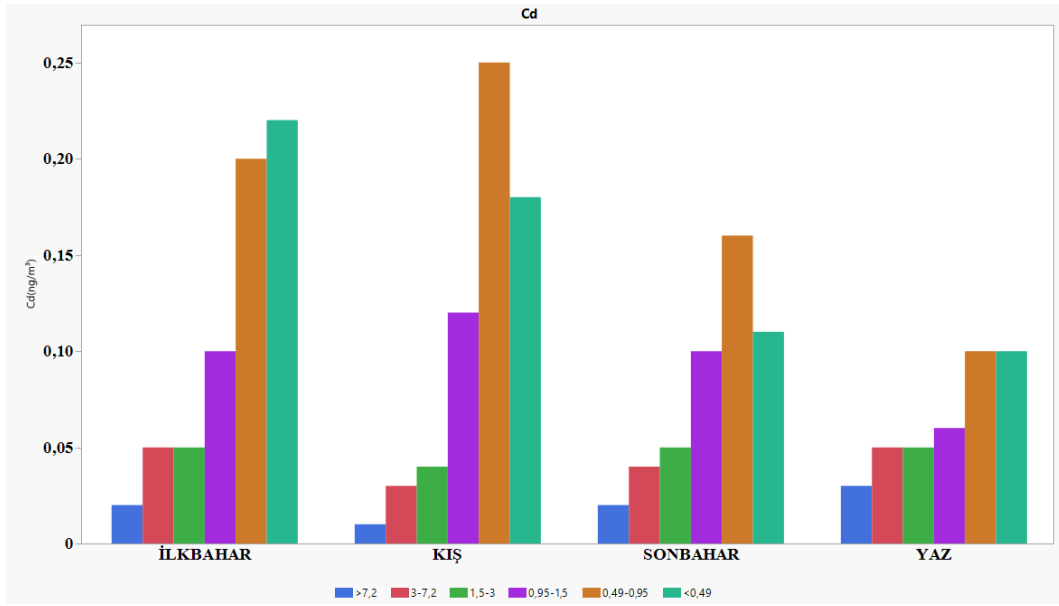
Şekil 4.8. Ag konsantrasyonunun mevsimsel değ iş imi



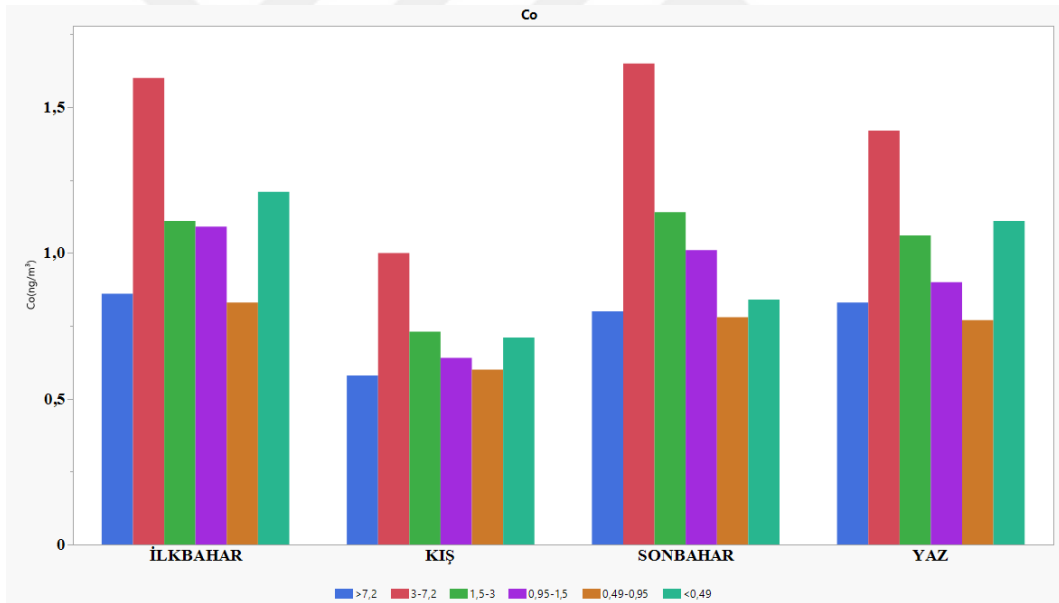
Şekil 4.9. As konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



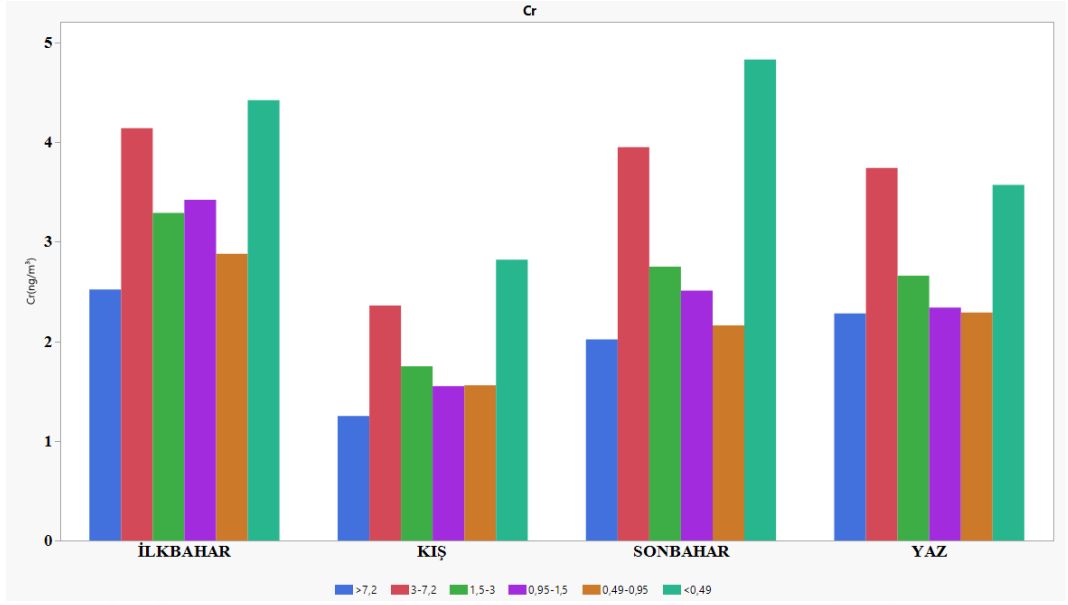
Şekil 4.10. Ba konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



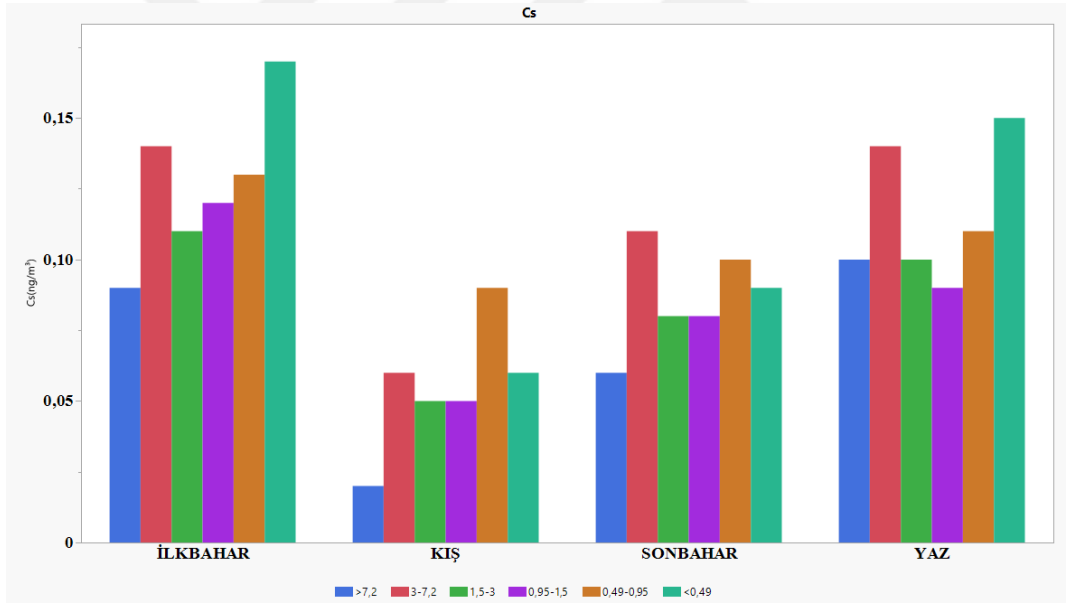
Şekil 4.11. Cd konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



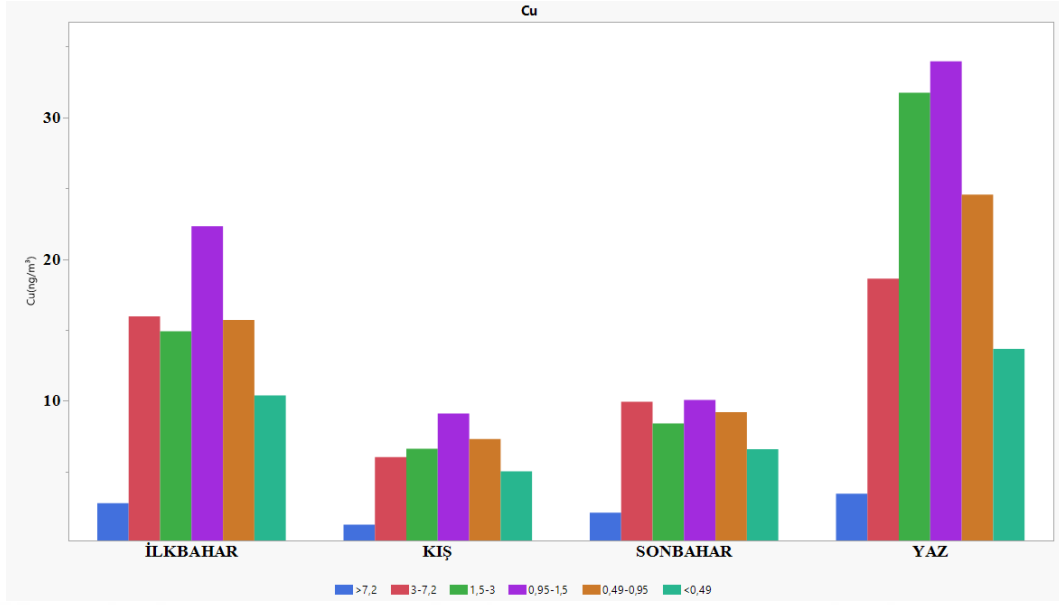
Şekil 4.12. Co konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



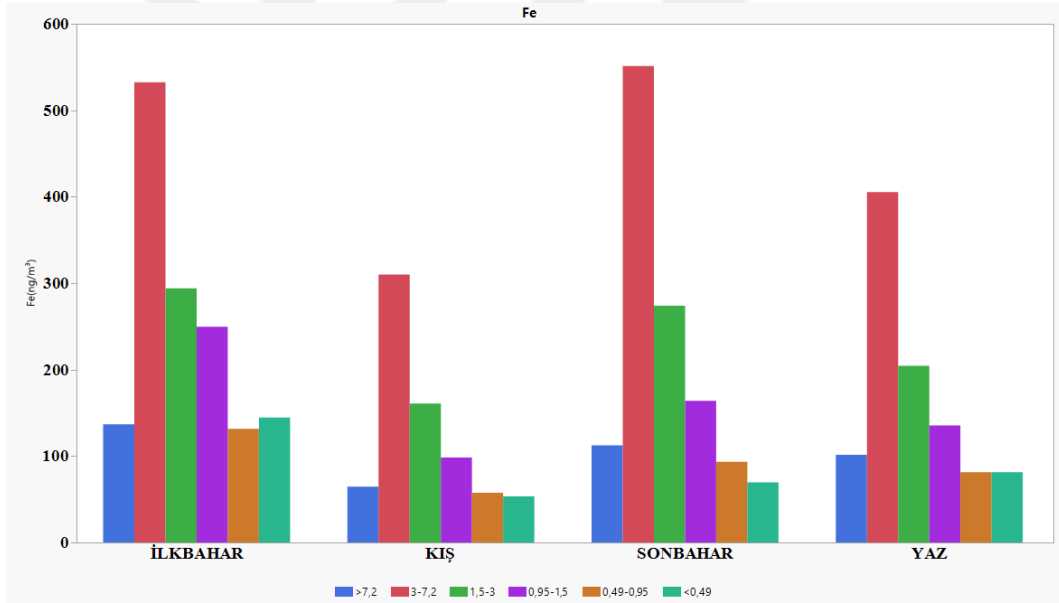
Şekil 4.13. Cr konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



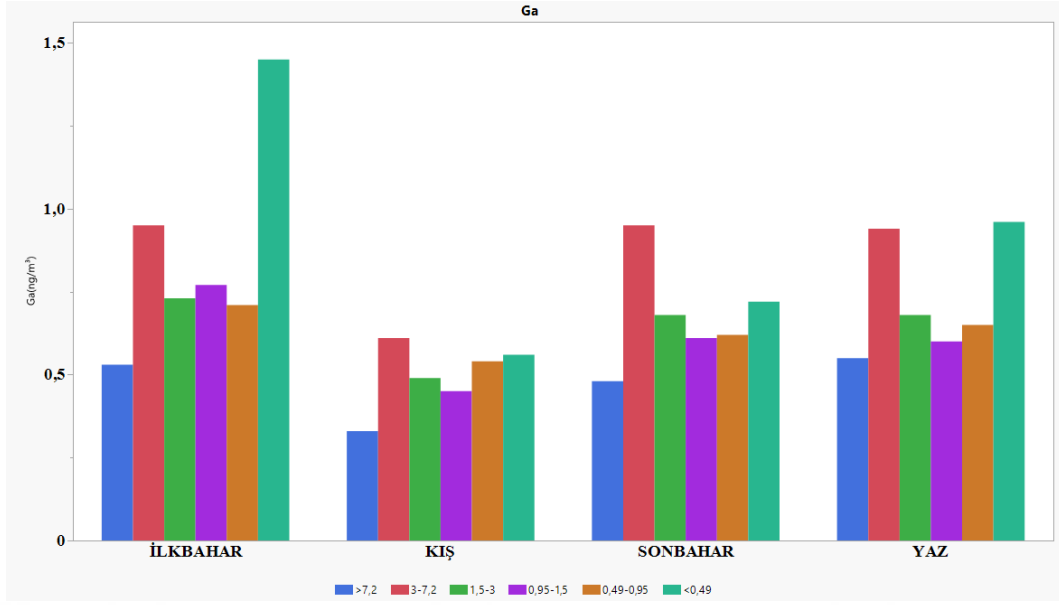
Şekil 4.14. Cs konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



