

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARI ATMOSFERİ PARTİKÜL
MADDELERİNDE (PM₁ ve PM₁₀) BULUNAN Fe, Pb,
Cr, Zn ve Cd İÇERİKLERİNİN TAYİN EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinem KAYGALDURAK

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA
Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA
Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Şahin DÜNDAR

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADAPAZARI ATMOSFERİ PARTİKÜL
MADDELERİNDE (PM₁ ve PM₁₀) BULUNAN Fe, Pb,
Cr, Zn ve Cd İÇERİKLERİNİN TAYİN EDİLMESİ

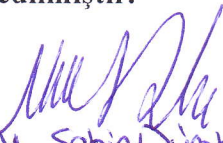
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Sinem KAYGALDURAK


Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA

Bu tez 04/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. M. Sahin Dundar
Jüri Başkanı


Yrd. Doc. Dr. Hüseyin Altunelçi
Üye


Yrd. Doc. Dr. Mehmet İşleyen
Üye

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarım süresince fikirleriyle beni yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Şahin DÜNDAR'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm deneysel çalışmalarım boyunca destek, her türlü malzeme ve madde konularında yardımlarını esirgemeyen hocam Araş. Gör. Can Serkan KESKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Birlikte çalışmalar gerçekleştirdiğim ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım Özlem YILMAZCAN'a teşekkür ederim.

Bana hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme çok teşekkür ederim.

Ayrıca tanıdığımdan bugüne kadar bana maddi ve manevi desteğiyle her zaman destek olan eşim Metin KAYGALDURAK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	Xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Hava Kirliliği.....	4
2.1.1. Hava kirliliğine neden olan kirleticiler.....	5
2.1.2. Hava kirliliği kaynakları.....	6
2.1.2.1. Şehirleşmeden kaynaklanan hava kirliliği.....	7
2.1.2.2. Meteorolojik faktörlerden kaynaklanan hava kirliliği.....	7
2.1.2.3. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği.....	8
2.1.2.4. Sanayiden kaynaklanan hava kirliliği.....	9
2.1.3. Hava kirliliğinin taşınması ve birikimi.....	10
2.1.4. Hava kirliliğinin etkileri.....	12
2.1.5. Hava kirliliğine karşı alınan önlemler ve mevcut durum.....	13
2.2. Partikül Madde.....	16
2.2.1. Partikül kaynakları ve oluşumu.....	17

2.2.2. Partikül boyutları	21
2.2.3. Partikül maddelerin insan sağlığına etkileri.....	26
2.3. Ağır Metaller.....	32
2.3.1. Kurşun.....	33
2.3.2. Kadmiyum.....	36
2.3.3. Demir.....	38
2.3.4. Çinko.....	39
2.3.5. Krom.....	41
2.4. Sakarya İli Hakkında Genel Bilgi.....	42
2.4.1. Nüfus.....	42
2.4.2. Tarım.....	43
2.4.3. İklim yapısı.....	44
2.4.4. Sanayi.....	45
2.4.5. Çevre sorunları ve alınan önlemler.....	46
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOD.....	48
3.1. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi.....	48
3.1.1. Alevli atomik absorpsiyon spektrometresi.....	49
3.1.1.1. Işın kaynağı.....	49
3.1.1.2. Alev atomlaştırma.....	50
3.1.1.3. Alev tipleri.....	50
3.1.1.4. Monokromatör.....	51
3.1.1.5. Detektörler.....	51
3.1.1.6. Girişimler.....	51
3.2. Numunelerin Toplanması.....	53
3.3. Numunelerin Hazırlanması.....	55
3.4. Standart Çözeltilerin Hazırlanması.....	56
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR.....	59
BÖLÜM 5.	

TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	88

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometre
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AD	: Asya tozu
cm	: Santimetre
dak	: Dakika
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
FAAS	: Alevli atomic absorpsiyon spektrometre
g	: Gram
h	: Saat
HKKY	: Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği
ICP-OES	: İndüktif eşleşmiş plazma – Optik emisyon spektrometre
K.K.B.	: Kuzey.Kuzey Batı
K.K.D.	: Kuzey.Kuzey Doğu
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
m	: Metre
M	: Molar
mA	: Miliamper
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
ng	: Nanogram
nm	: Nanometre
O.S.B.	: Organize sanayi bölgesi
PAH	: Poliaromatik hidrokarbon

PCB	: Poliklorlu bifenil
PM	: Partiküler madde
PM ₁	: Çapı 1 µm'den küçük partiküler madde
PM _{2,5}	: Çapı 2,5 µm'den küçük partiküler madde
PM ₁₀	: Çapı 10 µm'den küçük partiküler madde
ppb	: Milyarda bir
RSD	: Bağıl standart sapma
sn	: Saniye
V	: Volt
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
µ	: Mikro
µg	: Mikrogram
µm	: Mikrometre
C	: Santigrat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Hava kirliliğinin kimyasal taşınma şeması.....	12
Şekil 2.2.	Partikül madde kirlilik kaynakları.....	19
Şekil 2.3.	PM boyutunun, insan saçı ve plaj kumu ile karşılaştırılması....	23
Şekil 2.4.	Atmosferdeki partikül boyutunun olası kütleli dağılımı.....	25
Şekil 2.5.	Partikül maddelerin akciğerler üzerindeki etkisi.....	28
Şekil 2.6.	Kandaki kurşunun çocuklar ve yetişkinler üzerine etkisi.....	36
Şekil 2.7.	Sakarya iline bağlı ilçelerin 2008 nüfus dağılımı.....	43
Şekil 2.8.	Sanayi alanı bazında firma ve çalışan sayısı dağılımı.....	46
Şekil 3.1.	Alevli atomik absorpsiyon spektrometre (FAAS) cihazının genel görünümü.....	48
Şekil 3.2.	Oyuk katot lambası.....	49
Şekil 3.3.	Numune alınan bölgeler (Google Earth'ten alınmıştır).....	54
Şekil 3.4.	Isleworth Gravimetric Type 113A hava toz örnekleyicisi.....	54
Şekil 3.5.	Krom metaline ait kalibrasyon eğrisi.....	56
Şekil 3.6.	Demir metaline ait kalibrasyon eğrisi.....	57
Şekil 3.7.	Kurşun metaline ait kalibrasyon eğrisi.....	57
Şekil 3.8.	Çinko metaline ait kalibrasyon eğrisi.....	58
Şekil 4.1.	Aylar ve bölgeler bazında toplanan PM ₁ partiküler madde toz miktarları (mg).....	60
Şekil 4.2.	Aylar ve bölgeler bazında toplanan PM ₁₀ partiküler madde toz miktarları (mg).....	60
Şekil 4.3.	PM ₁ toz örneklerinin bölge bazında ağır metal derişimleri.....	61
Şekil 4.4.	PM ₁₀ toz örneklerinin bölge bazında ağır metal derişimleri.....	61
Şekil 4.5.	PM ₁ toz örneklerinin ay bazında ağır metal derişimleri.....	64

Şekil 4.6.	PM ₁₀ toz örneklerinin ay bazında ağır metal derişimleri.....	64
Şekil 5.1.	Bölgelerin PM ₁ ve PM ₁₀ ortalama kütle konsantrasyonları.....	77

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Hava kirliliğine sebebiyet veren bazı sanayi çeşitleri.....	10
Tablo 2.2.	Hava kalitesi koruma yönetmeliği hedef sınır değerleri.....	14
Tablo 2.3.	Oluşum şekillerine göre partikül maddeler.....	18
Tablo 2.4.	4 yaş grubu çocuklarda WHO'nun ülkelerdeki hava kirliliğinden dolayı ölüm sınırı.....	29
Tablo 2.5.	Hava kalitesi indeksi için geliştirilen değerler ve renkler kategorisi.....	29
Tablo 2.6.	WHO tarafından hazırlanan 24 saatlik PM derişiminin sağlık üzerindeki etkisi.....	31
Tablo 2.7.	Bazı ülkelerde uygulanan PM sınır değerleri.....	32
Tablo 2.8.	Sakarya ili aylık nisbi nem oranları (2008 yılı).....	44
Tablo 2.9.	Sakarya ili aylık nisbi sıcaklıkları (⁰ C) (2008 yılı).....	44
Tablo 2.10.	Sakarya ili aylık rüzgar hız verileri (2008 yılı).....	44
Tablo 3.1.	Alevlerin özellikleri.....	50
Tablo 3.2.	Numune toplanan aylara ait ortalama meteorolojik veriler.....	55
Tablo 3.3.	Alevli AAS ile ilgili çalışma şartları.....	56
Tablo 4.1.	Aylar ve bölgeler bazında toplanan PM ₁ ve PM ₁₀ partiküler madde toz miktarları (mg).....	59
Tablo 4.2.	PM ₁ toz örneklerinin bölgelere ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$).....	62
Tablo 4.3.	PM ₁₀ toz örneklerinin bölgelere ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$).....	62
Tablo 4.4.	PM ₁ toz örneklerinin aylara ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$).....	66

Tablo 4.5.	PM ₁₀ toz örneklerinin aylara ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \% \text{RSD}$).....	66
Tablo 4.6.	PM ₁ tanecik boyutlarının bölge ve aylar bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	67
Tablo 4.7.	PM ₁₀ tanecik boyutlarının bölge ve aylar bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	69
Tablo 4.8.	PM ₁ tanecik boyutlarının aylar ve bölgeler bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	71
Tablo 4.9.	PM ₁₀ tanecik boyutlarının aylar ve bölgeler bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	72
Tablo 4.10.	PM ₁ ve PM ₁₀ tanecik boyutlarında örnekleme bölgelerine ve aylara göre elementel derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	73
Tablo 5.1.	PM ₁ ve PM ₁₀ kütle konsantrasyonu ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	76
Tablo 5.2.	Çalışmanın literatür örnekleri ile karşılaştırılması.....	78

ÖZET

Anahtar kelimeler: Partikül madde, Ağır metal, AAS, PM₁, PM₁₀, Adapazarı.

Avrupa'da hava kalite standartları partiküler madde boyutları 2,5 ve 10 µm olan tanecikler için geliştirilmiştir. Analizler neticesinde 2,5 µm partiküler madde boyutunun yeterli bilgiyi sağlamadığı dolayısıyla yerine 1 µm tanecik boyutunun analiz edilmesinin farklı kirlilik kaynakları arasında daha iyi ayırım sağlayacağı görüşü oluşmuştur.

Bu çalışmada, araştırma bölgesi olarak Sakarya ilinin Serdivan ilçesi (Üniversite Kampüsü) ve Adapazarı ilçesinden (Şehir Merkezi, Ozanlar, Yeşiltepe) dört bölge belirlenmiştir. Haziran-2009'dan Kasım-2009'a kadar olan sürede, 2 saatlik periyotlarda duplike olarak, PM₁ ve PM₁₀ boyut aralıklarında toplam 96 adet atmosferik partikül örneği toplandı. Numune toplama işleminde Isleworth Gravimetric Type 113A hava toz örnekleyicisi kullanıldı. Toplanan numuneler, nitrik asit ve perklorik asit ile muamele edilerek, 90 °C de 1 saat ısıtıldı. Parçalandıktan sonra mavi bant süzgeç kağıdı ile süzüldü. Son olarak örnekler, Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometresi cihazında analiz edildi. Numunelerde Fe, Pb, Zn, Cr, ve Cd elementlerine bakıldı. Cd elementi kantitatif tayin limitinin altında olduğu için tespit edilemedi.

Elde edilen verilere göre, PM₁ için Fe ve Pb elementleri sırasıyla 2,918 µg m⁻³ ve 0,153 µg m⁻³ ile Ağustos ayında Yeşiltepe bölgesinde, Cr elementi 0,049 µg m⁻³ ile Ekim ayında Kampüs bölgesinde ve Zn elementi ise 4,805 µg m⁻³ olarak Haziran ayında Kampüs bölgesinde en yüksek değerlerde tespit edilmiştir. PM₁₀ için Fe ve Zn elementleri sırasıyla 5,460 µg m⁻³ ve 7,245 µg m⁻³ ile Haziran ayında Kampüs bölgesinde, Pb elementi 0,750 µg m⁻³ ile Kasım ayında Kampüs bölgesinde ve Cr elementi ise 0,106 µg m⁻³ olarak Haziran ayında Kampüs bölgesinde en yüksek değerlerde tespit edilmiştir.

DETERMINATION OF Fe, Pb, Cr, Zn AND Cd CONTENTS IN PM₁ AND PM₁₀ AIRBORNE PARTICULATE MATTERS IN ADAPAZARI

SUMMARY

Keywords : Particulate matter, Heavy metal, AAS, PM₁, PM₁₀, Adapazari.

Air quality standards are developed for particulate matters of 2.5 and 10 μm sizes in Europe. But according to the analysis results, particulate matter which has a 2.5 μm size can not provide enough information. Consequently, instead of analysing 2.5 μm , 1 μm particulate matter produces more useful information for understanding differences between pollution sources.

In this study, Serdivan (University Campus) and Adapazari towns (City Center, Ozanlar, Yeşiltepe) of the province of Sakarya as the research area were determined. Particulate matters of 1 and 10 μm sizes were sampled for 2 hour intervals in duplicate between June 2009 and November 2009. Isleworth Gravimetric Type 113A air dust sampler was used for collecting samples. The collected samples were treated with nitric acid and perchloric acid and then heated 1 hour at 90 $^{\circ}\text{C}$. After digestion, supernatant was filtered through blue band filter paper. Finally, the samples were analyzed for Fe, Pb, Zn, Cr, and Cd elements by using Flame Atomic Absorption Spectrometer. Cadmium was below the limit for quantitative determination.

According to data recorded, the highest values of PM₁ for Fe and Pb elements were 2.918 $\mu\text{g m}^{-3}$ and 0.153 $\mu\text{g m}^{-3}$ in August in Yeşiltepe region, respectively. Cr element was measured as 0.049 $\mu\text{g m}^{-3}$ in October in the Campus area and Zn element as 4.805 $\mu\text{g m}^{-3}$ in June in the Campus area. The highest values of PM₁₀ for Fe and Zn were 5.460 $\mu\text{g m}^{-3}$ and 7.245 $\mu\text{g m}^{-3}$ in June in the Campus area respectively. Pb element was found as 0.750 $\mu\text{g m}^{-3}$ in November in the Campus area and Cr element was measured as 0.106 $\mu\text{g m}^{-3}$ in June in the Campus area.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hava kirliliği; soluduğumuz dış havada kükürt dioksit (SO₂), partiküler madde (PM), nitrojen oksitleri (NO_x) ve ozon (O₃) gibi kirleticilerin çevre ve sağlık üzerinde olumsuz etkiler yapacak düzeyde olması şeklinde tanımlanabilir [1]. Hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığına etkileri dikkate alındığında, “Partiküler Madde” veya “PM” atmosferik kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Kimyasal yapısı itibariyle PM elementel ve organik karbon bileşiklerini, silikon oksitleri, metalleri, sülfat ve nitrat bileşiklerini içermektedir [2]. Bu kirlilik atmosferde doğal süreçleri bozmakta ve toplum sağlığını olumsuz yönde etkilemekte olup, dünyada son 30 yıldır hava kirliliği düzeyleri düzenli olarak izlenmesine ve mücadele edilmesine rağmen, özellikle büyük metropollerde kirlilik düzeyleri halen güvenli kabul edilen sınırların üzerinde seyretmektedir. 1980’li yıllara kadar dünyada 1,3 milyar kişinin hava kalite standartlarının üstünde kirlilik içeren şehirlerde yaşadığı saptanmıştır.

Hava kirliliği, dünya genelinde özellikle endüstriyel tesislerden, konutlarda ısınma amaçlı yakıt tüketiminden ve motorlu taşıt egzozlarından kaynaklanmaktadır. Dünyada hava kirlitici emisyonlarında 2030 yılına kadar beş katlık bir artış beklenmektedir. Özellikle gelişmekte olan bölgelerde hızlı kentleşme ve enerji tüketiminin artışı ile birlikte kirlilik de artmaktadır [1].

İnsan kaynaklı işlemler sonrasında atmosfere yayılan zehirli ve zararlı metallerin biyosferde taşınabilir hale gelmesi, bu metallerin jeokimyasal döngüsü açısından önem arz etmektedir. Kentlerde birçok sabit ve hareketli kaynaktan (endüstriyel faaliyetler, enerji üretimi, inşaat, şehir atık arıtımı, egzoz gazları vs.) önemli miktarlarda zehirli metal atmosfere, toprağa ve su sistemlerine doğal emisyon

oranlarını aşan miktarlarda salınmaktadır. Metallerin atmosfer döngüsüne karışmaları partikül emisyon işlemleriyle yakından ilgilidir. Atmosferik metallerin en zehirli olanlarının (Cd, Cu, Ni, Pb, Cr, ve Zn) atmosfere yayılmasında insan kaynaklı emisyonlar, doğal kaynaklı olanlardan çok daha fazla önemlidir [2].

Partikül maddelerin neden olduğu hava kirliliği olaylarının en önemlilerinden biri pek çok Asyalı insanın her yıl ilkbaharda maruz kaldığı Asya Tozu (Asian Dust-AD) veya Sarı Kum olarak adlandırılan olaydır. Olayın en yoğun olduğu mevsim ilkbahar ay ise nisandır. Son zamanlarda AD olayının gerçekleştiği gün sayısı ve AD olayı süresince oluşan PM konsantrasyonunda belirgin bir artış olmuştur. Toprak kayıplarındaki hızlı artış ve hızlı endüstrileşmeden kaynaklanan yeşil alan kaybı, orman yangınları, Çin ve Mongolya'daki ormanların yok edilmesi son zamanlardaki artışlara belirgin olarak katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte kurak bölgelerin genişlemesi, bölgesel meteorolojik değişimler veya küresel ısınmaya neden olan değişimler AD olayının şiddetini arttırmıştır. AD insanlarda görüş azalması, solunum hastalıkları ve göz problemlerine neden olduğu gibi hayvan ve bitkilere de zararlar vermektedir [3].

Zehirlilik ve insan sağlığına etkileri açısından bakıldığında, PM için ayrı bir sınıflandırma yapılması önerilmektedir [4]. Partikül maddelerin sağlık ve çevre üzerine etkisinde; partikül sayısı, boyutu veya yüzeyi gibi fiziksel özellikleri ve partikülün kimyasal kompozisyonu önemli rol oynar [3]. Temel olarak sadece 10 µm aerodinamik çaptan daha küçük partiküller (PM₁₀) solunum yolu ile yutulabilir. Ancak akciğerlerdeki alveolar bölgeye çoğunlukla 2,5 µm aerodinamik çaptan daha küçük partiküller (PM_{2,5}) ulaşabilmektedir. Bu partiküller alveolar bölgede tutunarak insan sağlığı üzerinde yan etkilere neden olabilirler ve bilimsel açıdan özel bir ilgi ile izlenirler [2].

Literatürdeki partikül maddeler ile ilgili çalışmalara bakıldığında, örneğin 2005 yılında Yatkin ve arkadaşlarının bir yıl süresince Türkiye'nin İzmir şehrinde yaptığı çalışmada, şehir merkezi ve merkeze uzak bir bölgeden numune toplanmıştır.

Partikül maddelerin ($PM_{2,5}$ ve PM_{10}) ölçümleri için ICP-OES cihazı kullanılmıştır. Sonuçların mevsimlere göre değişimleri değerlendirilmiştir [5].

Lopez ve arkadaşları 2002 yılında bir yıl süresince İspanya'nın Zaragoza şehrinde yaptığı çalışmada, trafiğin yoğun olduğu bölgeden numune toplanmıştır. PM_{10} partikülünün içerdiği 16 elementin derişim değerleri ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre Zaragoza'nın hava kalitesinin ve insan sağlığına etkileri incelenmiştir [6].

Yine Vinitketkumnuen ve arkadaşları tarafından 1999 yılında Tayland'ın Chiang Mai şehrinde $PM_{2,5}$ ve PM_{10} seviyelerinin ölçülenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Chiang Mai şehrindeki partikül madde seviyeleri ve insanlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir [7].

Bu çalışmanın amacı, Sakarya ilinin Serdivan ilçesi (Üniversite Kampüsü) ve Adapazarı ilçesinden (Şehir Merkezi, Ozanlar, Yeşiltepe) toplanan PM_1 ve PM_{10} örneklerindeki Cd, Cr, Zn, Pb ve Fe elementlerinin tayin edilmesi ve 1 μm ve 10 μm boyutundaki partikül maddelerin taşımış olabilecekleri ağır metal yüklerinin insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlarda olup olmadıklarının gösterilmesi şeklinde özetlenebilir.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Hava Kirliliği

Atmosferi oluşturan gazların karışımı olan hava, normal koşullarda azot (%78,09), oksijen (%20,95), argon (%0,93), karbondioksit (%0,03) ve çok düşük oranlarda bulunan diğer bazı gazları içerir. Atmosferin içerdiği su buharı miktarı da bölgelere ve atmosferik koşullara bağlı olarak değişimler gösterir. Normal havanın canlılara ve doğaya zarar verici hale gelmesi kirlenici denilen unsurların fazlalaşmasıyla olur [8]. Buna göre, hava kirliliği, “atmosferde toz, duman, is, buhar ve koku gibi kirlenicilerin, insan sağlığına, bitki ve hayvan yaşamına zarar verecek miktar, özellik ve sürelerde bulunması yada kirlenicilerin canlılara rahatsızlık verecek düzeylere yükselmesi” şeklinde tanımlanabilir [9,10].

Dünya'daki nüfus artışı, hızlı kentleşme ve sanayideki yapılanmalar sonucu oluşan ve doğal kaynakları tehdit eden hava kirliliği, çevrenin en önemli sorunlarından birisi olmuştur. Ciddi sağlık etkilerine yol açan hava kirliliği olayları incelendiğinde bunların çoğunlukla ısınma mevsiminde antisiklonik basınç sistemlerinin egemen olduğu atmosferik şartlar altında ortaya çıktıkları görülür. Bu koşullar altında ısınma ve endüstriyel aktivitelerle yoğun bir şekilde üretilen emisyonlar çevrede çok yüksek seviyede konsantrasyonların meydana gelmesine yol açmıştır.

Özellikle, 1980 yılından beri, ülkemizin, İstanbul, İzmir ve Ankara gibi yaklaşık 20 büyük şehrinde, Hava Kalitesi Koruma Yönetmeliği'nde (HKKY) belirtilen kış ortalamaları sınır değerler aşılmaktadır. Bunda, çevreye olumsuzluğu dikkate alınmadan sanayi tesislerinin kurulması ve teknolojik gelişmelerin, ekolojik denge ile bütünlüğünü sağlanmadan uygulanması, en başlıca etkenlerdir [10].