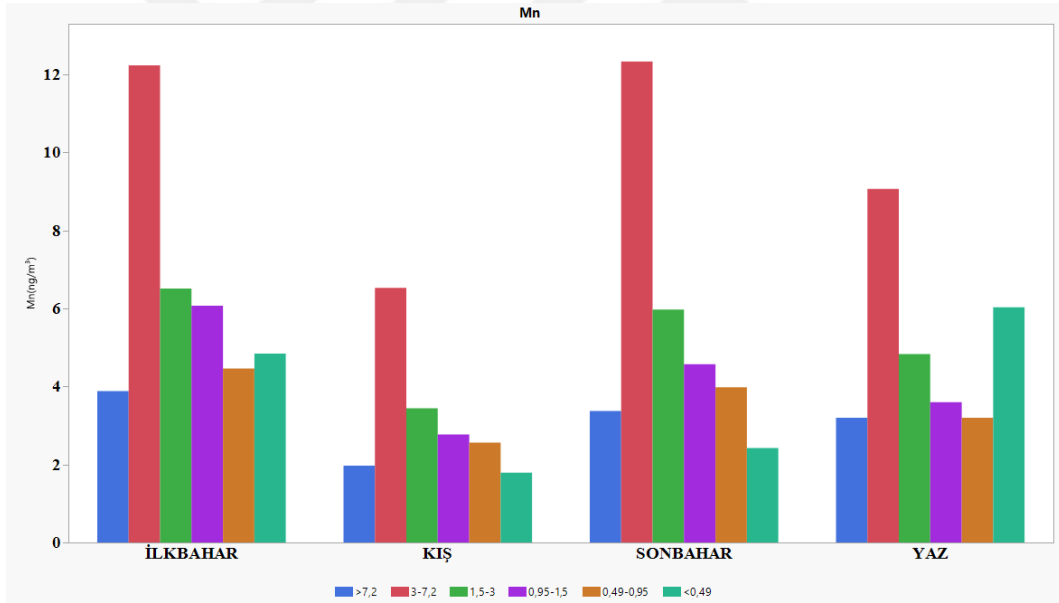
Şekil 4.15. Cu konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



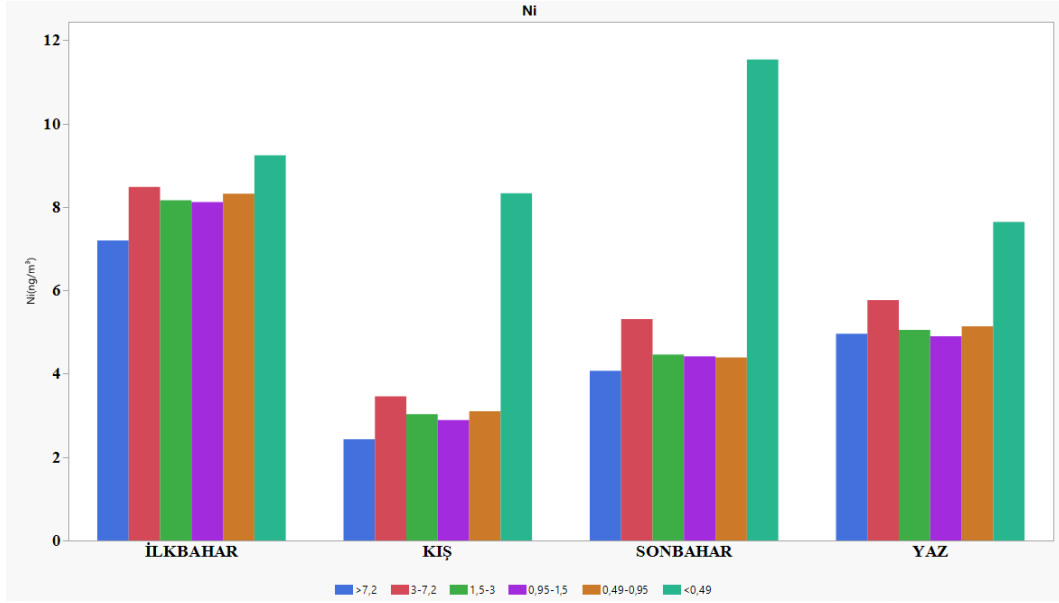
Şekil 4.16. Fe konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



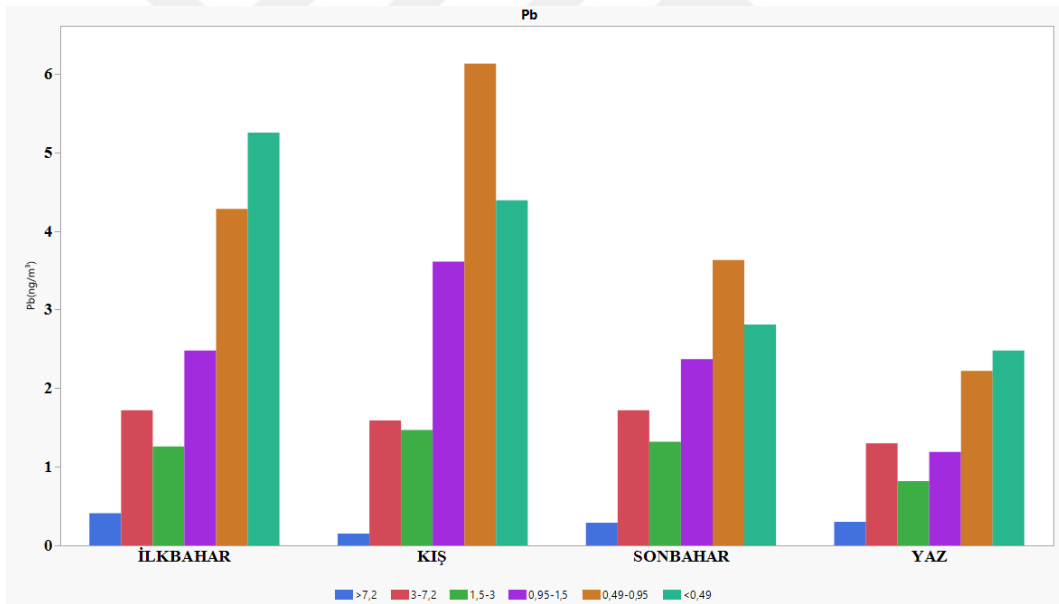
Şekil 4.17. Ga konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



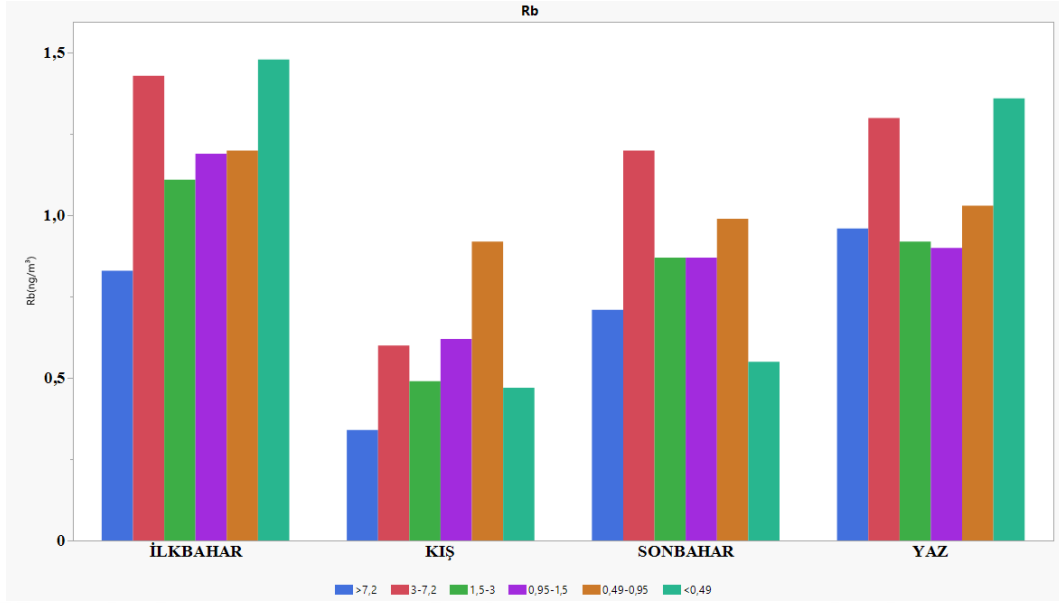
Şekil 4.18. Mn konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



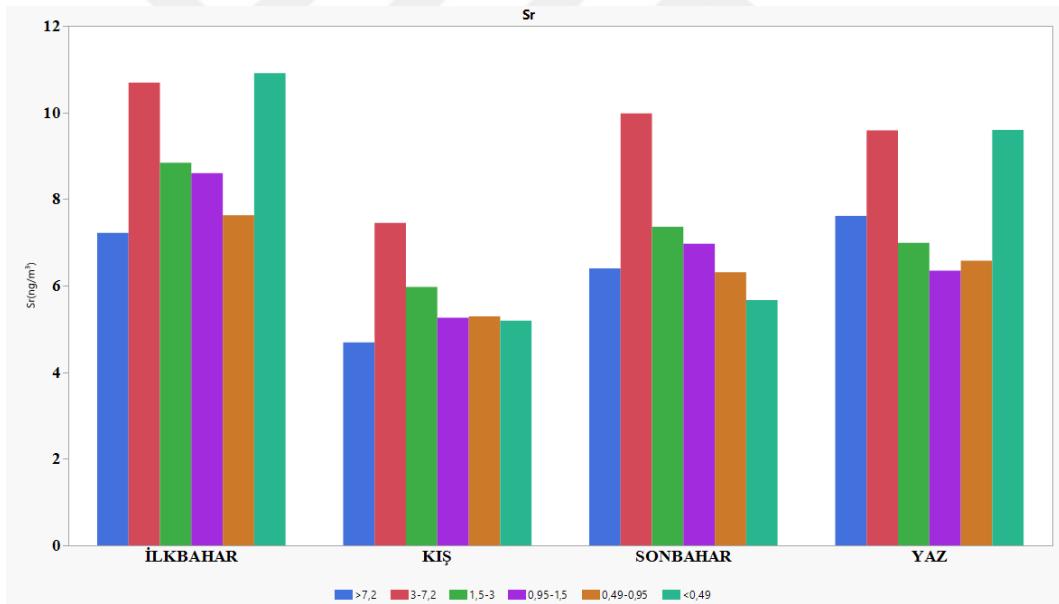
Şekil 4.19. Ni konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



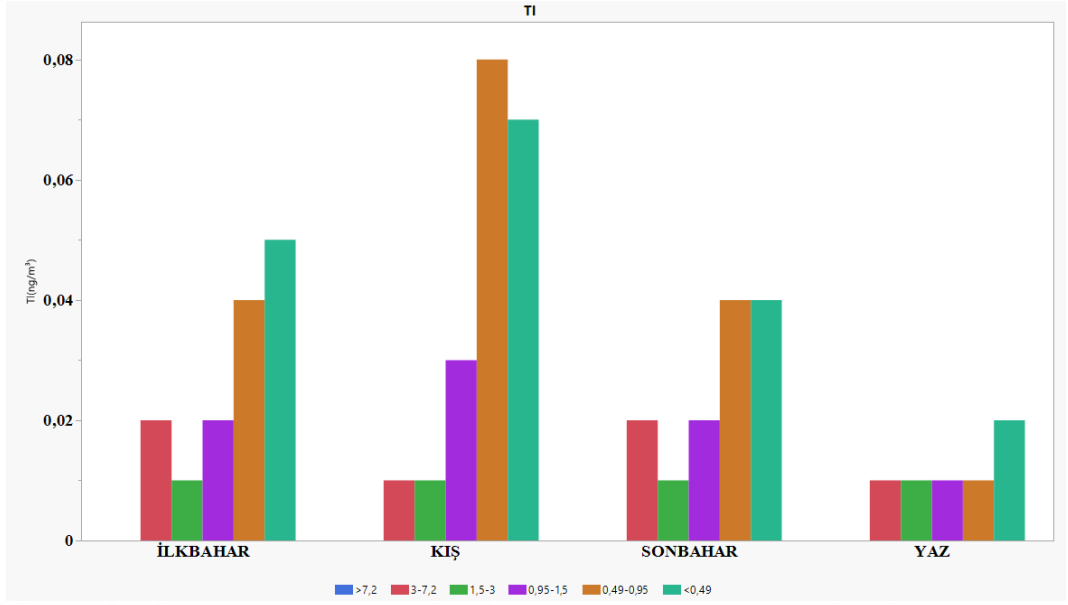
Şekil 4.20. Pb konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



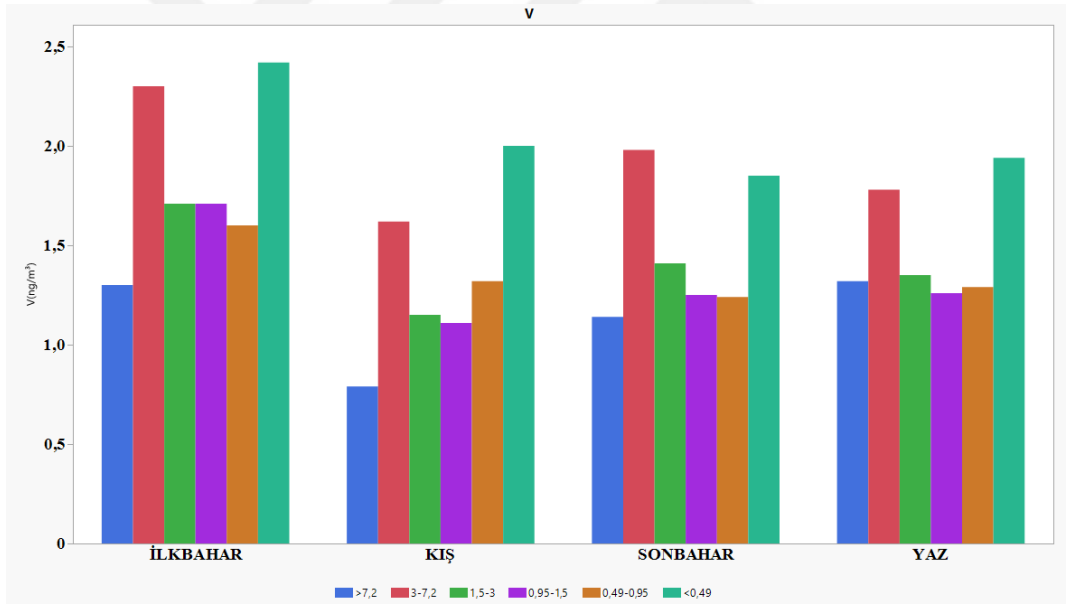
Şekil 4.21. Rb konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