Hava kirliliği ile ilgili ilk önemli olay Belçika'da meydana gelmiştir. Aralık 1930'da Belçika'nın 25 km uzunluğundaki Meuse Vadisi'nde şiddetli bir inversiyon (sıcaklığın yükseklikle artması) kirleticileri tutmuştur. Üç gün süre ile meydana gelen episod (şiddetli hava kirliliği olayı) sonrasında 600'den fazla kişi hastalanmış ve 63 kişi ölmüştür. ABD Pennsylvania eyaletinde bulunan Donara şehrini, 1948 yılında çok yoğun bir sis ve duman tabakası kaplamıştır. Dar bir vadide kurulmuş olan şehirde, çeşitli endüstri tesisleri bulunmaktadır. Nüfusu 14.000 olan Donara'da, beş gün içinde 6.000 kişi hastalanmış ve 20 kişi ölmüştür [11]. Bu olayda hastalanmış olan grup uzun dönemde izlendiğinde, gruptaki erken ölüm sıklığının, kentteki diğer gruplardakinden çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir [12].

Londra'da 5-13 Aralık 1952'de görülen hava kirlenmesi, bu konudaki en çarpıcı örneklerden birisidir. Kirliliğin meydana geldiği süre içinde rüzgar hızının azalıp rutubetin yükselmesi üzerine, endüstri ve taşıtların havaya kattığı zararlı maddeler şehir havasında toplanmış ve bunların su buharıyla birleşmesi sonucunda "smog" diye adlandırılan zehirli bir sis tabakası ortaya çıkmıştır. Zehirli sis tabakasının etkisiyle, Londra'da bir hafta içinde 4.000 kişi ölmüş, çok sayıda insan da hastalanmıştır. Ölüm, her yaş grubunda görülmekle birlikte, daha çok 45 ve üzeri yaş grupları arasında ortaya çıkmıştır. Ölenlerin %80'inden fazlasının, daha evvel kalp ve solunum sistemi hastalığına sahip olan kişiler olduğu belirlenmiştir. Hava kirliliğinin devam ettiği süre içinde partikül madde ve kükürt dioksit miktarlarının, daha evvelki günlere göre dokuz kat arttığı saptanmıştır [9, 13].

2.1.1. Hava kirliliğine neden olan kirleticiler

Yerkabuğuna yakın atmosfer katında (troposfer), doğal, yapay, fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardan kaynaklanan nem ve karbondioksitin yanı sıra, daha çok insan etkinlikleri ile ilişkili olan kükürt dioksitler, karbon monoksit, azot oksitleri, ozon, hidrokarbon buharları ve süspanse katı veya sıvı damlacıkları da yer alır. Bu maddelerin havadaki miktarları azot ve oksijen gibi sabit olmayıp, zaman ve mekan içinde değişkendir. Havada yalnızca milyonda bir kısım mertebesinde bulunan bu gazlar ile sıvı veya katı maddeler buldukları yerdeki koşullara bağlı olarak hava

kirlenmesine neden olurlar. Atmosferde gazların dışında sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamında askıda durmasıyla oluşan partiküller de bulunmaktadır. Hava kirleticileri kısaca; havanın doğal bileşimini değiştiren gaz, sıvı veya katı haldeki kimyasal maddelerdir. Kirleticiler 4 grupta sınıflandırılabilir.

- i. Gaz kirleticiler (SO₂, NO_x, CO, O₃, VOC)
- ii. Kalıcı organik kirleticiler
- iii. Ağır metaller
- iv. Partiküler madde

Yukarıda sıralanan kirleticiler maddelerin bazıları, doğrudan doğruya kirleticiler kaynaktan atıldıkları şekilde hava içinde bulunurlar. Birincil kirlenmeyi oluşturan bu kirleticiler, “Birincil Kirleticiler” olarak adlandırılır. Bu gazlar, atmosferde bulunan oksitleyici ozon maddesiyle ve fotokimyasal tepkimelerle daha ileri oksitlenme seviyelerine yükseltgenebilirler. Böylece oluşan ara maddeler atmosferdeki su buharı ile birlikte sülfürik asit, nitrik asit, karbonik asit gibi doğaya zarar veren ürünleri oluşturarak asit yağmurlarına neden olurlar. Bu oluşuma da “İkincil Kirlenme” denir [13,14].

2.1.2. Hava kirliliği kaynakları

Hava kirliliği kaynakları; doğal ve yapay olma özelliklerine göre sınıflandırılırlar.

Doğal Kaynaklar; Volkan faaliyetleri, orman yangınları, çiçek polenleri ve mantar sporlarını içerir.

Yapay Kaynaklar; Hammaddeleri, insanların kullanımına sunabilmek için gereken süreçler sonucunda oluşan kaynaklardır. Yapay kaynaklar, “Sabit Kaynaklar” ve “Hareketli Kaynaklar” olmak üzere ikiye ayrılır.

- i. **Sabit Kaynaklar:** Katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması ile veya herhangi bir üretim süreci esnasında oluşan kirleticilerin bir baca yoluyla atmosfere emisyonun yayıldığı kaynakları içermektedir.
- ii. **Hareketli Kaynaklar:** Kara, deniz ve hava taşıtlarının egzozlarından atmosfere verilen hava kirleticilerdir [14, 15].

2.1.2.1. Şehirleşmeden kaynaklanan hava kirliliği

Son yıllardaki hızlı şehirleşme, hava kirliliğinin en önemli nedenlerinden birisidir. Konutların ve iş yerlerinin ısınması amacıyla kullanılan fuel oil ve kömürün yanması sonucu, atmosfere kükürt dioksit, azot oksitler ve karbon monoksit gibi gazlarla birlikte, yanmamış yakıt dumanı, sis ve kurum yayılmaktadır [9].

Şehirlerdeki hava kirliliği sadece nüfus yoğunluğuna bağlı olmayıp, aynı zamanda şehrin topografik ve iklimsel koşullarının da etkisindedir. Zira kirleticilerin çoğu troposfer tabakasında bulunurlar. Dolayısıyla antropojenik etkiler de bu tabakada yoğunlaşmıştır. Şehrin uygun olmayan bölgeye kurulması, yeşil alan azlığı hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Uygun olmayan çukur bölgelerde kurulmuş şehirlerde, kent içi hava sıcaklığı yerden yukarıya doğru düzensizlikler gösterir. Dolayısıyla, bu durum şehir üzerinde yüksek oranda gaz ve toz konsantrasyonuna sahip bir “Toz Kubbesi” oluşmasına neden olur [8].

2.1.2.2. Meteorolojik faktörlerden kaynaklanan hava kirliliği

Hava sıcaklığı, orantılı nem, sis oluşumu, inversiyon olayı, yağmur veya kar yağışları, atmosfer basıncı, rüzgar yönü ve hızı, güneşlenme süresi ve güneş ışınlarının şiddeti, hava kirlenmesinde önemli rol oynar. Bu faktörler, kirleticilerin miktar olarak artmasında ve azalmasında, birikme ve taşınmasında, kimyasal olarak form değiştirmesinde etkili olmaktadır.

Şehirlerin havası, yatay ve dikey atmosfer hareketleriyle temizlenmektedir. Yatay atmosfer hareketlerini rüzgarlar, dikey hareketleri de atmosferin sıcaklık profili meydana getirmektedir. Büyük şehirlerin etrafı tepeler ve dağlarla çevrili olduğunda rüzgarın etkisi azalmaktadır. Bu özellikteki yerlerde havanın temizlenmesi, dikey atmosfer hareketleriyle sağlanabilmektedir. Atmosferin yeryüzüne yakın olan kısımlarında ısınan hava, yukarıya doğru çıkarken bir hava cereyanı meydana getirir. Bu hava hareketi yüzünden, zehirli bileşikler ve parçacıklar atmosferin üst kısımlarına doğru taşınır ve kirlilik daha geniş bir ortama yayılır.

Meteorolojik faktörler bazen sıcaklık profilini bozar ve profil tersine dönebilir. Buna “**sıcaklık inversiyonu**” denir. İversiyonun meydana geldiği troposfer tabakasında, soğuk hava alt kısımda, sıcak hava ise üst kısımda kalır. Bu koşullarda, dikey hava hareketleri belirli bir yükseklikte durur ve kirli hava birikimi oluşur. İversiyonun olduğu tabaka, kirli havanın dağılmasına mani olan bir perde gibi işlev görür. Sıcaklık inversiyonunun olduğu yerlerde, rüzgar esintileri de az olursa kirlilikten kaynaklanan sorunlar önemli düzeylere çıkabilir [9].

2.1.2.3. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği

Şehirlerde ısınmadan kaynaklanan kirlilik kadar, nüfus ve gelir düzeyinin yükselmesine paralel olarak artan motorlu taşıtların neden olduğu zararlı egzoz gazları da önlem alınması gereken önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır [14]. Modern yaşamın bir parçası haline gelmiş olan kara, deniz ve hava ulaşım araçlarında kullanılan katı, sıvı ve gaz yakıtların tam veya kısmi yanmaları sonucunda havaya karışan kirleticiler çevrenin kirlenmesine yol açmaktadır [9]. Benzinli ve dizel taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin, özellikle nüfus ve trafiğin yoğun olduğu büyük kent merkezlerinde çevreye verdiği zararlar çok daha fazla olmaktadır.

Motorlu kara taşıt araçlarında egzoz gazı çıkışları yer seviyesine çok yakın olduğundan, atmosfere atık gaz emisyonu yayan diğer kirletici kaynaklara göre çok

daha büyük oranda zararlara sebebiyet vermektedir. Bu emisyonlar canlıların solunum yollarında ve kanda çeşitli rahatsızlıklara neden olabilmektedir.

Egzoz kaynaklı kirleticiler iki grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi; benzinli araçların egzoz gazlarından çıkan yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitleri (NO_x) ve kurşundur (Pb). İkincisi ise; dizel araçların egzoz gazlarından çıkan yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO_2) ve partiküller maddelerdir.

Dizel motorlar, benzinli araçlara göre atmosfere daha az CO_2 ve HC emisyonları verirken. SO_2 ve NO_x emisyonlarını daha fazla atmosfere vermektedir. Herhangi bir önlem alınmamış dizel motoru, benzin motoruna kıyasla daha az çevre kirliliği yaratmaktadır. Ancak gerekli önlemler alındığında çevre kirliliği, benzin motorlarında daha etkili bir şekilde azaltılabilmektedir. Bu nedenle taşıt araçlarındaki çevre kirliliği önleme çalışmaları daha çok benzin motorlu araçlarda yoğunlaştırılmalıdır [14].

2.1.2.4. Sanayiden kaynaklanan hava kirliliği

Kalkınmanın ana sektörlerinden birisi olan sanayi ile çevre arasında çok yönlü ve birbirini etkileyen çok sıkı bir ilişki olup, bu etkileşimin yarattığı olumlu sonuçlar yanında, çevre koruma açısından önlemler alınmadığı ve uygun teknolojiler kullanılmadığı takdirde çevre üzerinde olumsuz sonuçlar doğuran bir kirlilik sorunu ortaya çıkmakta, giderek kaynakların tahribine, çevrenin hızla kirlenmesine ve sanayi sektöründen beklenen yararların giderek azalmasına neden olmaktadır.

Sanayi tesisleri kurulurken yer seçiminde sadece ekonomik kolaylıklar açısından özendirici faktörlere ağırlık verilmesi de hava kirliliğinin olumsuz etkilerini artırmaktadır. Bunun yanında sanayi tesislerinin yer seçiminin yanlış yapılması, çevre açısından uygun teknolojilerin kullanılmaması, sanayiden kaynaklanan atık gazların yeterli teknik tedbirler alınmadan atmosfere salınması, ekonomik ömrünü

dolduran tesislerin çalıştırılmaya devam edilmesi de hava kirliliğine önemli derecede katkıda bulunmaktadır [13,14].

Tablo 2.1. Hava kirliliğine sebebiyet veren bazı sanayi çeşitleri [9]

Sanayi	Hava Kirleticileri
Gübre	SO ₂ , H ₂ O, CO, NH ₃ , gübre tozları, uçucu küller, partiküller
Demir- Çelik	Baca gazları, duman, aromatik hidrokarbonlar, SO ₂
Kağıt	Baca gazları, toz, duman
Şeker	SO ₂ , toz, duman
Çimento	SO ₂ , toz, çimento artıkları
Tekstil	SO ₂ , toz, duman
Deri	Rahatsız edici kokular, çeşitli kirleticiler
Petrokimya	SO ₂ , duman, hidrokarbonlar, amonyak
Enerji	SO ₂ , NO _x , CO, katı parçacıklar, küller, toz

Kalorisi düşük, kükürt oranı yüksek katı yakıt kullanan termik santrallerde yeterli ölçüde baca gazı partikül madde arıtma ünitesi yok ise, önemli miktarda partikül madde emisyonuna sebep olurlar. Özellikle ağır metal içeren katı yakıtların yanması sonucu ağır metaller gaz fazına geçerler ve bölgede ağır metal kirliliğine neden olurlar [16]. Çimento endüstrisi, kentleri ve kasabaları önemli ölçüde kirleten kireç taşı tozunun en önemli kaynağıdır. Diğer yandan, demir-çelik endüstrisi ve petrol endüstrisi de önemli hava kirliliği kaynaklarıdır [17].

2.1.3. Hava kirliliğinin taşınması ve birikimi

Hava kirleticileri, yoğunluklarının çok az olması nedeniyle çok hızlı hareket edebilme özelliğine sahiptirler. Buna bağlı olarak uygun meteorolojik koşullar altında, bir kaynaktan dış ortama verilen kirletici gaz ve tozlar, hava akımları vasıtasıyla dağılır ve kirleticilerin seyrelmesi sonucunda, kaynak ve çevresindeki hava temizlenir. Bunun yanı sıra bu kirliliğin hava hareketleri ile kentler, ülkeler

hatta kıtalar ötesi taşınması mümkündür. Bu taşınma sırasında kirleticiler, taşınma mesafesi üzerindeki alanlarda da etki gösterirler.

Başlangıçta kirliliğin kentsel alanlardan taşınımı düşünülürken, daha sonraları bu mesafenin yüzlerce kilometreden binlerce kilometreye kadar uzandığı belirlenmiştir. Taşınma menziline göre taşınma periyodunda da değişim söz konusudur.

Kaynaklarından çıkan kirleticiler, atmosferik hava hareketleri ile kentsel alana birkaç saat, bir kentten diğerine bir kaç gün, bir ülkeden diğer ülkeye bir kaç yıl, dünya çapında ise 10 yıl periyodunda dağılarak etkileşim gösterirler.

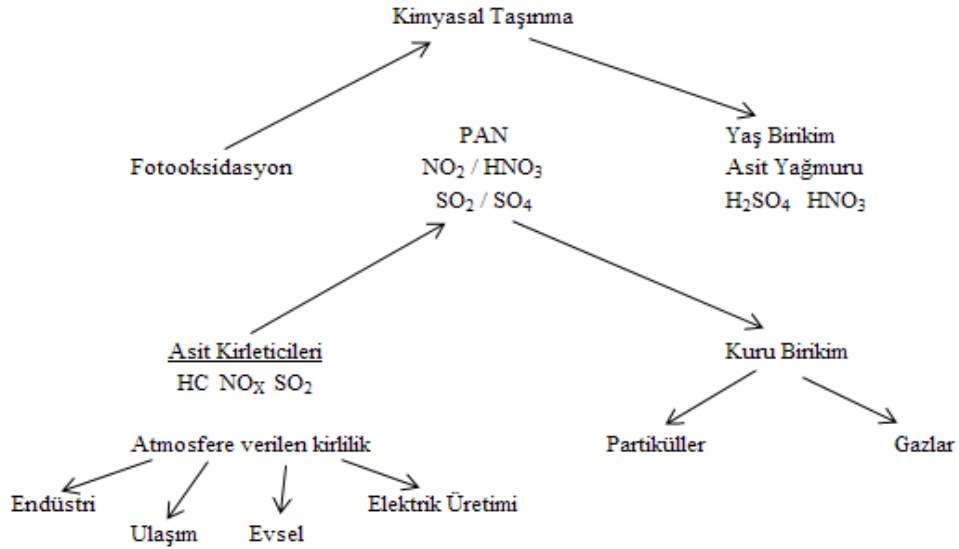
Uzun menzilli taşınmalarda söz konusu olan kirleticilere radyoaktif bulutlar, orman yangını tozları, volkanik dumanlar, çöl tozları, karbondioksit, kloroflorokarbonlar, vb. gazlar örnek olarak verilebilir. Ülkeler arasında taşınabilen kirleticilere örnek olarak ise, kükürt oksitleri, azot oksitleri ve partiküler madde gibi atmosferdeki kalış süreleri bir kaç günden bir kaç haftaya kadar değişen kirleticiler gösterilebilir.

Kirleticiler atmosferde bir süre taşındıktan sonra, çökelme, seyrelme, kimyasal reaksiyonlara girme gibi değişik proseslerle atmosförden uzaklaşarak yeryüzünde toplanırlar. Bu olay "birikim" olarak tanımlanır. Bu kimyasal taşınma sonucunda kirleticiler ortaya çıkmaktadır. Bunlara örnek olarak; SO_4 , NO_3 , oksidant, sülfürlü azotlu bileşiklerden oluşan organik aerosoller verilebilir.

Birikim, yağ ve kuru birikim şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kirleticilerin taşınması fiziksel (kuru birikim) olduğu gibi kimyasal (yağ birikim) veya fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişim aşamalarının tümünün bir arada gerçekleşmesi ile (Dönüşüm ve Uzaklaşma Prosesi = Scavenging Process) mümkündür. Örneğin, kirleticiler partikül yüzeyine tutunarak kuru birikime, kar, yağmur, dolu, çığ gibi hidrometeorlarla yağ birikime uğrayarak yeryüzünde birikirler.

Atmosferde bulunan ve özellikle fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucunda ortama yayılan azot ve kükürt oksitleri, atmosferik nemin etkisi ile asit forma dönüşürler. Bu asit oluşumları; partikül yüzeylerinde tutularak (adsorpsiyon) veya

kar, dolu, yağmur gibi hidrometeorlarla birleşerek (asit aerosolleri) yeryüzünde toplanıp atmosferden uzaklaşırlar. Asit oluşumlarının hidrometeorlarla yeryüzünde toplanma prosesine Asit Birikimi adı verilir [13,18].



Şekil 2.1. Hava kirliliğinin kimyasal taşınma şeması [18]

2.1.4. Hava kirliliğinin etkileri

Hava kirliliğinin çevre üzerindeki küresel etkileri; atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun artması ile dünyanın ısınması ve koruyucu ozon tabakasının tahribatı ile dünyamızın aşırı biçimde zararlı mor ötesi ışınların etkisi altına girmesi olarak tanımlanabilir. Sera etkisi olarak tanımlanan bu ısınma olgusundaki en büyük pay CO₂'e aittir. Bir yandan aşırı yakıt kullanımı sonucu CO₂ oluşumunun hızlı bir biçimde artması, diğer yandan ormanların ve bitki örtüsünün tahribatı ile oluşan bu CO₂'in fotosentez süreci ile işlenmemesi, atmosferde CO₂ konsantrasyonunun giderek artmasına yol açmaktadır.

Yetişkin bir insan ortalama 13.000-16.000 litre veya ömrü boyunca 400-450 milyon litre hava solmaktadır. 70 kg ağırlığındaki bir kişi günde ortalama 20 m³ hava solurken, çocuklar ise ağırlığı başına yetişkinlere göre %50 daha fazla hava

solumaktadırlar. Çocukların solunum sistemleri gelişmekte olduğundan dolayı vücutları çevresel şartlara karşı çok daha hassastır. Dolayısıyla temiz veya kirli hava insan sağlığı için oldukça önemlidir [1,16].

Dünyada her yıl hava kirliliğinden 3 milyon insan ölmektedir. Bu değer dünyadaki toplam ölümün %5'ini oluşturmaktadır. Hava kirliliğinden ölümlerin %90'nı geliştirmekte olan ülkelerde görülmektedir [16].

Yapılan araştırmalar, hava kirliliğinin kronik bronşit, nefes darlığı, amfizem ve akciğer kanseri gibi solunum yolu hastalıklarına neden olabildiğini göstermiştir. Hava kirliliğinin zararlı etkileri özellikle çocuklar, yaşlılar, sigara içenler ve zaten kronik bronşit, astım yada koroner kalp hastalığı olanlarda daha etkili olmaktadır [12,14].

Bunların yanında hava kirliliği;

- i. Kronik astım krizi sıklığında artış,
- ii. Göğüs daralması sıklığında artış,
- iii. Öksürük/balgam sıklığında artış,
- iv. Üst solunum sistemi akut bozukluğunda artış,
- v. Göz, burun ve boğaz tahribatında artış,
- vi. Soluk alma kapasitesinde düşüş,
- vii. Ölümlerde artış,
- viii. İş veriminde ve üretimde düşüş,
- ix. Sağlık tedavi masrafında artış olarak görülmektedir.

2.1.5. Hava kirliliğine karşı alınan önlemler ve mevcut durum

Türkiye'de hava kirliliğinin 1950'li yıllarda nüfus artışı ve hızlı kentleşme ile birlikte

gündeme geldiği, bunun sonucunda kömür ve petrole talebin arttığı ve başta İstanbul, Ankara, İzmir gibi büyük kentlerde olmak üzere şiddetli hava kirliliği episodları yaşandığı bildirilmektedir [19]

Yanlış kentleşme, motorlu taşıt sayısında artış, yetersiz yanma teknikleri ve yeşil alanların azalmasının da buna katkıda bulunduğu bildirilmektedir [20]

Hava kirliliği, Sağlık ve Çevre Bakanlıkları tarafından 1985'den beri izlenmekte, bu gün için 69 kent ve 7 ilçe merkezindeki 171 izleme istasyonunda SO₂ ve PM ölçümü yapılmakta, Ankara'daki bir istasyonda ise NO_x ve CO ölçümü gerçekleştirilmektedir [21].

Hava kirliliği ile mücadele çerçevesinde yapılan bu günkü düzenlemelerin 1983'te yürürlüğe giren Çevre Yasası ile başladığı, buna bağlı olarak 1986'da Türkiye Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği'nin hazırlandığı, bu yönetmelikle hava kirliticilerinin emisyonunun kontrol altına alınması, insanın ve çevresinin hava kirliliğinin etkilerinden korunmasının amaçlandığı belirtilmektedir [18,21].

Tablo 2.2. Hava kalitesi koruma yönetmeliği hedef sınır değerleri [21]

Hedef Sınır Değerler	SO ₂ (µg m ⁻³)	PM (µg m ⁻³)
Yıllık Aritmetik Ortalama	60	60
Kış Sezonu (Ekim-Mart) Ortalaması	120	120
Maksimum 24 Saatlik Değer	150	150
1 Saatlik Değer	450	-

Bu yönetmelik çerçevesinde, WHO ve Avrupa Birliği standartları da dikkate alınarak, kısa dönem, uzun dönem ve hedef sınır değerlerinden oluşan SO₂ ve PM sınır değerleri konmuştur. Yine bu yönetmelik çerçevesinde, yerel bazda gerekli tedbirleri almak üzere uyarı kademeleri belirlenmiş, SO₂ ve PM düzeyleri bu kademeleri aştığında yerel otoriteler gerekli önlemleri almaları konusunda sorumlu tutulmuşlardır [18].