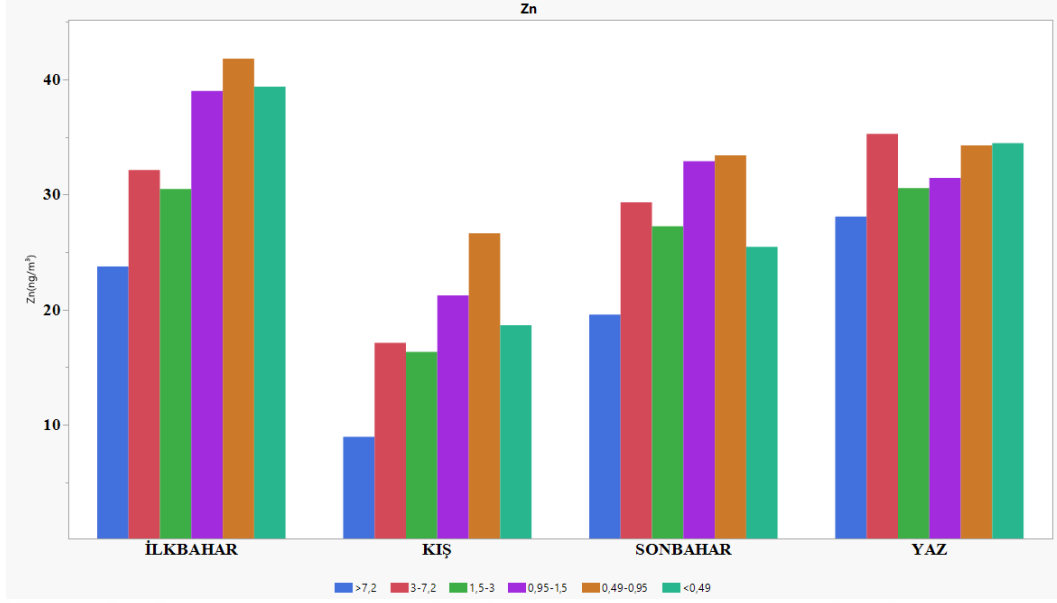
Şekil 4.22. Sr konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



Şekil 4.23. Tl konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



Şekil 4.24. V konsantrasyonunun mevsimsel değişimi



Şekil 4.25. Zn konsantrasyonunun mevsimsel değişimi

### 4.3 Elementlerin Parçacık Boyut Dağılımları

Şekil 4.26-Şekil 4.27’de metal parametrelerinin parçacık boyut dağılımları verilmiştir. Ba, Fe, Co, Cr, Cs, Ga, Mn, Rb, Sr, V ve Zn çift tepeli dağılım gösterirken Ag, As, Cd, Cu, Ni, Pb ve Tl parametrelerinin tek tepeli dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Tek tepeli dağılım gösteren parametrelerdeki pikler ince fraksiyonda görülmüştür. Bu parametrenin tek kaynağı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Çift tepeli dağılım gösteren parametreler ise hem ince hem kaba fraksiyonda pikler oluşturmuştur. Bu parametrelerin iki kaynağı olduğunu göstermektedir.

Kaba partiküllerdeki elementler, yer kabuğu elementleridir. Konsantrasyonları kuru yüzeylerin ve yüksek hızlı rüzgarların bu maddeleri atmosferde asılı hale getirme eğiliminde olması nedeniyle mevsime bağlıdır. İnce partiküllerdeki elementler ise yanma kaynaklarından veya yüksek sıcaklık gerektiren işlemlerden kaynaklanır (Harrison & Yin, 2000; Weschler & Shields, 1998).

Krom kömür yakımı kaynaklı elementler arasındadır (Morawska & Zhang, 2002). Taşıt emisyonlarında diğer bazı elementlerle birlikte buhar olarak oluştuğu ancak sıcak egzoz gazının ortam havasıyla karıştığı sırada hızla yoğunlaştığı rapor edilmiştir . Yapılan bazı çalışmalarda yol tozunda ve benzin-motor emisyonlarında bulunduğu tespit edilmiştir (Ristovski vd., 1999; Yongming vd., 2006) .

Literatürde bakır elementinin yüksek konsantrasyonlarının elektrik ve mekanik işlemlerden kaynaklanabildiği belirtilmektedir (Jiries, 2001). Trafikten kaynaklanan Cu dizel-motor emisyonundan veya taşıt freninin yıpranmasından kaynaklanmaktadır (Jiries, 2001; Sternbeck vd., 2002).Yol tozlarında bulunan elementler arasında tespit edilmiştir (Al-Khashman, 2004; Yongming vd., 2006).

Demir (oto) fren tozunda ve ağır-yük dizel emisyonlarında bulunur. (Hildemann vd., 1991). Benzin-motor emisyonlarında bulunan elementler arasındadır (Ristovski vd., 1999). Bazı çalışmalarda yol tozlarında bulunduğu tespit edilmiştir (Al-Khashman, 2004)

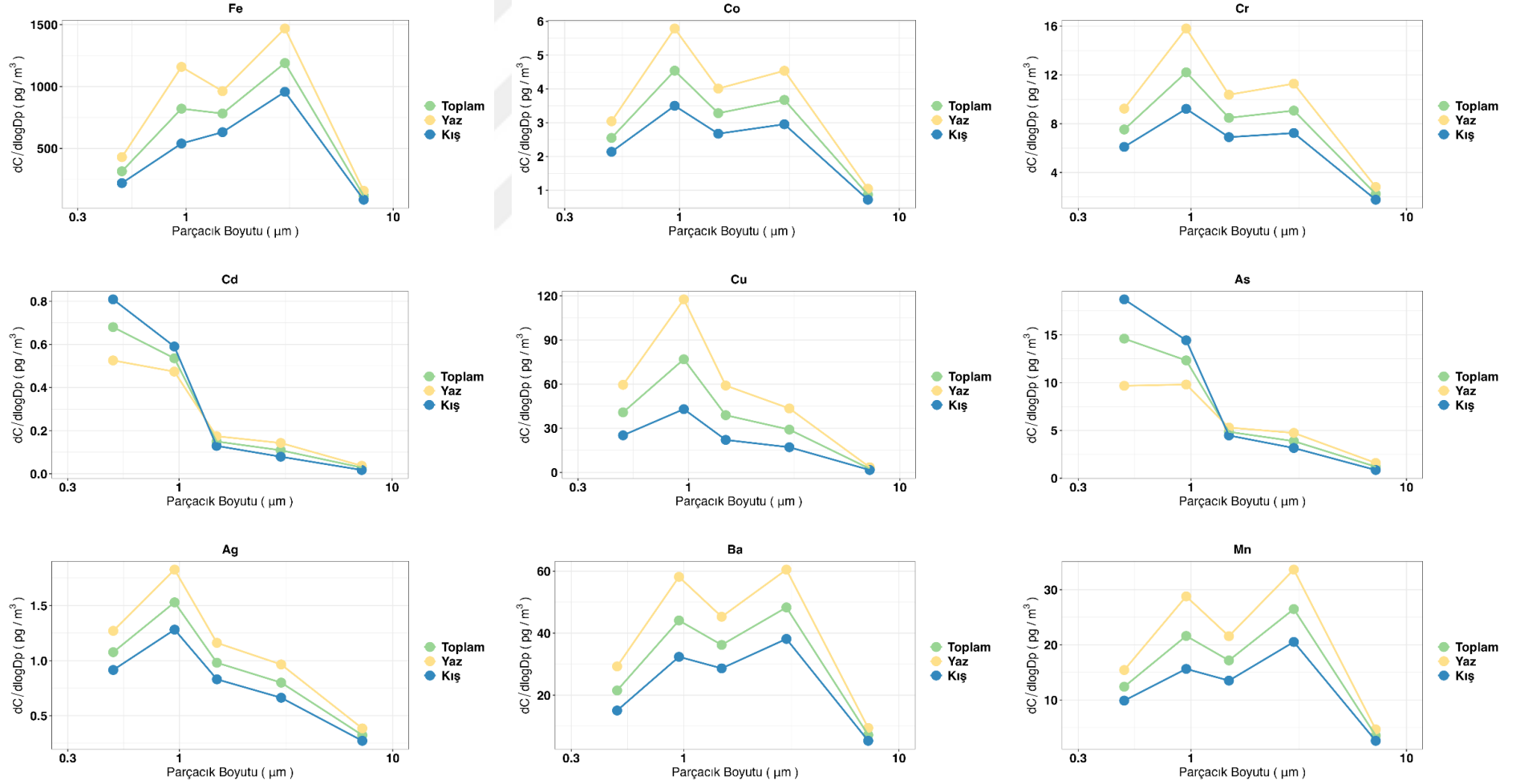
Demir-çelik tesislerinin, Mn metali ve kimyasalları üretim tesislerinin karakteristik elementlerindendir (Colville vd., 2001; Morawska & Zhang, 2002). Mn emisyonlarının dökümhanelerin ve demir- ve silico- manganez endüstrilerinin bulunduğu yerlerde artış gösterebilmektedir (Süren, 2007). Çeşitli çalışmalarda benzin-motor emisyonlarında bulunan elementlerden olduğu (Ristovski vd., 1999), yol tozunda bulunduğu (Yongming vd., 2006) ve atık yakımıyla oluşan elementler arasında bulunduğu rapor edilmiştir (Olmez vd., 1988).

Metalurjik prosesler, nikel madeninin işlenmesi ve rafinerasyonu, demir üretimi, metallerin alaşımları ve elektrolizle kaplama gibi işlemler Ni emisyonları oluşturabilmektedir. Taşıtlardan kaynaklanan emisyonlarda çeşitli miktarlarda Ni bulunabilmektedir (R. E. Lee, 1972; Pacyna & Winchester, 1990).

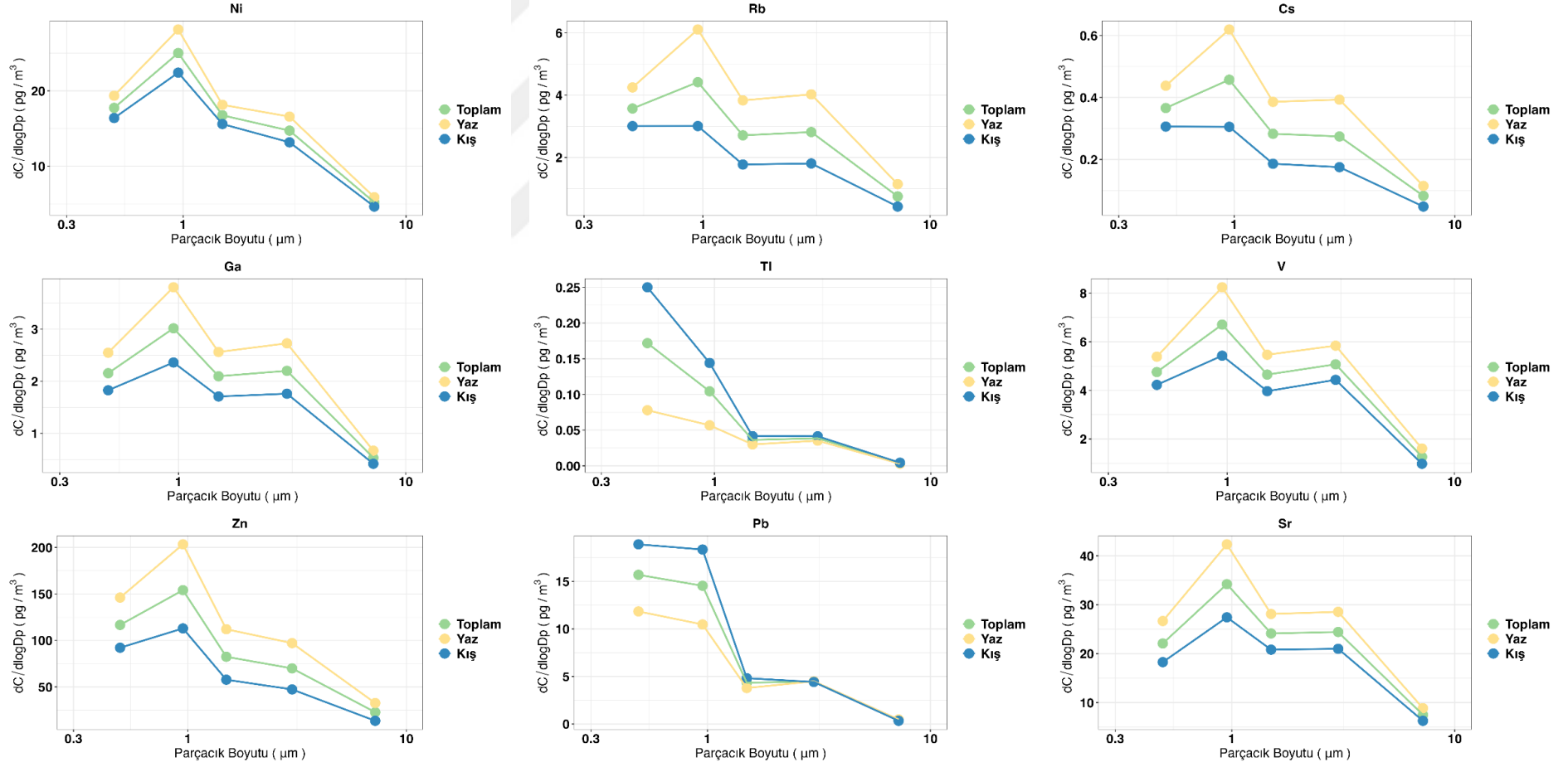
Tek tepeli dağılım gösteren parametrelerden Ag, Cu ve Ni elementlerinin seviyeleri yaz döneminde artarken, As, Cd, Pb ve Tl elementlerin konsantrasyonları kış döneminde yükselmiştir. Kış aylarında artan konsantrasyonların ısınma ihtiyacı sonucu yanma kaynaklı olduğu dolayısıyla yerel bir kirliliğin söz konusu olduğu söylenebilir. Çift tepeli dağılım gösteren

parametreler (Ba, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Mn, Rb, Sr, V, Zn ise hem ince hem kaba frasiyonda yaz aylarında en yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. Yaz aylarında ise yağmur ile birlikte ağırlaşp toprağa düşemeyen ve kuru hava neticesinde kolayca havaya karışabilen elementlerin uzun mesafeli taşınımının etkili olduğu sonucuna varılabilir. Aynı zamanda Ba gibi belirleyici olan elementlerin de bu grupta olması nedeniyle yol tozu ve trafiğin de burada etkili olduğu sonucuna varılabilir.

Süren'in 2007 yılında yaptığı çalışmada Pb, Zn yıllık ortalamalara göre bu çalışmada olduğu gibi daha çok ince partikül boyutunda bulunduğu görülmektedir. Ni elementi de yine bu çalışmada olduğu gibi ince partikülde daha yüksek konsantrasyonda görülsede hem kaba hem ince modda bulunmaktadır. Cu ve Cr elementinde ise bu çalışmadan farklı olarak kaba ve ince modda eşit görüldüğü belirtilmiştir. Bu çalışmada Cu ve Cr elementleri her iki modda görülse de ince modda daha yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. Mn elementi için ise yine bu çalışmada olduğu gibi her iki modda yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu belirtilmiştir. Fe elementi ise kaba modda daha yüksek bulunmuşken bu çalışmada iki modda da yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur (Süren, 2007).



Şekil 4.26. Elementlerin farklı parçacık boyutunda belirlenen konsantrasyon değerlerinin mevsimsel değişimi



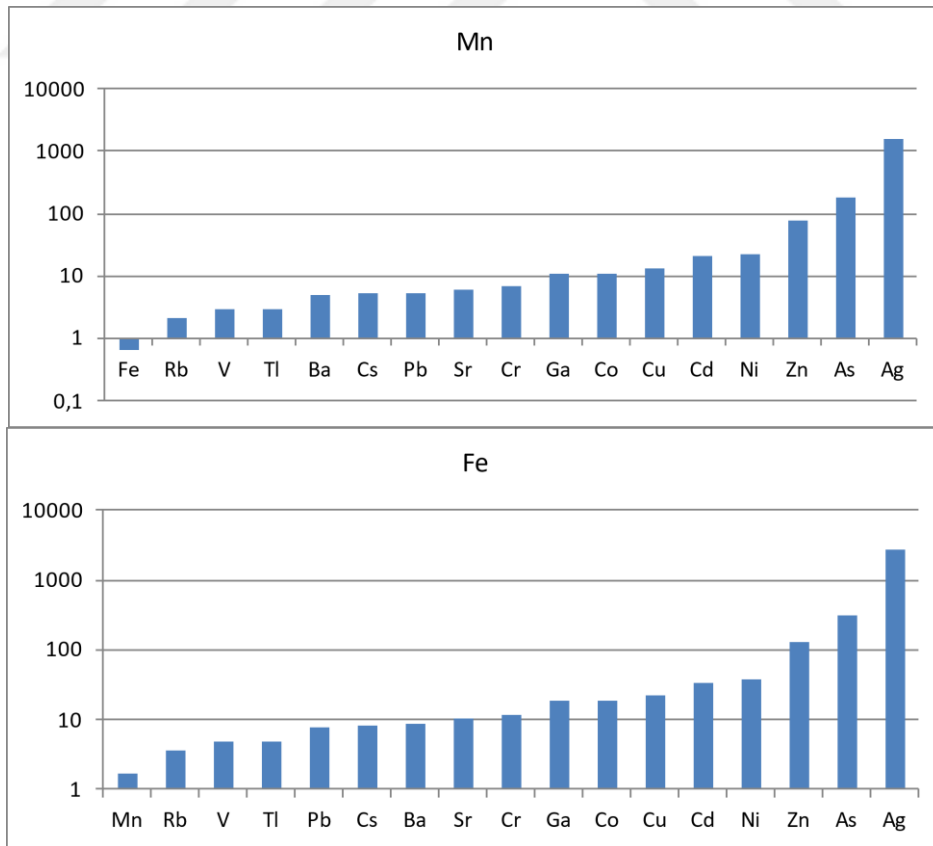
Şekil 4.27. Elementlerin farklı parçacık boyutunda belirlenen konsantrasyon değerlerinin mevsimsel değişimi (Devam)

## 4.1 Kirletici Kaynaklarının Belirlenmesi

### 4.1.1 Zenginleştirme Faktörü

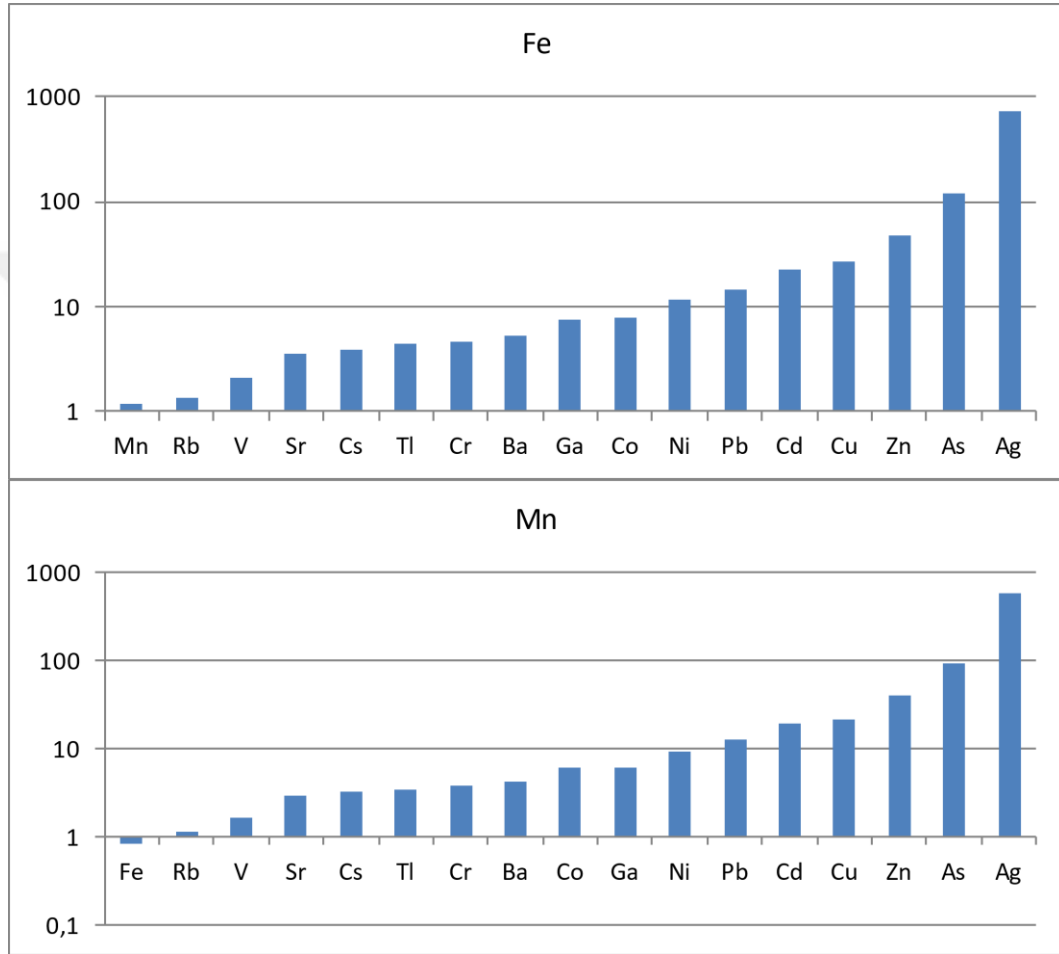
Bu çalışmada, PM kompozisyonunda analiz edilen parametreler kullanılarak PM kompozisyonunu etkileyen kirletici kaynakları da belirlenmeye çalışılmıştır. Demir ve Mn elementi referans alınarak hesaplanan zenginleştirme faktörü sonuçları 6 farklı parçacık boyutu için aşağıda **Şekil 4.28-Şekil 4.33** verilmiştir.

Fe için  $>7.2 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda Cd, Cu, Co, Cr, Ga ve Ni parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>10$ , As ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>100$  ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise  $>1000$  olduğu belirlenmiştir. Mn için  $>7.2 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda Cd, Cu, Co, Ga, Ni ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>10$ , As ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>100$  ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise  $>1000$  olduğu belirlenmiştir.



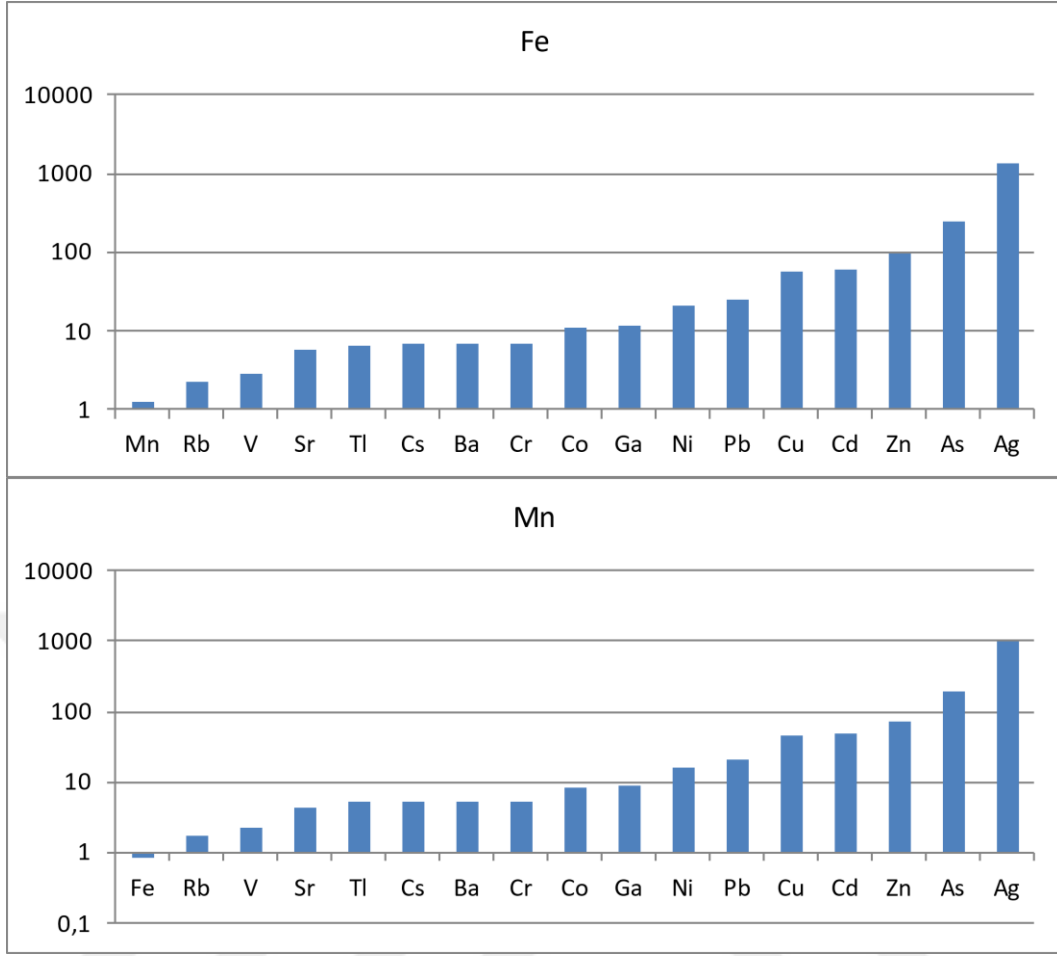
**Şekil 4.28.**  $>7.2 \mu\text{m}$  parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

Demir için 3->7.2  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 olduğu belirlenmiştir. Mn için 3->7.2  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda As, Cd, Cu, Pb ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, ve Ag ve As parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 olduğu belirlenmiştir.



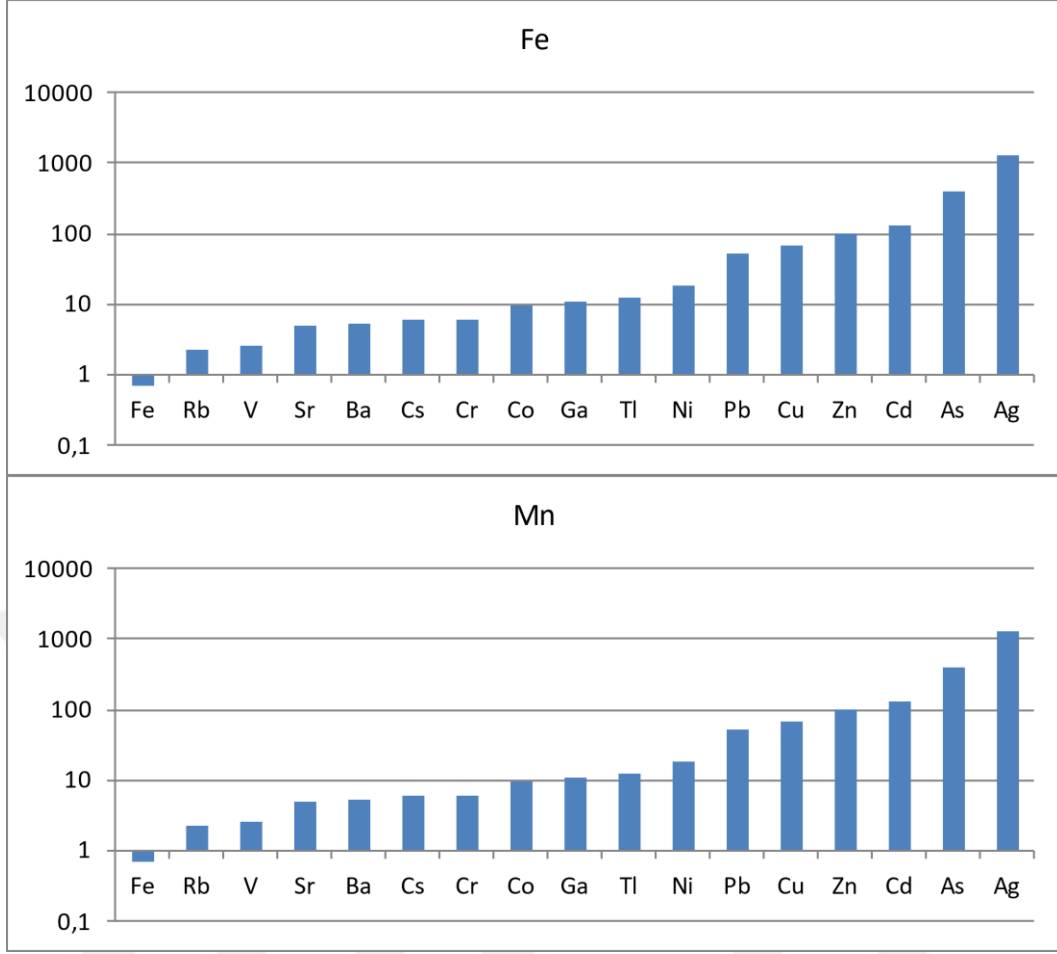
**Şekil 4.29.** 3-7.2  $\mu\text{m}$  parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

Demir için 1.5-3  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda Cd, Co, Cu, Ga, Ni, Pb ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, ve Ag ile As parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 olduğu belirlenmiştir. Mn için 1.5-3  $\mu\text{m}$  parçacık boyutunda Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, As parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >1000 olduğu belirlenmiştir.