Türkiye’de hava kirliliğine neden olan kaynaklara bakıldığında; başta endüstri (termik santraller, çimento, demir-çelik endüstrisi vs) olmak üzere, konutlarda yakılan fosil yakıtlar (kömür, kalorifer yakıtı vs, kış sezonu hava kirliliğinin %80’den sorumlu) ve trafikten kaynaklanan egzoz emisyonunun sorumlu olduğu görülmektedir [1,20,21]. Emisyonu düşürmek üzere, endüstri, konutlar ve trafikten kaynaklanan kirliliği sınırlandırmaya yönelik çalışmalar yanında, temiz yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve bunların daha etkin kullanılması üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla endüstriden kaynaklanan emisyonu sınırlandırmaya yönelik denetimler ve başta çimento ve demir-çelik sanayileri olmak üzere bu kuruluşlarla kirliliği sınırlandırmaya yönelik gönüllü anlaşmalar imzalanmaya çalışılmaktadır [21].

Hava kirliliğini önlemeye ve azaltmaya yönelik ek olarak aşağıdaki önlemlerin alınması faydalı olacaktır.

- i. Doğalgaz kullanımının artırılması ve teşvik edilmesi
- ii. Yeşil alanların artırılması
- iii. Motorlu taşıtlarda katalizörlü egzoz kullanılması
- iv. İnsanların enerji tasarrufu konusunda bilgilendirilmesi ve enerji tasarrufuna yönlendirilmesi
- v. Petrokok ürünlerin kullanılmaması
- vi. Taşıtların emisyon kontrollerinin düzenli şekilde gerçekleştirilmesi
- vii. Isıtma sistemlerinde düzenlemelere ve zaman kısıtlamalarına gidilmesi
- viii. Ülkelerin kendilerine özel milli enerji politikalarını üretmeleri
- ix. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve özendirilmesi
- x. Çevre ve hava kirliliğini önlemede yeni teknolojilerin kullanılması
- xi. Hava kirliliğinin yoğun olduğu yerlerde çevre araştırma laboratuvarları kurulmalı ve bağımsız çalışmalar yapılmasına izin verilmesi
- xii. Dünya Sağlık Örgütü ve Dünya Çevre Koruma Örgütleri’nin belirlemiş oldukları hava kalitesi standartları ve sınır değerlerine önem verilmesi
- xiii. Sınır değerleri ve hava kalite standartlarına yönelik olarak düzenli ölçümlenmeler yapılarak, ilgili kurum ve kuruluşlara bildirilmelidir.

Türkiye’de hava kirliliğine yönelik olarak alınan önlemlerin sonucuna ve yıllarla hava kirliliğinde geline durum ele alındığında, 1990’lı yıllarda özellikle Ankara, İstanbul, İzmir gibi büyük kentlerde çok ciddi bir sorun olan hava kirliliğinin bu illerde giderek gerilediği, özellikle kış aylarında görülen SO₂ ve PM ortalamalarının düşme eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır [21]. Ancak daha küçük ölçekli kentlerdeki duruma bakıldığında, bu kentlerde hava kirliliği düzeylerinin alarm verici düzeylere çıktığı görülmektedir. Bu çerçevede hava kirliliğinin en yüksek olduğu on il kategorisinde nüfusu daha az olan kimi küçük illerin yer aldığı, üç büyük kentin ise ilk on içinde yer almadığı dikkati çekmektedir. Dolayısıyla, büyük kentlerde düzelme olurken, nispeten küçük kentlerde durum daha da kötüye gitmektedir. Bu da muhtemelen, küçük kentlerde başta konutlar olmak üzere, hava kirliliği emisyonlarının sıkı denetime alınmamasından, kontrol dışı kalitesiz yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır [22].

2.2. Partikül Madde

Partikül kirliliği yada PM olarak ta bilinen “Partikül Madde”, atmosferdeki saf su damlacıkları dışında kalan, askıdaki çok küçük katı parçacıkları ve sıvı damlacıklarıdır. Partikül kirliliği, nitrat ve sülfat gibi asitleri, silikon oksitleri, organik kimyasalları, amonyum, mineral toz, iz elementleri, metalleri ve katı yada sıvı partikülleri içeren karmaşık bir karışımdır [23,24].

Atmosferde bulunan partikül madde türleri, özellikleri ve etkileri, oluştukları kaynak, oluşum şekilleri, boyutları, boyut dağılımları, yoğunlukları, buldukları yada yayıldıkları ortama bağlı olarak değişiklik göstermektedir [15,18, 25].

Bir katı veya sıvının, gaz içinde çok küçük parçacıklar halinde, koloidal süspansiyon oluşturmalarına aerosol adı verilir. Aerosollerin çapları 1 µm den daha küçüktür [9,26].

Atmosferde canlı ve cansız birçok partikül bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları;

- i. Sis veya pus,
- ii. Duman ve tütsü,
- iii. İs,
- iv. Cadde tozları,
- v. Ev tozları,
- vi. Mantarlar,
- vii. Polenler şeklinde belirtilebilir [9].

2.2.1. Partikül kaynakları ve oluşumu

Partiküllerin oluşumu temel olarak iki şekilde gerçekleşebilmektedir:

- i. Kaynakları doğal veya antropojenik olabilen, boyutları kaynaklarına bağlı olarak değişen ve direkt atmosfere salınan partiküller “Birincil Partiküller” olarak adlandırılır. Polenler, yaprak yüzeylerinden kopan partiküler parçalanma ürünleri, deniz tuzu, toprak tozu (mineral aerosol) ve volkanik tozlar birincil partiküllerin doğal kaynaklarıdır. Isıtma işlemleri, çöp yakma fırınları, buhar jeneratörleri, yangınlar, evsel ısınma işlemleri, trafik, tarım ve inşaat aktiviteleri antropojenik kaynaklardır. Genellikle yakma kaynaklarından çapı 1 μm 'den küçük partiküller, doğal kaynaklardan ise çapı 1 μm 'den büyük partiküller oluşur. Aerodinamik çapı 10 μm 'den büyük olan partiküller salındıktan sonra birkaç saat içinde yüzeyde depolanırlar. Şiddetli rüzgarlar ve türbülansla tekrar asılı hale gelmedikçe ışık saçılmasında çok fazla etkileri yoktur [18,23,27].
- ii. Atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan partiküller ise, “İkincil Partiküller” olarak tanımlanır. Motor taşıtları, evsel ısınma, yakma işlemleri gibi birincil partikül emisyonlarının atmosfere salınmasında etkili olan pek çok kaynak, gaz fazında da çeşitli organik ve inorganik bileşenler oluşturur. NO_x, SO_x, Nitrik asit (HNO₃) ve amonyak (NH₃) gibi oluşan bazı gaz türleri, gaz fazından kimyasal reaksiyonlarla sülfat, nitrat ve amonyak içeren partikül fazına dönüşebilir. Sülfatlar ve nitratlar yaygın olarak görülen ikincil partiküllerdir. Atmosferik gazlar ayrıca

absorpsiyon, çözünme ve yoğunlaşma ile de askıda partikül haline gelebilmektedir [18,23,27].

Tablo 2.3. Oluşum şekillerine göre partikül maddeler [3]

Hava yayılım sistemleri	Gazlarda yayılmış olan küçük tanecikler
Partikül	Katı maddelerden oluşabileceği gibi, katı ve sıvı boyutları >0.001 em'den büyük 500 em'den küçük parçacıklar.
Toz (Dut)	Kırma, eleme vs. gibi mekanik işlemler neticesinde ortaya çıkan havada askıda bulunan katı parçacıklar. $DP > 1$ M μ .
Sis (Fob)	Görülebilir aerosollerin sıvı faz ortama yayılmış haline verilen isimdir. Genellikle, su veya buzun yer seviyesine yakın bir konumda dağılımıdır.
Füme	Genellikle erimiş maddelerden uçucu hale geçme sonrası buhar fazından yoğunlaşarak ve oksitlenme gibi bir kimyasal reaksiyon eşliğinde oluşan katı parçacıklardır. $Dp < 1$ μ m.
İnce sis, Pus (Haze)	Görüş mesafesini azaltan su damlacıkları, kirleticiler ve tozların bileşimi olan bir çeşit aerosol. $Dp < 1$ μ m.
Buğu (Mist)	Sıvı haldedir, genelde atmosferde veya yüzeye yakın bölgelerde askıda bulur. Küçük su parçacıkları, yağmur formuna yaklaşan bir şekilde yüzmekte ve düşüşe geçmektedirler ve genellikle sis ile karıştırılabilirler. Sisten ayırıcı özelliği; daha şeffaf olmaları veya büyük oranda parçacık dağılımının $Dp = 1$ μ m 'den aşağıda olmasıdır.
Smog	Bu terim İngilizce smoke ve fog terimlerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Aerosollerle aşırı şekilde kirlenmiş olma durumunu açıklar ve günümüzde havadaki kirliliği ifade etmek için kullanılmaktadır.
Duman (Smoke)	Yetersiz yanma sonucu oluşan gaz kaynaklı parçacıkların ve karbon ve yakılabilir materyallerin diğer katı parçacıklardan bağımsız olarak gözlenebilecek miktarda ortamda bulunması durumu duman olarak tanımlanır. $Dp_0.01$ μ m.
İs (Soot)	Karbonlu bileşiklerin yetersiz yanması sonucu oluşan, karbon açısından zengin katranlı parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşur.

Birincil ve ikincil partiküllerin oluşumu coğrafik bölgeye, partiküler emisyon karışımına ve atmosferdeki kimyaya bağlıdır. Kış boyunca ısınma amaçlı odun yakılan bölgelerde çoğunlukla birincil partiküller oluşurken, yazın fotokimyasal

episod dönemlerinde oluşan partiküllerin önemli bir kısmı ise ikincil partikül niteliğindedir [3,18].

Tüm dünyada modern endüstrileşmeyle sadece bölgesel değil uzun taşınım ile global ölçekte etki yaratan antropojenik emisyon kaynakları giderek artmaktadır. İnsan aktivitelerinden oluşan ve farklı bileşimlere sahip partikül madde emisyon kaynakları çok çeşitlidir. Ulaşım, yakıt yanması, endüstriyel prosesler, asfalt ve asfalt olmayan yollardan kaynaklanan tozlar, kara parçalarının rüzgarla erozyonu, inşaat faaliyetleri gibi pek çok aktivite sonucu oluşan uçucu küller, duman, is, metalik oksit ve tuzları, ve metal tozları da partiküllerin antropojenik kaynakları arasında sayılabilir [28,29].

Partikül madde emisyonu, önemli ölçüde kış aylarında ısınmada kullanılan kalorisi düşük, kükürt, uçucu madde ve kül oranı yüksek kalitesiz katı yakıtların yanması sonucu meydana gelir. Kükürt oranı yüksek sıvı yakıtlarda kükürt dioksit ve partikül madde emisyonuna neden olur [1,16].



Şekil 2.2. Partikül madde kirlilik kaynakları

Isınma amacı ile soba ve kazanların kurulu olduğu soba ve kazanların bacaları yılda en az bir defa temizlenmediği zaman, yanma sonucu önemli miktarda partikül madde

emisyonuna neden olur. Evlerde doğru yerlere kurulmayan sobalar, yanma esnasında partikül madde emisyonu atarlar [16, 30].

Trafik ile ilişkili emisyonların halk sağlığı üzerindeki belirgin rolü ile ilgili güçlü kanıtlar mevcuttur [31]. Taşıtlardan kaynaklanan partiküllerin kimyasal kompozisyonu ve oluşum bölgeleriyle ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Trafik, hem ince hem de kaba moddaki birincil partiküllerin, organik gazların ve daha sonra nitrat aerosollerini oluşturan azot oksitlerin önemli bir kaynağıdır. Trafikten kaynaklanan emisyonları iki kategoride toplamak mümkündür; taşıt eksozları ve taşıtların tekerlek, debriyaj ve fren gibi diğer aksamından oluşan partiküller. Eksoz partikülleri PAH gibi organik ve kurşun tozları, platinyum, sülfat, metal oksitler gibi inorganik türler içermektedir. Genel olarak organik partiküller 1 µm' den daha küçük, inorganikler ise daha büyüktür [32,33,34] .