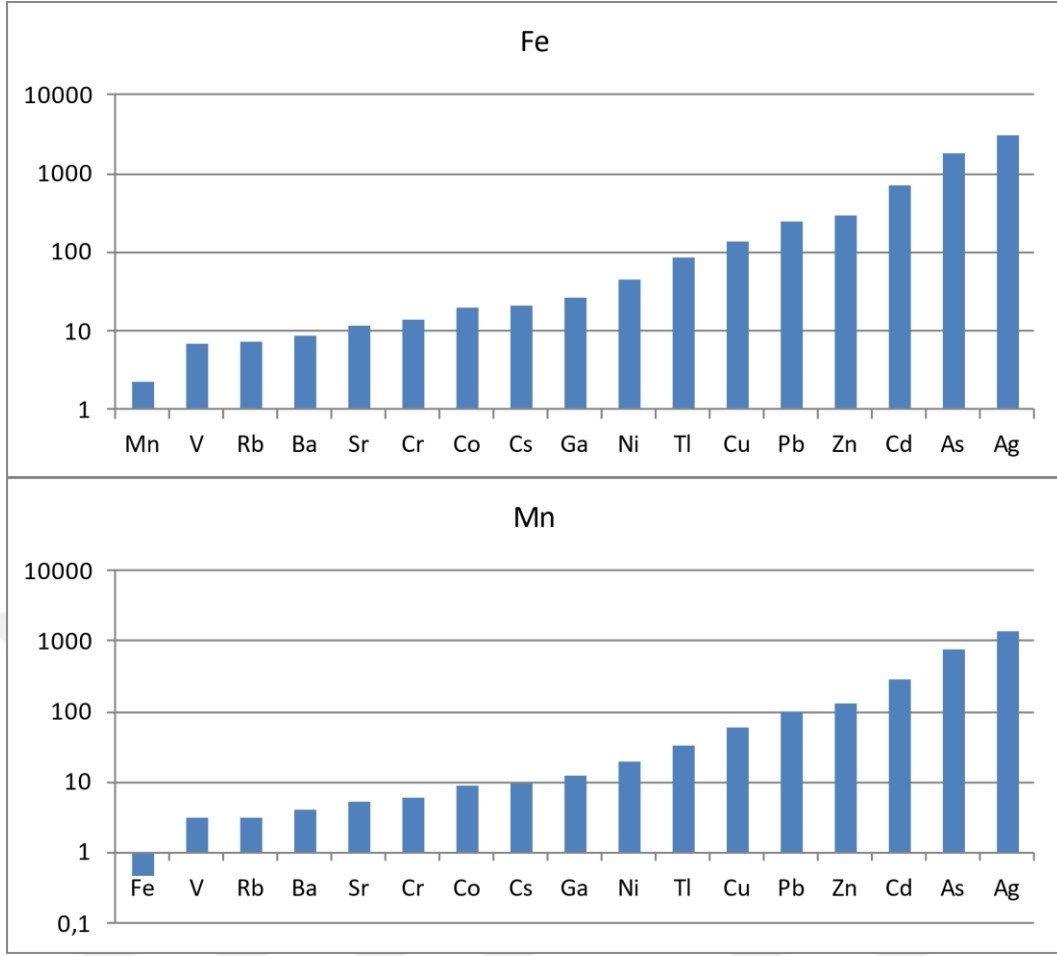
**Şekil 4.30.** 1.5-3 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

Demir için 0.95-1.5 µm parçacık boyutunda Cu, Ga, Ni, Pb, Tl ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, As ve Cd parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir. Mn için 0.95-1.5 µm parçacık boyutunda Cu, Ga, Ni, Pb, Tl ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, As ve Cd parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir.



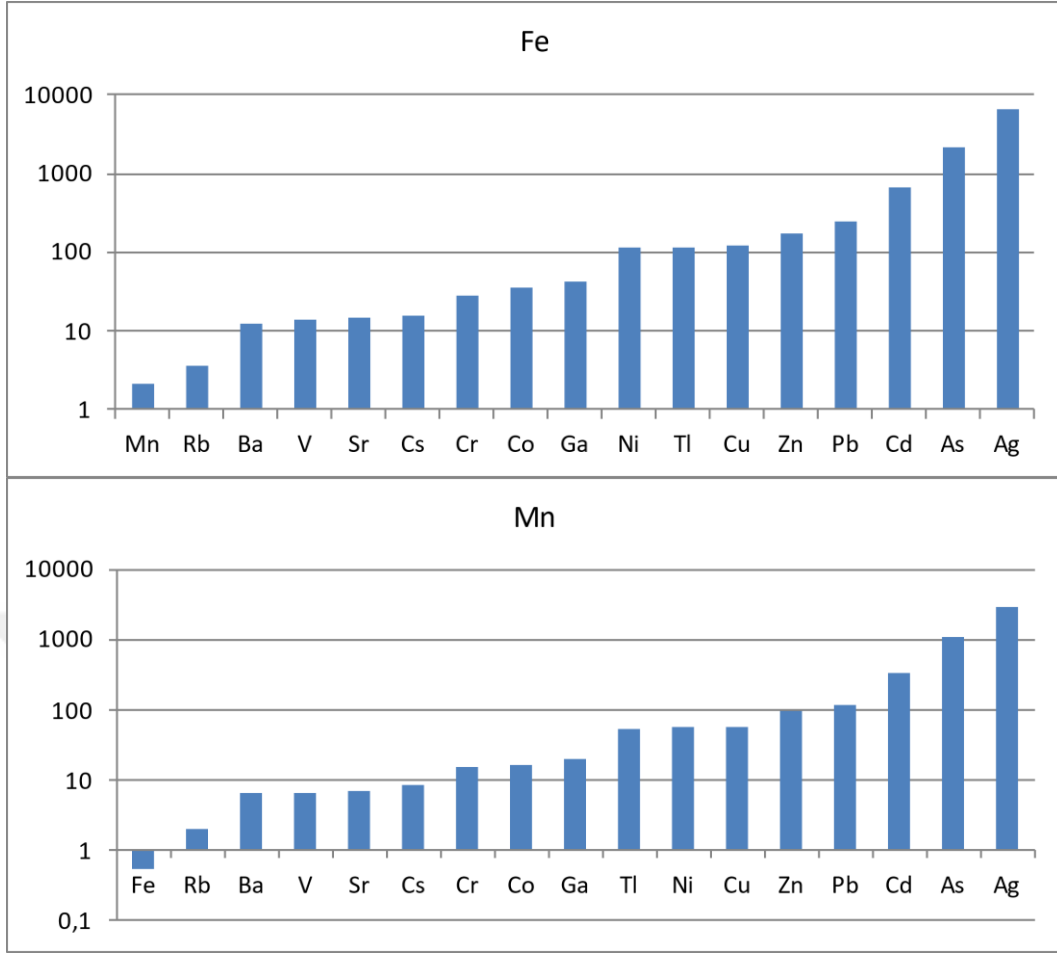
**Şekil 4.31.** 0.95-1.5 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

Demir için 0.49-0.95 µm parçacık boyutunda Co, Cr, Cs Ga, Ni, Sr, ve Tl parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, Cd, Cu, Pb ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag ve As parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir. Mn için 0.49-0.95 µm parçacık boyutunda Cu, Ga, Ni, Pb, ve Tl parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, As ,Cd ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir.



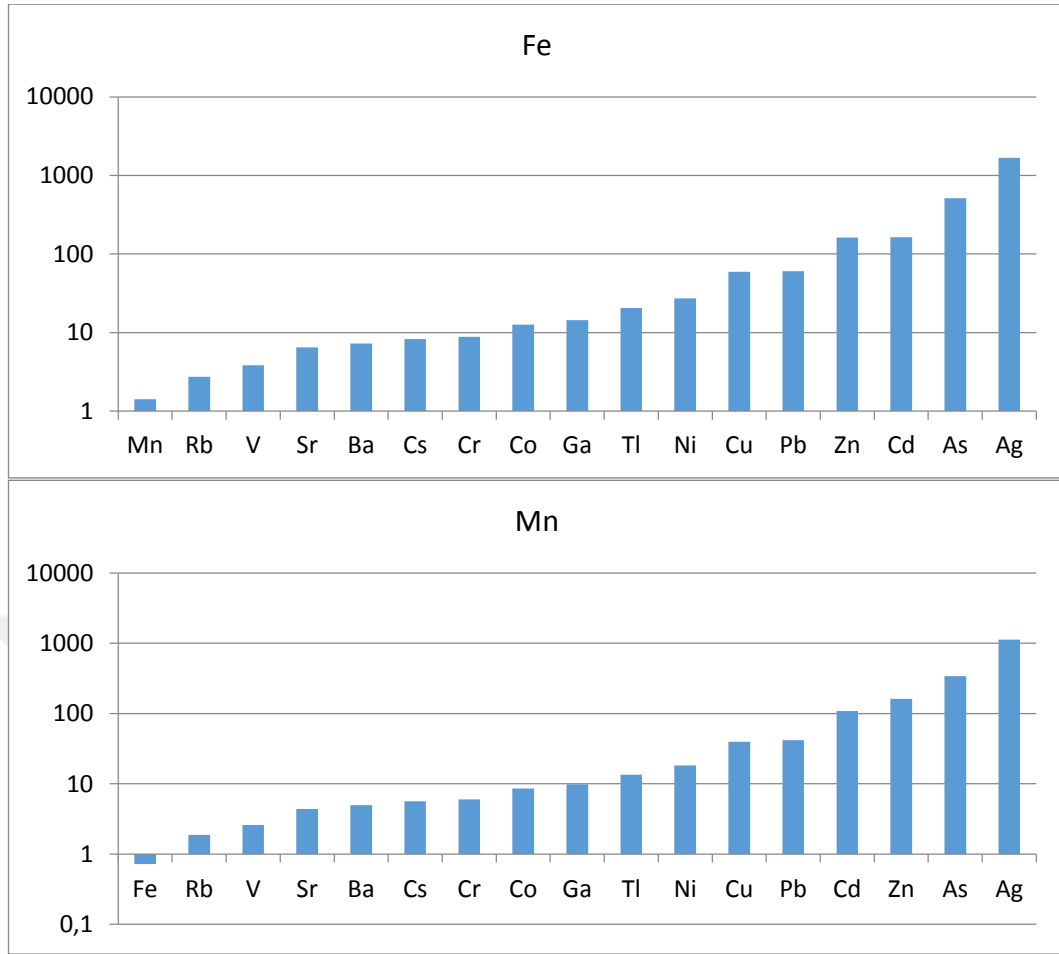
**Şekil 4.32.** 0.49-0.95  $\mu\text{m}$  parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

Demir için  $<0.49 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda Ba, Co, Cr, Cs, Ga, Sr, ve V parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>10$ , Cd, Cu, Ni, Pb, Tl ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>100$  ve Ag ve As parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise  $>1000$  olduğu belirlenmiştir. Mn için  $<0.49 \mu\text{m}$  parçacık boyutunda Co, Cr, Cu, Ga, Ni, Tl ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>10$ , Cd ve Pb parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin  $>100$  ve Ag ve As parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise  $>1000$  olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.33.** <0.49 µm parçacık boyutu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

PM<sub>10</sub> olarak değerlendirdiğimizde ise **Şekil 4.34**'te görüldüğü üzere Fe için Co, Cu, Ga, Ni, Pb ve Tl parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, As, Cd ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir. Mn için Cu, Ni, Pb ve Tl parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, As, Cd ve Zn parametrelerinin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Ag parametresinin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir.



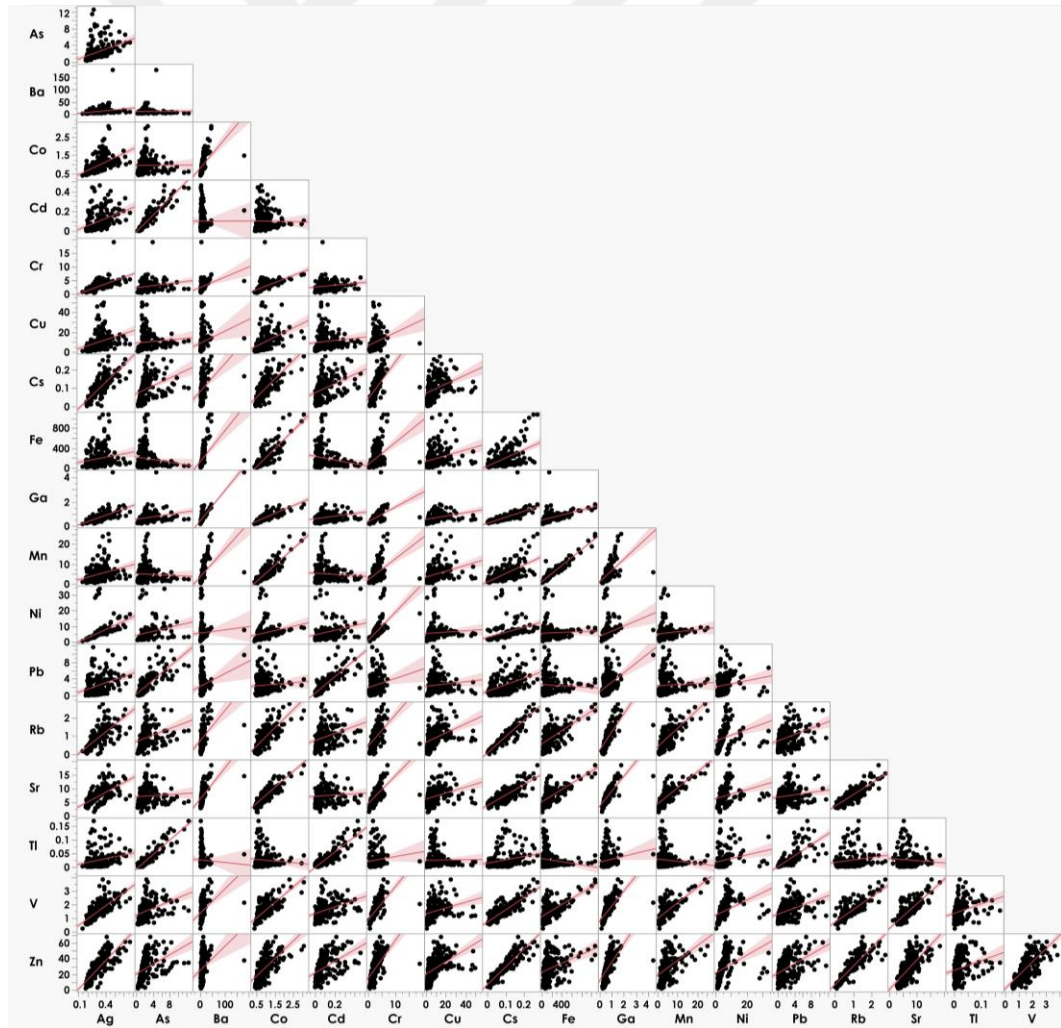
**Şekil 4.34.** PM<sub>10</sub> fraksiyonu için hesaplanan zenginleştirme faktörü

Bozkurt vd. 28 Ocak-25 Mart 2015 tarihleri arasında yaptıkları örnekleme çalışması sonucunda topladıkları örneklerle Fe kullanarak zenginleştirme faktörü hesaplamışlardır. Burada, Bi, Cd, Se, V, Ag, Ba, Mn, Co, Al, Fe, için EF değerinin 1'in altında olduğu; Sc, Cr, Ni, Cu için 1 ile 10 arasında; Pb, Sn, As, Zn için 10 ile 100 arasında; Sb, Mo için 100 'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Buradan, Pb, Sn, As, Zn, Sb, Mo gibi elementlerin yüksek EF değerine sahip olması ile ısınma amaçlı yakıt kullanımı ve trafik gibi kentsel kirletici kaynaklarının incelenen çalışma bölgesinde partikül madde kompozisyonu üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Çalışmada belirlenen zenginleştirme faktörü düşük olan elementlerin ise başlıca kaynağının yer kabuğu olduğu sonucuna varılmıştır (Bozkurt vd., 2015).