- i. Emisyon ölçümü yaptırmayan,
- ii. Periyodik araç bakım ve muayenesi yaptırmayan,
- iii. İstiap haddinin üzerinde yük taşıyan (belediye ve halk otobüsleri, kamyonlar v.b.)
- iv. 20 yaşın üzerinde olan,
- v. Trafikte 35 km/saatin altında seyreden,
- vi. Araç motorunda uygun olmayan yakıtları kullananlar,

benzinli veya motorinli araçların egzozundan partikül madde kirletici emisyonunu artırmaktadır. Özellikle motorin kullanan motorlu taşıtlar partikül kirliliğine neden olmaktadır. Trafikte seyreden taşıt sayısı arttıkça ve taşıt hızı azaldıkça egzozdan atılan kirletici miktarda artmaktadır [3, 35].

Motorin kullanan araçlar benzinli araçlara göre daha fazla miktarda egzozdan PM₁₀ atmaktadırlar. Motorinli taşıtlar daha sıkı şekilde denetlenmelidir ve istiap haddinin üzerinde yük taşımaları önlenmelidir. Şehirlerarası yollarda hizmet verdikten sonra şehir içi bölgelerde servis aracı olarak otobüslerin kullanılmasında düzenlemeler

yapılmalıdır. Şehir içi bölgelerde toplu taşıma araçları ile yük taşıyan araçlarda yaş sınırlaması ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Çevreyi kirleten araçlar trafikten men edilmelidir [30].

Kalorisi düşük, kükürt oranı yüksek katı yakıt kullanan termik santrallerde yeterli ölçüde baca gazı partikül madde arıtma ünitesi yoksa önemli miktarda partikül madde emisyonuna sebep olurlar. Özellikle ağır metal içeren katı yakıtların yanması sonucu ağır metaller gaz fazına geçerler ve bölgede ağır metal kirliliğine neden olurlar. Hakim rüzgar yönünün olduğu yönde toprakta ağır metal analizleri yapılmalıdır. Katı yakıt içinde bulunan ağır metaller belirlenmelidir. Katı yakıt içinde florür gibi maddeler varsa bu maddelerde yanma sonucu uçucu forma geçerler. Bu gazlarda sağlık üzerinde sorun oluşturur.

Çimento, kireç, taş ocakları, gerekli önlemleri almadan çalıştıkları zaman partikül madde emisyonuna sebep olurlar. Maden işleme tesisleri de önemli partikül madde kaynaklarından biridir.

Demir çelik ve hurda metal işleyen tesislerde baca gazları yeterli oranda arıtılmalıdır. Bu tür tesislerde kullanılan hammaddelerde ve hurdalarda bulunan bazı zehirli ve zararlı maddeler gaz fazına geçerek çevre kirliliğine neden olurlar. Gerekli arıtması olmayan bu tür tesisler ağır metal ve PCB'ler bakımından ciddi çevre kirliliği oluştururlar. Hurda kullanan tesislerin çevresindeki havada ve toprakta özellikle ağır metal analizleri ve PCB analizleri yapılmalıdır [16].

2.2.2. Partikül boyutları

Hava kirliliğine neden olan partiküller atmosferde daha çok gezer halde bulunurlar. Boyutları açısından büyük farklılıklar gösterirler. Bunlardan en küçüğü 1 mikronun altında iken iri olanlarının çapları 200 mikronu geçer. Örneğin herhangi bir dumanlı ortamda 500 mikronluk kaba bir partikülün içerisinde 2 milyon civarında 0,3 mikronluk ufak partikül vardır. İşte, gerek çevre kirliliğini arttıran ve gerekse insan

sağlığını olumsuz yönde etkileyen bu ufak çaptaki partiküllerin atmosferde ve kişilerin bulunduğu ortamlarda kontrol altına alınması gereklidir. Hava filtrasyon tekniği adı verilen bu kontrol işi; dış atmosfer kontrolü söz konusu olduğu durumlarda toz toplama ve çevre kirliliği kontrol sistemleri ile iç atmosfer yani çalışma ortamı söz konusu olduğu hallerde ise uygulamanın türüne ve istenilen hassasiyete göre çeşitli tiplerde filtreler kullanılarak yapılır [36, 37].

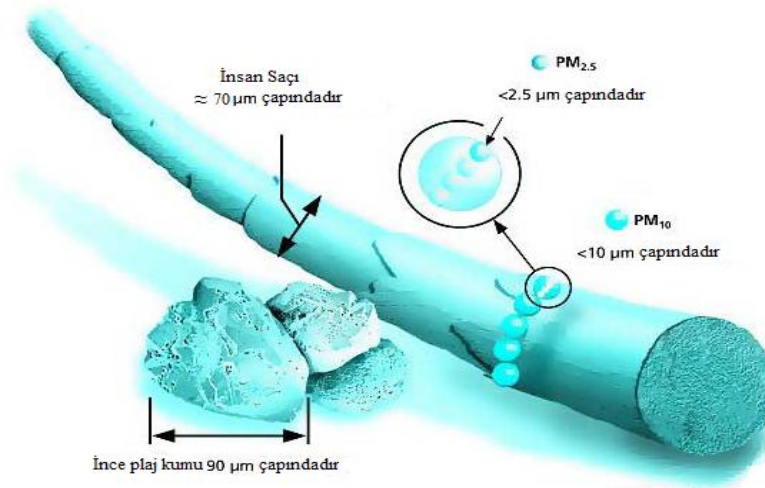
Atmosferik partiküllerin en önemli özelliği, onlarca mikrometreden nanometre boyutuna kadar değişebilen büyüklüğüdür [38]. Partiküllerin boyutu, kirletici kaynaklarının belirlenmesi, sağlık etkilerinin, iklim üzerindeki etkilerinin, atmosferdeki kalış sürelerinin ve atmosferden süpürülme mekanizmalarının anlaşılması yönünden çok önemlidir. Partikül boyutu ayrıca partikül maddelerin yer değiştirme işlemleri, atmosferde kalma süreleri, görüş mesafesine olan etkileri gibi fiziksel davranış özelliklerinin belirlenmesinde de en önemli parametredir [18,23]. Örneğin, yanma kaynaklı partiküllerin boyutları 0,003–1 μm arasında değişirken, polen ve toprak kaynaklı partiküllerin boyutları genellikle 2 μm 'nin üstündedir. Ayrıca, partikül maddelerin davranışlarını ve etkilerini anlamak için kimyasal yapısını ve fiziksel karakterini bilmemiz gerekmektedir [39]. Öte yandan partikül maddenin kimyasal yapısı ve büyüklüğü çekirdekleşme, yoğunlaşma, buharlaşma, çökme ve diğer gaz ve su fazı reaksiyonlar sonucunda değişebilmektedir [40].

Partikülün aerodinamik çapını ifade eden boyut ifadesi birkaç nanometre (nm) ile birkaç on mikrometre (μm) arasında değişir. Aerodinamik çap; söz konusu partikülle aynı çökme hızına sahip, birim özkütledeki kürenin çapıdır. PM_x ifadesi, partikül maddenin çapının X μm 'den küçük olduğu anlamına gelmektedir. Genellikle X olarak 10 μm , 2.5 μm veya 1 μm değerleri kullanılır.

- i. “Kaba Partiküller”, çapı 2,5 μm 'den büyük 10 μm 'den küçük partiküllerdir.
- ii. “İnce Partiküller”, çapı 2,5 μm 'den küçük 1 μm 'den büyük partiküller,
- iii. “Çok İnce Partiküller”, çapı 1 μm 'den küçük olan partiküllerdir

Çapı $2,5 \mu\text{m}$ 'den küçük olan partiküller ancak elektronik mikroskoplar ile görülebilmektedir. Partikül boyutları, sağlık sorunlarına sebebiyet verme potansiyelleri ile direkt ilişkilendirilir. Özellikle $10 \mu\text{m}$ 'dan daha küçük boyuttaki partiküller, solunum yollarından kolaylıkla geçerek akciğerlere ulaşır. Bu partiküller, kalp ve ciğerlerimizi etkileyerek ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır [41,42,43].

Özellikle $2,5 \mu\text{m}$ 'nin ne kadar küçük olduğunu anlayabilmek için bir saç telini ele aldığımızda, insanın ortalama bir saç telinin $70 \mu\text{m}$ civarında olduğu görülmektedir. Bunun açıklaması; bir saç telinin çapının, bir ince partikül çapının yaklaşık 30 katı büyüklüğünde olduğudur.



Şekil 2.3. PM boyutunun, insan saçı ve plaj kumu ile karşılaştırılması [23]

Partiküllerin, yerçekimi sebebiyle zaman içinde yeryüzüne dönmelerine sedimantasyon denir. Partiküllerin yeryüzüne inmesi “Kuru” ve “Yaş” dönme şeklinde olur. Kuru dönme şekline, difüzyon ile çarpışma yardımcı olur. Çarpışma, rüzgarın etkisiyle partiküllerin birbirlerine veya sert bir yüzeye çarpmaları sonucunda gerçekleşir. Çarpışma yoluyla partiküllerin %20’si yeryüzünde dönebilmektedirler. Yaş dönme ise, çekirdekleşme ve sürüklenme ile gerçekleşir. Partiküllerin çekirdekleşme ile yeryüzüne dönmelerinde, bulutlar arasında bulunan partiküllerin toplanma merkezi gibi davranarak çevrelerine su moleküllerini veya mikro

damlacıkları toplamaları etkilidir. Yoğunlaşan partikül, yeryüzüne doğru düşerken önüne çıkan diğer partikülleride sürükler. Büyüklüğü 1 μm 'den daha küçük olan partiküller ancak bu şekilde yeryüzüne dönebilmektedir [9,18, 34].

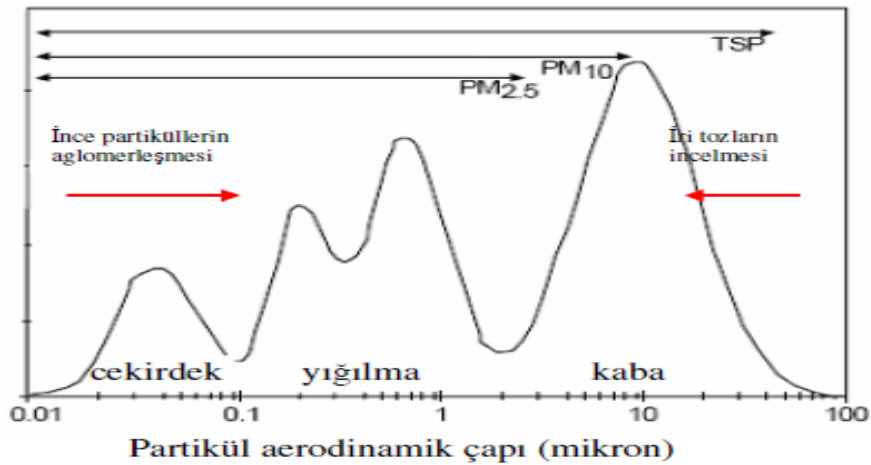
Partikül maddeler, partikül boyut ölçeğindeki bir veya daha fazla nokta etrafında toplanmaya eğilimli olduğu anlamına gelen modlu boyut dağılımına sahiptirler. Modlu sistem, ilk defa aerosol boyut dağılımını karakterize etmek amacıyla 1978 yılında Whitby tarafından ifade edilmiştir. Whitby modeli, 0,01-6 mm boyut aralığındaki atmosferik aerosol boyut dağılımına dayanarak çekirdek mod ($<0,1 \mu\text{m}$), birikim mod (0,1–2 μm) ve kaba partikül mod ($>2 \mu\text{m}$) olarak üç şekildeki boyut aralığında meydana çıkmıştır. Partikül boyut dağılımı modlu karakteri bir yandan sürekli partikül oluşturan proseslerin, diğer yandan atmosferden partikül giderimine neden olan proseslerin sonucudur. İlk oluşan partiküllerin boyutu ve bileşimi; yoğunlaşma, buharlaşma, diğer partiküllerle koagülasyon veya kimyasal reaksiyonlar gibi etkenlerle değişebilir. Yani partikül boyut dağılımındaki modların sayısı, aerosolün yaşına, oluşum şekline ve çevrede farklı boyutlarda partikül oluşturan aktif kaynakların varlığına göre çeşitlilik göstermektedir [44,45].