Süren tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada referans element olarak Al kullanılmıştır. İnce partiküller için hesaplanan EF<sub>c</sub> değeri incelendiğinde Si, Fe ve Ti dışında ölçümü yapılan diğer tüm elementlerin (zenginleşme faktörlerinin 10 ‘dan büyük) zenginleşme gösterdikleri belirtilmiştir. İnce partiküllerde en çok zenginleşen elementler sırasıyla S, Cu, Pb, Zn, Ni ve Cr elementleri olarak bulunmuştur. Kaba partiküllerde zenginleşen bu elementler ise Cu, Pb, S, Zn, Ni ve Cr ‘dur. Bu elementlerin ince partiküllerde de en çok zenginleşen elementler olduğu görülmektedir.

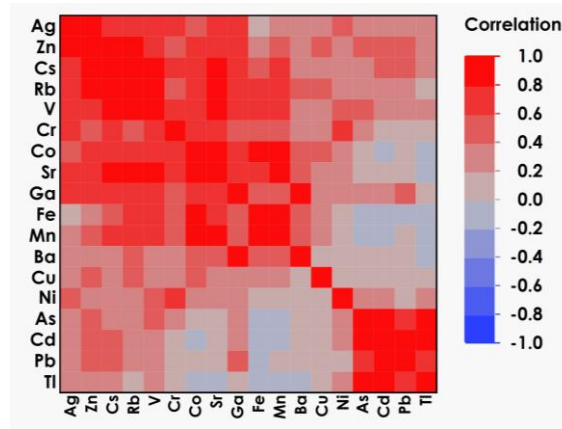
#### 4.1.2 Elementler Arasındaki Korelasyonlar

Bu çalışmada PM kompozisyonunda analiz edilen parametreler arasındaki korelasyonlar da incelenmiştir. Elde edilen korelasyon matrisi Şekil 4.35’de sunulmuştur.



Şekil 4.35. Korelasyon analizi sonuçları

Ayrıca korelasyon analizinde elde edilen R değerleri kümeleme analizi ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar **Şekil 4.36**'da sunulmuştur.



**Şekil 4.36.**Korelasyon değerlerinin kümeleme analizi sonuçları

Kömür yanması sonucu atmosfere salınan As ile Pb, Tl and Cd arasında çok kuvvetli bir korelasyon olduğu bulunmuştur ( $R>0.80$ ). Diğer taraftan, toprak kaynaklı olarak atmosfere taşınan Fe ile Mn, Co ve Sr arasında çok güçlü bir korelasyon ( $R>0.70$ ) bulunmuştur. Çinko daha çok motorlu taşıt emisyonları sonucu atmosfere salınan bir element olarak bilinmektedir. Bu çalışmada Zn ile Ag, Cs, Rb ve V arasında çok güçlü bir korelasyon bulunmuştur ( $R>0.80$ ).

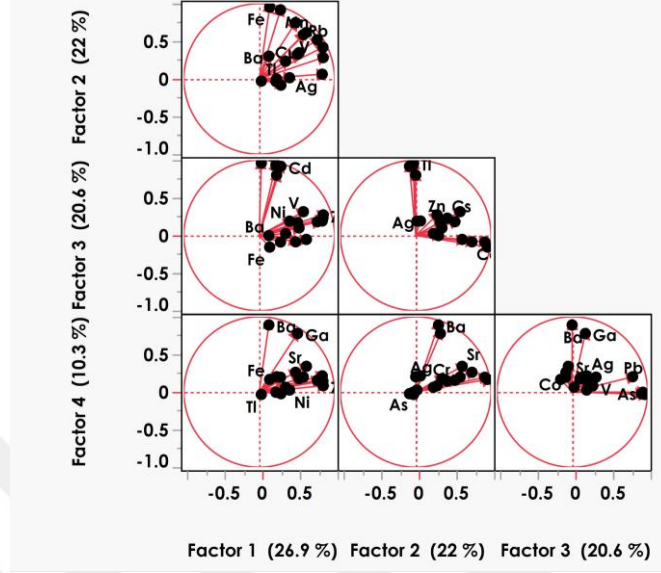
Wirnkor vd. 2019 yılında yaptıkları çalışmada kanda bulunan elementlerde Cd ve Cr arasında 0.88 ile en yüksek korelasyonu bulurken, Cd ve Pb arasında -0.9 ile en düşük korelasyonu bulmuştur. Aynı çalışmada idrarda bulunan değerlerde ise en yüksek korelasyon 0.36 ile Cd ve Pb arasında gözlemlenmiştir (Wirnkor vd., 2019).

Başaran 2010 yılında yaptığı çalışmada en yüksek korelasyonu Hg ile Mn arasında 0.92 olarak belirlerken Cu ile Ni arasında 0.83 ve Pb ile Zn arasında 0.82 olarak belirlemiştir. Aynı çalışmada en düşük korelasyon ise Cr ile Pb arasında -0.34 olarak belirlemiştir (Başaran, 2010).

#### 4.1.3 Faktör Analizi ile Kirletici Kaynaklarının Belirlenmesi

Bu çalışmada PM kompozisyonunda belirlenen kirleticilerin kaynaklarını belirlemek için faktör analizi çalıştırılmıştır. Faktör analizi varimax rotasyonu

kullanılarak JMP ® Pro 16.0.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Eigenvalue değeri >1.0 olan dört faktör belirlenmiştir. Faktör analiz sonuçları **Şekil 4.37**'de şematik olarak ve **Tablo 4.8**'de ise sayısal sonuçlar ile sunulmuştur.



**Şekil 4.37.**Faktör analiz sonuçlarının şematik gösterimi

**Tablo 4.88**'de sadece faktör yükü >0.40 olan değerler kalın yazılmıştır.

Birinci faktörde Zn, V, Rb, Sr, Cs ve Co elementlerinin yükleri >0.40 olarak bulunmuştur. Kobalt, Cs ve Sr toprak kökenli metaller olarak bilinmektedir. Ancak Zn daha çok motorlu taşıt emisyonları ile ilişkilendirilmektedir (Sternbeck vd., 2002). Dolayısı ile bu faktör yol tozu faktörü olarak adlandırılmıştır.

Faktör 2 de Fe, Mn, V ve Sr bulunmaktadır. Bu elementler toprak kaynaklı elementler olduğu (Aydın vd., 2015) için bu faktör toprak faktörü olarak adlandırılmıştır.

Faktör 3 de As, Pb ve Tl bulunmaktadır. As tipik olarak kömür ve yağ yakımı emisyonlarında bulunduğu (Lee vd., 1994) bu faktör kömür yanması ile ilişkilendirilmiştir.

Son faktörde ise Ba elementinin yükü fazladır. (Aydın vd., 2015) bu elementi trafik emisyonlarının belirleyici bir iz elementi olduğunu belirttiği için bu faktör de trafik faktörü olarak adlandırılmıştır.

Bu dört faktör toplam varyansın % 79.77'sini açıklamaktadır.

**Tablo 4.8.** Faktör analizi ile belirlenen faktörler

|                       | <b>Faktör 1</b> | <b>Faktör 2</b> | <b>Faktör 3</b> | <b>Faktör 4</b> | <b>Ortak Varyans</b> |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| <b>Ag</b>             | <b>0.84</b>     | 0.06            | 0.19            | 0.21            | 0.79                 |
| <b>As</b>             | 0.22            | -0.03           | <b>0.94</b>     | 0.00            | 0.93                 |
| <b>Ba</b>             | 0.13            | 0.30            | 0.00            | <b>0.89</b>     | 0.90                 |
| <b>Co</b>             | <b>0.48</b>     | <b>0.75</b>     | -0.08           | 0.26            | 0.87                 |
| <b>Cd</b>             | 0.29            | -0.08           | <b>0.92</b>     | -0.02           | 0.93                 |
| <b>Cr</b>             | 0.53            | 0.35            | 0.10            | 0.18            | 0.44                 |
| <b>Cu</b>             | 0.35            | 0.23            | 0.02            | 0.06            | 0.18                 |
| <b>Cs</b>             | <b>0.85</b>     | <b>0.42</b>     | 0.23            | 0.15            | 0.97                 |
| <b>Fe</b>             | 0.14            | <b>0.95</b>     | -0.16           | 0.17            | 0.98                 |
| <b>Ga</b>             | <b>0.51</b>     | 0.33            | 0.17            | <b>0.78</b>     | 1.00                 |
| <b>Mn</b>             | 0.28            | <b>0.92</b>     | -0.09           | 0.20            | 0.97                 |
| <b>Ni</b>             | <b>0.40</b>     | 0.02            | 0.19            | 0.03            | 0.20                 |
| <b>Pb</b>             | 0.23            | 0.00            | <b>0.80</b>     | 0.20            | 0.74                 |
| <b>Rb</b>             | <b>0.77</b>     | <b>0.52</b>     | 0.18            | 0.16            | 0.92                 |
| <b>Sr</b>             | <b>0.63</b>     | <b>0.62</b>     | -0.05           | 0.34            | 0.89                 |
| <b>Tl</b>             | 0.03            | -0.03           | <b>0.96</b>     | -0.03           | 0.93                 |
| <b>V</b>              | <b>0.59</b>     | <b>0.59</b>     | 0.32            | 0.20            | 0.83                 |
| <b>Zn</b>             | <b>0.85</b>     | 0.28            | 0.27            | 0.08            | 0.88                 |
| <b>Eigenvalue</b>     | <b>8.88</b>     | <b>3.85</b>     | <b>1.40</b>     | <b>1.03</b>     |                      |
| <b>Varyans</b>        | <b>4.84</b>     | <b>3.95</b>     | <b>3.71</b>     | <b>1.86</b>     |                      |
| <b>%</b>              | <b>26.88</b>    | <b>21.95</b>    | <b>20.59</b>    | <b>10.35</b>    |                      |
| <b>Toplam Varyans</b> | <b>26.88</b>    | <b>48.83</b>    | <b>69.42</b>    | <b>79.77</b>    |                      |

Süren, 2007 yılında Zonguldak'ta yaptığı çalışmada ince ve kaba partiküllerde Fe, Ca, Ti, Mg, Al, K, Mn, Cu, Ni, Cr, Zn, Pb, S ve Si

elementlerinden oluşan toplam on dört iz element ölçmüştür. Bu elementlerin hangilerinin ortak kaynaklara sahip olduğu ve bölgede iz element oluşumunda majör rol oynayan muhtemel kaynakları tespit etmek amacıyla faktör analizi uygulamıştır. Analiz sonucunda kaba partikül kütlelerinde bulunan elementler için de toplam üç faktör tespit edilmiştir. Bu faktörlerden baskın olanı Fe, Ca, Ti, Mg, Al, K ve Mn gibi yer kabuğu tozlarını temsil eden elementlerden oluşmakta ve bunun değişiminin % 53.15 'ini açıkladığı belirtilmiştir. Bu faktör içerisinde ince partiküllerde de olduğu gibi Ca ve Mg zenginleşmesinin kaynağı olan deniz sprelerinin katkısının bulunduğu belirtilmiştir. Değişimin % 15.64 'ünü açıklayan ikinci faktörde Cu, Cr, Zn ve Ni elementleri bulunduğu belirtilmiştir. Cu, Zn ve Ni elementinin fuel-oil yanması kaynaklı elementler, Cr kömür yakımı kaynaklı element ve bakırın aynı zamanda kömür yakılmasıyla da oluşabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle ikinci faktörün ısınma kaynaklı etkiyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Pb, S ve Si elementlerinden oluşan üçüncü faktör değişiminin % 7,63 'ünü açıkladığı belirtilmiştir. Kükürt ve kurşun trafik emisyonlarından kaynaklandığı, bu durumda üçüncü faktörün trafik emisyonlarını temsil ettiği sonucuna varılmıştır (Süren, 2007).

#### 4.1.4 Sağlık Riski Değerlendirmesi

Bu çalışmada Bolu'da 1.5 mikrometreden küçük PM fraksiyonunda insanların ince partikül maddeye maruziyetlerinden kaynaklanan kanserojenik ve kanserojenik olmayan sağlık riskleri hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında hesaplanan kanserojenik olmayan ve kanserojenik olan riskler sırasıyla **Tablo 4.9** ve **Tablo 4.10**'da sunulmuştur. Kanserojen olmayan riskler değerlendirildiğinde (**Tablo 4.11**), çocuklar için toplam risk 1.97, yetişkinler için ise  $3.48 \times 10^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Hesaplanan risk değeri çocuklar için  $>1.0$ , yetişkinler için ise  $<1.0$  bulunmuştur. Yetişkinler için kanserojen olmayan risk açısından bir sorun olmadığı söylenebilir. Ancak, çocuklar için hesaplanan risk değeri eşik değerin yaklaşık iki katı bulunmuştur ve çocuklar için hesaplanan bu risk değerinin yetişkinler için hesaplanan riskin yaklaşık 6 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu istasyonda toplanan örneklerin kimyasal kompozisyonunda bulunan parametreler için kanserojen risk değerleri hesaplandığında çocuklar için hesaplanan riskin  $1.46 \times 10^{-4}$  olduğu

belirlenmiştir. Bu değer, eşik değer olan  $10^{-6}$ - $10^{-4}$  aralığının üstünde olduğu için çocuklar için kanserojen riskin bulunduğu sonucuna varılmıştır. Yetişkinler için hesaplanan  $8.87 \times 10^{-5}$  değeri ise kanserojen eşik değerinin aralığında ( $10^{-6}$ - $10^{-4}$ ) olduğu belirlenmiştir.