Bununla birlikte partiküllerin ince ve kaba moddaki dağılımlarının, rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve bağıl nem gibi meteorolojik şartlara kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu belirtilmektedir [45]. Bazı araştırmacılar da partiküllerin boyut dağılımının sezonluk değişimlere bağlı olduğunu belirtmişlerdir [46]. Örneğin, Helsinki şehrinde 2000 yılında partikül sayısı boyut dağılımlarının uzun vadeli aerosol ölçümlerinde farklı mevsimlerde açık farklar olduğu ve ultra ince partikül konsantrasyonunun mevsimsel olarak günlük farkları belirlenmiştir [47].

Şekil 2.4'de görülen ilk mod çok ince olarak da ifade edilen çekirdek modudur. Bu kısımdaki partiküllerin çapları yaklaşık olarak 0,08 μm 'den küçüktür. Bu partiküller doğrudan yanma kaynaklarından veya ortama salındıktan sonra soğuyan gazların yoğunlaşmasıyla oluşurlar. Birikim modlu parçacıklar uzun mesafelere taşınabilirken çekirdek modu partikülleri ancak kısa mesafelere taşınabilirler. Koagülasyon ve büyümeden dolayı, çekirdek modlu partiküller maksimum birkaç yüz kilometrelik bir

yerde birkaç saat hayatta kalabilirler, çünkü hızla büyük partiküllerle birleşirler veya bulut ve sis zerrelere için çekirdek görevi görürler. Emisyon kaynaklarından uzak bölgelerde veya yeni partiküller atmosferde henüz oluştuğunda görülür [44,47].

Yığılma modundaki partiküllerin çapları ise yaklaşık olarak 0,08 - 2 μm arasında değişir. Bu moddaki partiküller yanma kaynakları, uçucu türlerin yoğunlaşması, gazın partiküle dönüşümü ve ince toprak partiküllerinin askıda hale gelmesiyle oluşan ince partiküllerin koagülasyonu ile oluşurlar. Yığılma modunda diğerlerinden farklı olarak iki alt mod görülmektedir. Yaklaşık 0,2 μm 'deki pik gaz faz reaksiyon ürünlerini içeren yoğunlaşma modu, yaklaşık olarak 0,7 μm 'deki pik ise küçük partiküllerin çekirdek modundan su damlacıklarına yapışarak büyümeleriyle oluşan zerrecik modudur.



Şekil 2.4. Atmosferdeki partikül boyutunun olası kütleli dağılımı [3]

Şekil 2.4'de de görüldüğü gibi gaz ve buharlardan yola çıkarak irileşip partikül sınıfına geçen tanecikler ile iri tozlar şeklinde havaya salındıktan sonra parçalanıp ufalanarak ince toz grubuna geçenler, kirlenme olayı eskidikçe ortadaki zirvede (mod) birikir. Böylece insan elinin değmeyeceği kadar uzaktaki yerlerde atmosferde görülen orman yangını, fırtına, volkan patlaması vb. bir doğal tozlanma olayının üzerinden yeterince zaman geçtikten sonra, toz irilik sınıfında sadece ortadaki mod kalacaktır. Bu da uzun bir sürenin sonunda tek modlu ve simetrik yani Gauss tipi bir dağılım ortaya çıkacak demektir. Gerçekten insan etkisinden uzak yerlerde toz irilik

dağılımı Gauss tipi yani tek modlu dağılımdır. Aksine insan etkilerine açık, trafik yolları üzerinde, tozlu fabrikalara yakın vb. yerlerde ise çok sayıda zirveye sahip (multi-modal) toz irilik dağılımları görülmektedir [3,44,47].

Son zamanlarda bazı çalışmalarda partikül sayı dağılımına odaklanılmıştır. Örneğin, Helsinki şehrinde aerosol sayı konsantrasyonunun bölgesel olarak ve zamanla değişimi üzerine bir çalışma yapılmıştır [48]. Başka bir çalışmada majör karayollarına uzak bir şehirde partikül toplam sayı konsantrasyonunun mevsimlik değişimi incelenmiştir [49]. Bir diğer çalışmada ise Helsinki kentinde partikül sayı boyut dağılımının mevsimlik değişimi incelenmiştir [50].

2.2.3. Partikül maddelerin insan sağlığına etkileri

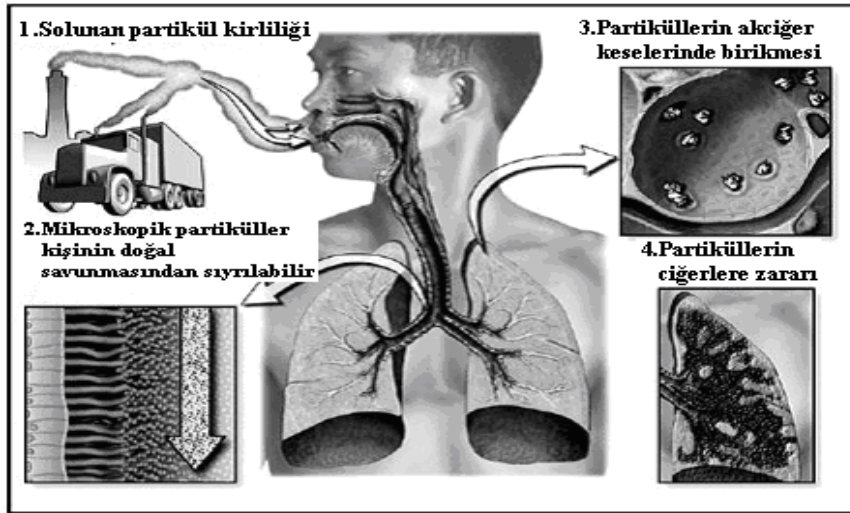
Havadaki partikül, katı ve sıvı damlaların karışımından oluşmaktadır. Bazı partiküller insan kaynaklı iken bazıları ise atmosferde oluşur. Sağlık açısından zararlı olan partikül madde boyutları PM_{10} , $PM_{2.5}$ ve PM_1 'dir. Partikül madde çapı küçüldükçe sağlık üzerindeki olumsuz etkisi daha da artmaktadır. Küçük partiküller akciğere kadar ulaşabilmekte, kana dahi karışarak insan sağlığı açısından büyük sorunlar yaratabilmektedir. Bu nedenle sağlık etkilerinin ne olduğunun ortaya çıkarılmasında partiküllerin boyutu ve yüzeyi, sayısı ve bileşiminin bilinmesi çok önemlidir. [51,52].

Sağlık etkileri açısından tozların tane irilik dağılımları çok önemlidir. Son yıllarda toplam askıdaki partiküller ve bu partiküllere maruz kalmadan dolayı oluşan sağlık riskleri hakkında bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları solunabilen partiküller ve onların sağlık üzerine etkileri arasında bir bağlantı olduğunu göstermiştir. Diğer çalışmalar ise ince partiküllerin üzerinde durmuştur çünkü bu partiküller kolaylıkla akciğerlerde depolandığından ölüm oranlarında artışa ve solunum yolu rahatsızlıklarına sebep olurlar [53,54,55].

Günümüzde soluduğumuz havadaki partikül madde (PM) kirliliği nedeniyle oluşan sağlık problemleri, tüm dünyada dikkati çeken en önemli olaylardan biri haline gelmiştir. PM, kompleks partikül boyut dağılımı ve kimyasal özellikleri zamana ve mekana göre değişkenlik gösteren ve özellikleri atmosfer kimyasına, hava koşullarına ve verildiği kaynağa göre değişebilen bir hava kirleticidir. Daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda, insanlarda gözlenen sağlık etkileri ve PM'in özellikleri arasındaki bağlantı dikkate alınmamıştır. Ancak son zamanlarda yapılan çalışmalarda çeşitli yakma prosesleri, hareketli ve sabit kaynaklardan verilen PM ile kalp ve solunum sistemi rahatsızlıklarından meydana gelen hastalık ve ölüm oranları arasında doğrusal ilişkinin varlığı kanıtlanmıştır. Ayrıca partikül madde konusunda yapılan epidemiyolojik araştırmalarda, partikül boyutu 10 µm'den küçük (PM₁₀) olan partiküllerin insan sağlığına önemli boyutlarda zararlar verdiği saptanmıştır [56,57].

Partikül maddelerin fiziksel yapısı ve kimyasal kompozisyonu da önem taşımaktadır. Civa, kurşun, kadmiyum gibi ağır metaller oldukça zehirlidir. Özellikle kanser yapıcı organik kimyasallar içeren partikül maddeler çok tehlikelidir. Birçok farklı bileşenden oluşmuş olan partikül maddeler akciğerdeki nemle birleşerek aside dönüşebilmektedir. Duman bileşenlerinde bulunan çinko amonyum sülfat, akciğerde sülfürik aside dönüşmektedir. Kurum, uçucu kül, benzin ve dizel egzoz partikülleri kanser yapıcı maddeler içerdiklerinden bunların uzun süre solunması durumunda kanser yaptığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır [47].

Küçük boyutlu partiküller, akciğere kadar ulaşır ve kanın içindeki karbondioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatarak nefes darlığına neden olurlar. Kalp, o anda oksijen kaybının giderilmesi için daha fazla çalışır. Bu durum kalp üzerinde ciddi bir baskı oluşturur [34,54].



Şekil 2.5. Partikül maddelerin akciğerler üzerindeki etkisi [16]

Partikül maddelerin sağlık üzerine etkileri akuttan daha çok, kroniktir. Uzun süre partikül madde kirliliğine maruz kalındığında akciğerde partikül birikmesi sonucu akciğer kanseri, solunum rahatsızlıkları ve ölümler meydana gelmektedir [41].

Partikül madde konsantrasyonunda artışın olduğu bölgelerde hastaneye müracaatlarda da artışlar olmaktadır. Kısa süreli olarak PM_{10} kirliliğine maruz kalındığında akciğer hastalıkları kötüleşir. Kalp hastası olan kişilerde kalp atışları hızlanır. Özellikle hava kirliliğinin ve trafiğin yoğun olduğu illerdeki cadde, yol ve meydanlarda dışarıda egzersiz (koşu ve yürüyüş gibi) yapılmamalıdır. Çünkü egzersiz esnasında daha derinden ve daha sık aralıklarla nefes alındığından, vücuda daha fazla kirletici girer. Bu kirleticiler kolayca akciğere kadar ulaşırlar [58,59].

Uzun vadede PM_{10} 'a maruz kalan çocuklarda astım ve solunum semptomları sıklığı gibi akut etkilerin yanı sıra akciğer fonksiyon bozukluğuda görülmektedir [60].

Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan çalışmaya göre; Avrupa ve Asya'daki bazı ülkeler alt gruplara bölünmüştür. Bu ülkelerde her yıl PM kirliliğinden dolayı 0-4 yaş grubu 13.000 çocuk ölmektedir. Bu ölümlerin 10.000 kişisi EURO B grubu ülkelerde (Türkiye dahil) gerçekleşmektedir. 3.000 kişi ise EURO C grubu ülkelerde olmaktadır.