**Tablo 4.9.** <1.5 µm belirlenen parametrelerden kaynaklanan kanserojenik olmayan sağlık riski

| Kanserojen Olmayan Risk (HQ) |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                              | Çocuk    |          |          |          | Yetişkin |          |          |          |
|                              | Yutma    | Dermal   | Soluma   | Toplam   | Yutma    | Dermal   | Soluma   | Toplam   |
| V                            | 1.74E-03 | 4.02E-01 | 1.01E-02 | 4.14E-01 | 1.87E-04 | 3.55E-02 | 1.01E-02 | 4.58E-02 |
| Cr                           | 2.01E-03 | 9.25E-01 | 1.32E-02 | 9.40E-01 | 2.15E-04 | 8.18E-02 | 1.32E-02 | 9.52E-02 |
| Mn                           | 3.75E-04 | 5.30E-04 | 2.96E-02 | 3.05E-02 | 4.02E-05 | 4.68E-05 | 2.96E-02 | 2.96E-02 |
| Fe                           | 2.72E-05 | 4.72E-04 | 6.54E-06 | 5.05E-04 | 2.92E-06 | 4.17E-05 | 6.54E-06 | 5.11E-05 |
| Ni                           | 4.62E-04 | 4.95E-02 | 3.75E-02 | 8.74E-02 | 4.95E-05 | 4.37E-03 | 3.75E-02 | 4.19E-02 |
| Cu                           | 1.40E-03 | 3.15E-03 |          | 4.55E-03 | 1.50E-04 | 2.79E-04 |          | 4.28E-04 |
| Zn                           | 5.61E-04 | 6.27E-04 |          | 1.19E-03 | 6.01E-05 | 5.55E-05 |          | 1.16E-04 |
| As                           | 1.33E-01 | 2.30E-01 | 9.73E-02 | 4.61E-01 | 1.43E-02 | 2.04E-02 | 9.73E-02 | 1.32E-01 |
| Pb                           | 1.38E-02 | 1.98E-02 |          | 3.36E-02 | 1.48E-03 | 1.75E-03 |          | 3.23E-03 |
| Toplam                       | 1.53E-01 | 1.63E+00 | 1.88E-01 | 1.97E+00 | 1.64E-02 | 1.44E-01 | 1.88E-01 | 3.48E-01 |

**Tablo 4.10.** <1.5 µm belirlenen parametrelerden kaynaklanan kanserojenik olan sağlık riski

| Kanserojen Risk |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 | Çocuk    |          |          |          | Yetişkin |          |          |          |
|                 | Yutma    | Dermal   | Soluma   | Toplam   | Yutma    | Dermal   | Soluma   | Toplam   |
| <b>Cr</b>       | 2.58E-07 | 1.19E-04 | 9.48E-06 | 1.29E-04 | 1.11E-07 | 4.21E-05 | 3.79E-05 | 8.01E-05 |
| <b>As</b>       | 5.13E-06 | 8.89E-06 | 5.38E-07 | 1.46E-05 | 2.20E-06 | 3.14E-06 | 2.15E-06 | 7.49E-06 |
| <b>Pb</b>       | 1.16E-06 | 1.66E-06 | 1.04E-08 | 2.84E-06 | 4.99E-07 | 5.88E-07 | 4.15E-08 | 1.13E-06 |
| <b>Toplam</b>   | 6.55E-06 | 1.29E-04 | 1.00E-05 | 1.46E-04 | 2.81E-06 | 4.58E-05 | 4.01E-05 | 8.87E-05 |

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Bolu şehir merkezinde Bolu Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün bahçesinde araştırma grubumuz tarafından çalıştırılan hava kalitesi izleme istasyonunda 17/2/2021-10/3/2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen örnekleme çalışmasının sonuçlarını içermektedir. Çalışma kapsamında altı farklı fraksiyonda ( $>7.2$ ,  $3-7.2$ ,  $1.5-3$ ,  $0.95-1.5$ ,  $0.49-0.95$ ,  $<0.49$   $\mu\text{m}$ ) toplanan PM örnekleri Ag, As, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Cs, Fe, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, V ve Zn açısından analiz edilmiştir.

Analiz edilen elementler arasında en büyük parçacık fraksiyonunda ( $>7.2$   $\mu\text{m}$ ) en düşük ortalama konsantrasyon değeri  $0.003 \text{ ng/m}^3$  ile Tl için bulunurken en küçük fraksiyonda ( $<0.49$   $\mu\text{m}$ ) en yüksek ortalama konsantrasyon değeri  $85.80 \text{ ng/m}^3$  değeri ile Fe için belirlenmiştir.

Manganın her mevsim kaba partiküllerde daha zengin olduğu, kaba partiküllerde yazın artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Demirin çoğunlukla kaba partiküllerde bulunduğu, ince partiküllerde ısınma mevsiminde, kaba partiküllerde ise ilkbahar ve yaz dönemlerinde artışlar gözlenmiştir.

Tek tepeli dağılım gösteren parametrelerden Ag, Cu ve Ni elementlerinin seviyeleri yaz döneminde artarken, As, Cd, Pb ve Tl elementlerin konsantrasyonları kış döneminde yükselmiştir. Kış aylarında artan konsantrasyonların ısınma ihtiyacı sonucu yanma kaynaklı olduğu dolayısıyla yerel bir kirliliğin söz konusu olduğu söylenebilir. Çift tepeli dağılım gösteren parametreler (Ba, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Mn, Rb, Sr, V, Zn) ise hem ince hem kaba fraksiyonda yaz aylarında en yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır.

Bu çalışmada, PM kompozisyonunda analiz edilen parametreler kullanılarak PM kompozisyonunu etkileyen kirletici kaynakları da belirlenmiştir. Toplanan örneklerde belirlenen metallerin hangilerinin insan faaliyetleri sonucu ortam havasına karıştığını belirleyebilmek için zenginleştirme faktörü uygulanmıştır. Hesaplanan  $EF_c$  değerleri incelendiğinde her iki referans madde için de As ve Ag en yüksek zenginleşmeyi gösterirken, Fe, Mn, Rb ve V  $<10$  ile zenginleşme göstermemiştir. Diğer elementler 10-1000 arasında değişim gösterse

de zenginleşme olduğunu ortaya koymaktadır. Elementlerin zenginleşme faktör analizleri tüm partikül boyutunda doğal kaynakların dışında başka kaynakların varlığını işaret etmektedir.

Çalışma dönemi boyunca ince ve kaba partiküllerde Ag, As, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Cs, Fe, Ga, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, V ve Zn elementlerinden oluşan toplam on sekiz iz elementin hem ince hem kaba partikül boyutundaki konsantrasyonlarının hangilerinin ortak kaynaklara sahip olduğu ve bölgede partiküler iz element oluşumunda majör rol oynayan muhtemel kaynakların tespiti amacıyla faktör analizi yapılmıştır. FA sonucunda motorlu taşıt emisyonları, toprak, kömür yanması ve trafik gibi dört olası emisyon kaynağını belirlenmiştir.

Sağlık Riski Değerlendirmesi sonucunda yetişkinler için kanserojen olmayan risk açısından bir sorun olmadığı ancak, çocuklar için hesaplanan risk değeri eşik değerin yaklaşık iki katı olduğu bulunmuştur. Kanserijen risk değerleri hesaplandığında çocuklar için hesaplanan riskin eşik değerin üstünde olduğu için çocuklar için kanserojen riskin bulunduğu sonucuna varılmıştır. Yetişkinler için hesaplanan değerin ise kanserojen eşik değeri aralığında olduğu belirlenmiştir.

Belirlenen kirlilik kaynakları incelendiğinde motorlu taşıt emisyonları ve trafik konusunda emisyon azaltıcı tedbirler alınmalıdır. Kömür yanması kaynağı için de hala kömür kullanımının devam etmesi konusunda yeterli caydırıcı önlemler alınmadığı görülmektedir. Konu ile ilgili Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından gerekli çalışmaların yapılması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.

- Akdur, D. R. (2009). *Halk Sağlığı İle İlgili Güncel Sorunlar ve Yaklaşımlar—Hava Kirliliği ve Çözümler*. Ankara Tabip Odası Yayını.
- Akdur, D. R., Çöl, D. M., Işık, D. A., İdil, D. A., Durmuşoğlu, M., & Tunçbilek, D. A. (1998). *Halk Sağlığı*. AÜ TF Antip AŞ Tıp Yayınları.
- Al-Khashman, Omar. A. (2004). Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*, 38(39), 6803-6812. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.09.011>
- Allajbeu, S., Qarri, F., Marku, E., Bekteshi, L., Ibro, V., Frontasyeva, M. V., Stafilov, T., & Lazo, P. (2017). Contamination scale of atmospheric deposition for assessing air quality in Albania evaluated from most toxic heavy metal and moss biomonitoring. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(5), 587-599. <https://doi.org/10.1007/s11869-016-0453-9>
- Al-Saleh, I., Shinwari, N., & Alsabbaheen, A. (2011). Phthalates residues in plastic bottled waters. *The Journal of Toxicological Sciences*, 36(4), 469-478. <https://doi.org/10.2131/jts.36.469>
- Altunok, A., & Eskiocak, M. (2020). Trakya’da partiküler madde kirliliği ve mortalite ilişkisinin değerlendirilmesi. *Türkiye Halk Sağlığı Dergisi*, 18(3), 124-132. <https://doi.org/10.20518/tjph.661642>
- Anderson, B., Krall, J., Peng, R., & Bell, M. (2012). Is the Relation Between Ozone and Mortality Confounded by Chemical Components of Particulate Matter? Analysis of 7 Components in 57 US Communities. *American journal of epidemiology*, 176, 726-732. <https://doi.org/10.1093/aje/kws188>
- Apaydın, A. (2005). *SANAYİDEN KAYNAKLANAN TOPRAK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: SAMSUN-TEKKEKÖY BÖLGESİ* [Yüksek lisans tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- Atmosfer—Meteoroloji Genel Müdürlüğü.* (2023). <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer>
- Aydin, Y. M., Kavak, P., Kara, M., & ElbiR, T. (2015). *D.E.Ü. TINAZTEPE YERLEŞKESİ'NDE AĞAÇ BİLEŞENLERİ ÜZERİNDE İZ ELEMENT KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE KİRLETİCİ KAYNAKLARIN TESPİT EDİLMESİ*.
- Aydinlar, B., Güven, H., & KirksekiZ, S. (2009). HAVA KİRLİLİĞİ NEDİR, ÖLÇÜM VE HAVA KALİTE MODELLEME YÖNTEMLERİ NELERDİR. *Sakarya Üniversitesi*.
- Bach, C., Dauchy, X., Chagnon, M.-C., & Etienne, S. (2012). Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed. *Water Research*, 46(3), 571-583. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.062>
- Barbieri, M. (2016). The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. *Journal of Geology & Geophysics*, 5(1). <https://doi.org/10.4172/2381-8719.1000237>
- Başaran, G. (2010). *Kapulukaya Baraj Gölü (Kırıkkale) ve Aşağı Havzası Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi* [Doktora Tezi]. Kırıkkale Üniversitesi.
- Bhuyan, P., Deka, P., Prakash, A., Balachandran, S., & Hoque, R. R. (2018). Chemical characterization and source apportionment of aerosol over mid Brahmaputra Valley, India. *Environmental Pollution*, 234, 997-1010. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.009>

- Bolu, F., Zoroglu, G., & Mayda, A. (2015). The Investigation of Hourly, Daily and Seasonal Changes of Duzce Air Quality Monitoring Station 2014 Data. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 14(5), 387. <https://doi.org/10.5455/pmb.1-1428307702>
- Bozkurt, Z., Taşpınar, F., Gaga, E. O., Döğeroğlu, T., Üzmez, Ö. Ö., Pekey, B., & Pekey, H. (2015). *DÜZCE İLİNDE PARTİKÜL MADDE (PM10) KONSANTRASYONLARININ VE ELEMENT İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ*.
- Büyüköztürk, Y. D. D. Ş. (2002). Faktör Analizi: Temel Kavramlar ve Ölçek Geliştirmede Kullanımı. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 32(32), Article 32.
- Chester, R., Nimmo, M., & Preston, M. R. (1999). The trace metal chemistry of atmospheric dry deposition samples collected at Cap Ferrat: A coastal site in the Western Mediterranean. *Marine Chemistry*, 68, 15-30. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(99\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(99)00062-6)
- Chew, S., Kolosowska, N., Saveleva, L., Malm, T., & Kanninen, K. M. (2020). Impairment of mitochondrial function by particulate matter: Implications for the brain. *Neurochemistry International*, 135, 104694. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2020.104694>
- Chow, J. C. (1995). Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 45(5), 320-382. <https://doi.org/10.1080/10473289.1995.10467369>
- Colville, R. N., Hutchinson, E. J., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*, 35(9), 1537-1565. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00551-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00551-3)
- EPA. (2016). *Glyphosate Issue Paper: Evaluation of Carcinogenic Potential*.
- Ertürk, P. (2016). *Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Ağustos 2016*.
- Exceedance of air quality standards in Europe. (t.y.). Geliş tarihi 25 Ağustos 2023, gönderen <https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards>
- Ferreira-baptista, L., & Miguel, E. De. (2005). *Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda , Angola: A tropical urban environment*. 39, 4501-4512. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.026>
- Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier Van Der Gon, H., Facchini, M. C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis, S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J. G., Spracklen, D. V., Vignati, E., Wild, M., ... Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8217-8299. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>
- Galindo, N., Yubero, E., Clemente, Á., Nicolás, J. F., Varea, M., & Crespo, J. (2020). PM events and changes in the chemical composition of urban aerosols: A case study in the western Mediterranean. *Chemosphere*, 244, 125520. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125520>
- Gope, M., Masto, R. E., George, J., & 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, 280-293. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.042>
- Grosjean, D., & Friedlander, S. K. (1975). Gas-Particle Distribution Factors for Organic and Other Pollutants in the Los Angeles Atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 25(10), 1038-1044. <https://doi.org/10.1080/00022470.1975.10470176>
- Güler, Ç., & Akın, L. (2015). *Halk Sağlığı Temel Bilgiler*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.

- Harrison, R. M., & Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: Which particle properties are important for its effects on health? *The Science of the Total Environment*, 249(1-3), 85-101. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00513-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00513-6)
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. (2008). Mevzuat Bilgi Sistemi. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Heinecke, R. (2021, Eylül 24). The new 2021 WHO air quality guideline limits. *Breeze Technologies*. <https://www.breeze-technologies.de/blog/new-2021-who-air-quality-guideline-limits/>
- Hien, P. D., Bac, V. T., Tham, H. C., Nhan, D. D., & Vinh, L. D. (2002). Influence of meteorological conditions on PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5</sub>À10 concentrations during the monsoon season in Hanoi, Vietnam. *Atmospheric Environment*.
- Hildemann, L. M., Markowski, G. R., & Cass, G. R. (1991). Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol. *Environmental Science & Technology*, 25(4), 744-759. <https://doi.org/10.1021/es00016a021>
- Hilmioğlu, B. (2004). *Hava Kalitesi Kontrolü Laboratuvar'ında Akreditasyon Uygulamaları, Eğitim Notları*. TÜBİTAK MAM Enerji ve Çevre Araştırma Enstitüsü Kurs Notları.
- Hovardaoğlu, S. (2000). *Davranış Bilimleri İçin Araştırma Teknikleri*. VE-GA.
- Hsu, C.-Y., Chi, K.-H., Wu, C.-D., Lin, S.-L., Hsu, W.-C., Tseng, C.-C., Chen, M.-J., & Chen, Y.-C. (2021). Integrated analysis of source-specific risks for PM<sub>2.5</sub>-bound metals in urban, suburban, rural, and industrial areas. *Environmental Pollution*, 275, 116652. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116652>
- Hu, X., Zhang, Y., Ding, Z., Wang, T., Lian, H., Sun, Y., & Wu, J. (2012a). Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM<sub>2.5</sub> in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*, 57, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.056>
- Hu, X., Zhang, Y., Ding, Z., Wang, T., Lian, H., Sun, Y., & Wu, J. (2012b). Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM<sub>2.5</sub> in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*, 57, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.056>
- IPCC. (2013). *Figure TS.7—IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/technical-summary/figts-07-2/>
- Jiries, A. (2001). Chemical composition of dew in Amman, Jordan. *Atmospheric Research*, 57(4), 261-268. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(01\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(01)00079-5)
- Kahramantekin, T. (2006). *Atmosferik Partiküllerde İyon Analizi ve İstatistiksel Değerlendirme*. Anadolu Üniversitesi.
- Karaca, F. (2005). *BÜYÜKÇEKMECE BÖLGESİNE TAŞINAN AEROSOLLERDEKİ METAL KONSANTRASYONLARININ İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ*.
- Karaçağıl, D. (2013). *İSTANBUL'DA BELİRLENMİŞ SAHİL ŞERİTLERİNDE TOPRAK KALİTESİ ve AĞIR METAL KİRLİLİĞİ* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi.
- Kim, E., Park, H., Park, E. A., Hong, Y.-C., Ha, M., Kim, H.-C., & Ha, E.-H. (2016). Particulate matter and early childhood body weight. *Environment International*, 94, 591-599. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.021>
- Kline, P. (1994). *An Easy Guide to Factor Analysis*. Routledge. <https://www.routledge.com/An-Easy-Guide-to-Factor-Analysis/Kline/p/book/9780415094900>

- Kloog, I., Sorek-Hamer, M., Lyapustin, A., Coull, B., Wang, Y., Just, A. C., Schwartz, J., & Broday, D. M. (2015). Estimating daily PM 2.5 and PM 10 across the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based AOD data. *Atmospheric Environment*, 122, 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.004>
- Kundzewicz, W., Mata, J., Arnell, W., Doll, P., Kabat, P., Jiminez, B., Miller, A., Oki, T., Sen, Z., & Shiklomanov, A. (2008). Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, 173-210.
- Kurt-Karakus, P. B. (2012). Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk. *Environment International*, 50, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.09.011>
- Lee, D. S., Garland, J. A., & Fox, A. A. (1994). Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, 28(16), 2691-2713. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)90442-1](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)90442-1)
- Lee, R. E. (1972). The Size of Suspended Particulate Matter in Air. *Science*, 178(4061), 567-575. <https://doi.org/10.1126/science.178.4061.567>
- Lee, Y. L., & Sequeira, R. (2002). Water-soluble aerosol and visibility degradation in Hong Kong during autumn and early winter, 1998. *Environmental Pollution*, 116(2), 225-233. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00135-X)
- Li, H.-W., Chen, K.-S., Lai, C.-H., Chen, T.-Y., Lin, Y.-C., Lin, Y.-C., Chen, C.-H., Peng, Y.-P., & Lin, M.-H. (2021). Characterization of Ambient Particulate Matters in an Industry-Intensive Area in Central Taiwan. *Atmosphere*, 12(7), 926. <https://doi.org/10.3390/atmos12070926>
- Mevzuat Bilgi Sistemi. (2009). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Morawska, L., & Zhang, J. J. (2002). Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures. *Chemosphere*, 49(9), 1045-1058. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(02\)00241-2](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(02)00241-2)
- Morera-Gómez, Y. (Yasser). (2019). *Chemical composition and sources of particulate matter across urban and rural sites in the Caribbean region of Cienfuegos (Cuba)* [Tesis doctoral]. Universidad de Navarra.
- Müezzinoğlu, A. (2005). *HAVA KİRLİLİĞİ ve KONTROLÜNÜN ESASLARI*. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
- Nollet, L. M. L., & De Gelder, L. S. p. (2014). *Handbook of water analysis* (third edition). CRC press.
- Oğuz, K., & Akın, B. (2019). DOĞU AKDENİZ HAVZASINDA SICAKLIK, YAĞIŞ VE AEROSOL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 72, 244-253. <https://doi.org/10.21923/jesd.464737>
- Olmez, I., Sheffield, A. E., Gordon, G. E., Houck, J. E., Pritchett, L. C., Cooper, J. A., Dzubay, T. G., & Bennett, R. L. (1988). Compositions of particles from selected sources in Philadelphia for receptor modeling applications. *JAPCA*, 38(11), 1392-1402. <https://doi.org/10.1080/08940630.1988.10466479>
- Onat, B., & Sahin, U. A. (2012). Investigating of the Particulate Matter Size and the Relation of Black Smoke Near Traffic. *Ekoloji*, 21(83), 77-83. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2012.839>

- Özkan, G. (2009). *Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyusal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği* [Yüksek Lisans Tezi]. Gebze Teknik Üniversitesi.
- Öztürk, F., & Keleş, M. (2015). *BOLU İL MERKEZİNDE KIŞ MEVSİMİNDE TOPLANAN PM2.5-10 ve PM2.5 FRAKSİYONLARINI ETKİLEYEN KİRLETİCİ KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ*.
- Pacyna, J. M., & Winchester, J. W. (1990). Contamination of the global environment as observed in the Arctic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 82(1), 149-157. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(12\)80028-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(12)80028-9)
- Partikül Madde Zararları*. (2022, Temmuz 28). FRESHWELD. <https://www.freshweld.com.tr/partikul-madde-zararlari/>
- Pascal, M., Falq, G., Wagner, V., Chatignoux, E., Corso, M., Blanchard, M., Host, S., Pascal, L., & Larrieu, S. (2014). Short-term impacts of particulate matter (PM10, PM10–2.5, PM2.5) on mortality in nine French cities. *Atmospheric Environment*, 95, 175.
- Patel, P. (2015). *P G Diploma Thesis—Study of Aerosol Optical Depth and Black Carbon concentration over Dehradun and surroundings*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3180.1446/1>
- Polat, G. (2011). *İstanbul Atmosferindeki Farklı Boyutlardaki Partikül Maddenin Metal İçeriğinin Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., & Nunziata, A. (2009). Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261(1-2), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>
- Pražnikar, Z., & Pražnikar, J. (2012). The effects of particulate matter air pollution on respiratory health and on the cardiovascular system. *Slovenian Journal of Public Health*, 51(3), 190-199. <https://doi.org/10.2478/v10152-012-0022-z>
- Rai, P. K. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>
- Rennie, K. M. (1997). *Exploratory and Confirmatory Rotation Strategies in Exploratory Factor Analysis*. <https://eric.ed.gov/?id=ED406446>
- Ristovski, Z., Agranovski, V., Bostrom, T., Thomas, S., Hitchins, J., & Morawska, L. (1999). Elemental Composition of Combustion Emissions from Spark Ignition Vehicles. *Journal of Aerosol Science*, S845-S846.
- Samset, B. H. (2016). Aerosols and Climate. İçinde *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.13>
- Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 698-733. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.065>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons.
- Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. M. (2008). Atmospheric deposition of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi City, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1-3), 269-278. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9924-7>
- Solomon, S., Intergovernmental Panel on Climate Change, & Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis: contribution of*

- Sternbeck, J., Sjödin, Å., & Andréasson, K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—Results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, 36(30), 4735-4744. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00561-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00561-7)
- Süren, P. (2007). *ZONGULDAK KENT MERKEZİ ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDE KİRLİLİĞİNİN; PM<sub>2.5</sub> VE PM<sub>10</sub> BOYUT DAĞILIMI, KAYNAK VE METALİK KOMPOZİSYON TEMELİNDE İNCELENMESİ* [Yüksek Lisans Tezi]. BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ.
- Şen, Z. (2022). *CLIMATE CHANGE AND TÜRKİYE*.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy Metals Toxicity and the Environment. *EXS*, 101, 133-164. [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)
- Tepe, A. M., & Doğan, G. (2017). *ANTALYA ORTAM HAVASINDAKİ PM<sub>2.5</sub> VE PM<sub>2.5-10</sub> KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ*.
- Terms of Environment; Glossary, Abbreviations and Acronyms*. | NEPIS |. (1992). US EPA.
- Tezcan, E., Karslıoğlu, S., Tuna Tuygun, G., & ElbiR, T. (2022). Türkiye ve Yakın Çevresinde Güneş Fotometreleri ile Elde Edilen Aerosol Optik Derinliği Verisinin Zamansal ve Mekansal Değişimi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(3), 1241-1254. <https://doi.org/10.29130/dubited.960072>
- Theodosi, C., Tsagkaraki, M., Zarmpas, P., Grivas, G., Liakakou, E., Paraskevopoulou, D., Lianou, M., Gerasopoulos, E., & 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. <https://doi.org/10.5194/acp-18-14371-2018>
- TÜİK Kurumsal. (2022). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Death-and-Causes-of-Death-Statistics-2022-49679>
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), Article 1.
- US EPA, O. (2014, Nisan 10). *NAAQS Table* [Other Policies and Guidance]. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaq-table>
- US EPA, O. (2020, Ekim 28). *Research on Health Effects from Air Pollution* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/air-research/research-health-effects-air-pollution>
- USEPA. (2002). *Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites*.
- Uyar, A., Çabuk, H., Uyar, G., Ören, M., & Alataş, M. (2020). Trace Metal Profiles of Human Hair and Nail Samples Collected from Urban and Rural Areas of Zonguldak, Turkey. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 915-924. <https://doi.org/10.29130/dubited.641006>
- Vaizoğlu Acar, S., Evci Kiraz, E. D., Güler, Ç., Babayigit, M., & Tekbaş, Ö. F. (2011). Halk sağlığı uzmanlık eğitiminde çevre sağlığı eğitimi: Kavramsal çerçeve. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 10(6), Article 6.
- Van den Berg, R. (1995). *Human Exposure to Soil Contamination: A Qualitative and Quantitative Analysis towards Proposals for Human Toxicological Intervention Values*.
- Velicangil, D. S. (1980). *Koruyucu ve Sosyal Tıp*. Filiz Kitabevi.

- Wei, Y., Zhang, J. J., Li, Z., Gow, A., Chung, K. F., Hu, M., Sun, Z., Zeng, L., Zhu, T., Jia, G., Li, X., Duarte, M., & Tang, X. (2016). Chronic exposure to air pollution particles increases the risk of obesity and metabolic syndrome: Findings from a natural experiment in Beijing. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 30(6), 2115-2122. <https://doi.org/10.1096/fj.201500142>
- Weschler, C. J., & Shields, H. C. (1998). *Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles* (CONF-980632-). Article CONF-980632-. <https://www.osti.gov/biblio/679338>
- Whitby, K. T., Charlson, R. E., Wilson, W. E., Stevens, R. K., & Lee, R. E. (1974). The Size of Suspended Particle Matter in Air. *Science*, 183(4129), 1098-1100.
- WHO. (2000). *Air quality guidelines for Europe*. World Health Organization.
- WHO. (2005). *Air quality guidelines global update*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>
- WHO, W. H. O. (2003). *The World health report: 2003 : shaping the future*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/42789>
- Wilson, W. E., & Suh, H. H. (1997). Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 47(12), 1238-1249. <https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464074>
- Wirnkör, A. V., Ngozi, V. E., Medo, A. C., Chioma, L. K., Ngozi, U. S.-M., & Christian, E. E. (2019). Biomonitoring of Heavy Metals in Blood and Urine of African Children from OwerriMetropolis, Eastern Nigeria. *Journal of Chemical Health Risks*, 9(1), Article 1.
- Wong, C. S. C., Li, X. D., Zhang, G., Qi, S. H., & Peng, X. Z. (2003). Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China. *Atmospheric Environment*, 37(6), 767-776. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00929-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00929-9)
- Yatkin, S., & Bayram, A. (2007). *İZMİR HAVASINDA PARTİKÜL MADDE KİRLİLİĞİ: ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRME*.
- Yerli, C., Çakmakci, T., SahiN, U., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114. <https://doi.org/10.46810/tdfd.718449>
- Yılmaz, M. (2018). Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2011 ile 2015 Yılları Arasındaki Partikül Madde ve Kükürt Dioksit Ölçümlerinin Değerlendirilmesi. *Konuralp Tıp Dergisi*, 10(3), 305-310. <https://doi.org/10.18521/ktd.299553>
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., & Posmentier, E. S. (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of The Total Environment*, 355(1), 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026>
- Zararsız, A., & Öztürk, F. (2020). Estimation of Health Risks Associated with Household Dust Contamination in Bolu (Turkey). *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.29130/dubited.706362>
- Zencirci, S. A., & Işıklı, B. (2017). *TÜRK DÜNYASI UYGULAMA ve ARAŞTIRMA MERKEZİ HALK SAĞLIĞI DERGİSİ*.
- Zhai, Y., Liu, X., Chen, H., Xu, B., Zhu, L., Li, C., & Zeng, G. (2014). Source identification and potential ecological risk assessment of heavy metals in PM<sub>2.5</sub> from Changsha. *Science of The Total Environment*, 493, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.106>
- Zheng, M., Wan, T. S. M., Fang, M., & Wang, F. (1997). Characterization of the non-volatile organic compounds in the aerosols of Hong Kong—Identification, abundance and origin. *Atmospheric Environment*, 31(2), 227-237. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(96\)00173-2](https://doi.org/10.1016/1352-2310(96)00173-2)

Zheng, N., Liu, J., Wang, Q., & Liang, Z. (2010). Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. *Science of the Total Environment*, 408(4), 726-733. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.075>