Tablo 2.4. 0-4 yaş grubu çocuklarda WHO'nun ülkelerdeki hava kirliliğinden dolayı ölüm sınırı [30]

Alt Kategori	Ölüm Sayısı	Tüm Sebeplere Göre Ölüm (%)	10.000 çocuk başına Ölüm
EURO A	178	0.8	0.1
EURO B	10 617	7.5	5.9
EURO C	3 001	5.8	2.6
Toplam	13 796	6.4	2.7

PM₁₀ konsantrasyonu A.B. belirlediği yıllık ortalama 40 µg/m³ sınır değerinin altına düşürülmüş olsaydı, EURO B grubu ülkelerde 3.217 kişinin, EURO C ülkelerinde de 1.788 kişinin ölümü önlenmiş olacaktı.

EPA'nın geliştirdiği hava kalitesi indeksi, 100'ün üzerinde olduğu zaman hava kalitesinin sağlık açısından kötü olduğunu gösterir. Hava kalitesi indeksi 300'ün üzerinde olduğunda, hava kalitesi sağlık açısından zararlı anlamına gelmektedir.

EPA tarafından geliştirilen Hava kalitesi indeksine ait veriler Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Hava kalitesi indeksi için geliştirilen değerler ve renkler kategorisi [16]

Hava kalitesi indeksi değeri (Konsantrasyon (µg m ⁻³))	Sağlıkla ilgili seviye	Renkler
Hava kalitesi indeksi değeri bu aralıkta olduğu zaman	...Hava kalitesi şartları:	...bu renklerle sembolize edildiği gibi:
0 ila 50 (0-54)	İyi	Yeşil
51 ila 100 (55-154)	Orta	Sarı
101 ila 150 (155-254)	Hassas gruplar için sağlığa zararlı	Portakal rengi
151 ila 200 (255-354)	Sağlığa zararlı	Kırmızı
201 ila 300 (355-474)	Sağlığa çok zararlı	Mor
301 ila 500 (425-504)	Tehlikeli	Kestane rengi

İyi: Hava kalitesi indeksi, 0-50 arasında olduğunda, hava kalitesinin sağlık açısından iyi olduğunu ve hava kirliliğinin küçük etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Orta: Hava kalitesi indeksi, 51 ile 100 arasında olduğunda ise hava kalitesi kabul edilebilir sınırlar içinde demektir. Bazı kirleticiler bazı insanlar için olumsuz etkiye sahiptir. Ozona karşı oldukça hassas olan kişilerde solunum semptomları görülür. Genel olmamak üzere hassas kişiler, uzun süreli açık veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalıdırlar.

Hassas Gruplar için Sağlıksız: Hava kalitesi indeksi 101-150 arasında olduğunda hassas grup üyelerinin sağlıkları üzerinde olumsuz etkileri görülür. Akciğer hastası kişiler büyük risk altındadırlar. Partikül kirliliğine maruz kalan akciğer hastası kişiler daha büyük risk altındadırlar. Hava kalitesi indeksi bu aralıkta iken genel olarak sağlıklı kişiler çok fazla etkilenmez. Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalıdırlar.

Sağlıksız: Hava kalitesi indeksi 151-200 arasında olduğunda herhangi bir kişide sağlık etkileri görülebilir. Hassas kişilerde daha ciddi sağlık etkisi görülür. Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalılar. Bunun dışında herkes, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalılardır.

Çok Sağlıksız: 201-300 arasındaki hava kalitesi indeksi, sağlık açısından alarm işaretini gösterir. Herhangi bir kişide ciddi sağlık etkileri görülebilir. Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, açık havada tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdırlar. Ayrıca herkes, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamaktan kaçınmalıdır.

Zararlı: Hava kalitesi indeksi, 300'ü aştığı zaman acil sağlık ikazları başlar. Tüm halk olumsuz olarak etkilenir. Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, evde kalmalı ve aktivite seviyelerini azaltmalıdırlar. Ayrıca herkes, açık havada tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdır.

Tablo 2.6. WHO tarafından hazırlanan 24 saatlik PM derişiminin sağlık üzerindeki etkisi [30]

	PM₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM_{2.5} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Seçilmiş seviyeler için Esaslar
Hedef değer-I	70	35	Bu seviye, WHO belirlediği sınır değerleri ilişkili %15 daha fazla uzun vadeli
Hedef değer-II	50	25	Diğer sağlık faydalarına ilaveten bu seviyeler, hedef değer-I göre prematüre ölüm riskini yaklaşık olarak %6 azaltır.
Hedef değer-III	30	15	Diğer sağlık faydalarına ilaveten bu seviyeler, hedef değer-II göre ölüm riskini yaklaşık olarak %6 düşürür.
Hava kalitesi değeri	20	10	Bunlar, kanser ve solunumla ilgili hastalıkların görüldüğü en düşük seviyelerdir.

24 saatlik ortalama partikül madde konsantrasyonu hedef değer-I'i aştığı zaman sağlık açısından ciddi sağlık sorunları yaşanmaktadır.

Dünya sağlık örgütünün yaptığı çalışmaya göre gelişmekte olan ülkelerdeki şehir içi bölgelerde tüm ölümlerin %2,5'i partikül madde kirliliğinden ileri geldiği tespit edilmiştir.

Havadaki partikül madde konsantrasyonunu azaltmak için ülkeler standartlar geliştirmiştir. Bu limit değerler belirlenirken insan sağlığı ve çevreye verdiği zarar üzerinde durulmaktadır [30].

Başta Avrupa Birliği ülkeleri (AB) olmak üzere çeşitli ülkelerde havadaki partikül madde konsantrasyonu ile ilgili uygulanan sınır değerler Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Bazı ülkelerde uygulanan PM sınır değerleri [30]

Ülkeler	Yıllık aritmetik ortalama sınır değeri ($\mu\text{g m}^{-3}$)		24 saatlik ortalama sınır değeri ($\mu\text{g m}^{-3}$)	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
A.B.D.	50	15	150	35
Japonya	-		100	-
İngiltere	40	-	50	-
A.B.Ülkeleri	40	-	50	-
Avustralya	-	8	50	25
Kanada	70	-	120	-
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	20	-	50	-
Türkiye	150	-	300	-

2.3. Ağır Metaller

Ağır metal doğal sistemlerde ortaya çıkan bir grup elementi ifade edebildiği gibi, organizmalar tarafından az miktarda alınan fakat onların beslenmeleri için önemli olan elementler olarak da tanımlanmaktadır. Genel olarak ağır metaller doğal ve bozulan sistemlerde düşük derişimlerde bulunan ve belli derişimlere ($>5 \mu\text{g m}^{-3}$) yükseldiğinde ise canlı organizmalara zehirli etkisi olan elementler olarak tanımlanır [61,62].

Ağır metallerin doğal kökenli kaynaklarının başında toprak ana maddesi gelir. Önemli bir diğer kaynak ise metal sanayidir. Çeşitli madenlerin çıkarılmasından işletilmesine kadar olan tüm kademelerde atmosfere belirli oranlarda Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Mn verilmektedir. Kömür atıkları, ticari gübreler, tarımda kullanılan pestisitler, endüstriyel atık sular, kanalizasyon atıkları, hayvansal atıklar, trafik kökenli atıklar da diğer ağır metal kaynaklarını oluşturur [63]. Ağır metallerin havadaki partiküllere bağlanma hızları genellikle $0,5 \text{ cm s}^{-1}$ den daha az bir sürede gerçekleşir ve ortalama kalma sürelerinin 5 gün civarında olduğu tahmin edilmektedir. Cr, Mn, V, Cu, Mo, Ni ve Zn gibi eser elementlerin doğal emisyonlarına askıda duran toprak partikülleri, volkanik aerosoller ve orman yangınları katkıda bulunur. Öte yandan, Cu, Ni ve Zn'un başlıca antropojenik kaynakları ise trafik emisyonları ve fosil yakıtlardır. Pb, Sb, Br, Cr ve V ise ev ısınması ve otomotiv eksozlarından çıkan dumanlara bağlı

elementlerdir. Bugünkü antropojenik metal emisyonları doğal bileşenlerden çok daha yüksek miktarlardadır [39].

Ağır metalleri zehirlilik derecesi ve canlı bünyedeki işlevlerine göre sınıflandırabiliriz. Bilinen en zararlı ağır metaller kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve cıvadır (Hg). Bu metaller her derişimde zehirlidir ve biyolojik işlevleri yoktur. İkinci grup metaller olan arsenik (As), bizmut (Bi), indiyum (In), antimon (Sb) ve talyum (Tl) ise insan bünyesine biyokimyasal açıdan gerekli değildir ancak biyokimyasal sistemlerde eser düzeyleri tölere edilebilir.

Üçüncü grup metaller ise biyokimyasal olarak gerekli metallerdir. Bunlar bakır (Cu), çinko (Zn), kobalt (Co), nikel (Ni), vanadyum (V), selenyum (Se), krom (Cr) ve demirdir (Fe). Bununla birlikte bu metaller belirli bir derişim düzeyinin üzerinde zehirli konuma gelmektedir. Bu grup elementlerden Ni, Cr, Cu ve Se nükleik asitlerle etkileşimi nedeniyle kansorejen etki göstermektedir [39,64].

İnsan ve hayvan bünyesine giren ağır metaller öncelikle üst solunum yollarını tehdit etmektedirler. Ayrıca boğaz ve gırtlak kanseri, akciğer kanseri, bronş kanseri hastalıklarında ağır metallerin direkt yada dolaylı etkisinin olduğu bilinmektedir. Eğer ağır metallerin vücudumuza giriş hızı, vücudumuzun onları dışarı atma hızından düşükse, zaman içinde vücudumuzda birikim yaparlar [63,65].

2.3.1. Kurşun

Kurşun mavimsi gri renkte ağır bir metaldir [61]. Biyosfere insan faaliyetlerine bağlı olarak önemli oranda yayılan kurşun, günümüzden 4.000 - 5.000 yıl öncesinde, antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi esnasında yan ürün olarak keşfedilmiş ve tarih boyunca kurşun üretimi ve kullanımı giderek artış göstermiştir [66].

Kurşun ve kurşun bileşikleri çok toksikdir. Benzinli taşıtlardan ve baca gazı arıtma tesisi olmayan kurşun üretimi ve işleme, hurda akü geri kazanım tesisleri, termik

santral, hurda demir-çelik sanayi bacalarından atmosfere atılan çıplak gözle görülmeyen çapları 2,5 µm'den küçük mikro partiküller, solunum sistemlerinde filtre edilemediğinden dolayı ciğerlere kadar kolayca ulaşırlar ve ciğerler tarafından absorbe edilerek kana karışırlar. Kurşun sadece solunum yolu ile değil kurşunla kirlenmiş sindirim yolu ile de vücuda girebilir. İnorganik kurşun bileşikleri, vücut tarafından çok yavaş absorbe edilmesine rağmen vücuttan atılması da oldukça yavaştır. Kurşun vücuda alındığında organlar kurşunu kalsiyum gibi algılayarak hata yaparlar. Böylece kurşun, beyin ve diğer hücrelerin işlevi için elzem olan anjinalere hücum ederler ve onları bölerler. Kurşun başka bir maddeye asla dönüşmediğinden vücutta birikmeye başlar. Kurşunlu benzin kullanan şehirlerde şehir içinde yüksek konsantrasyonlu kurşuna sürekli maruz kalındığında kurşun birikmesi artar [67,68]

Kurşunun tetraetil veya tetrametil gibi organik komponentlerinin yakıt katkı maddesi olarak kullanılmaları nedeniyle kirlenici parametre olarak önem gösterirler. Tetraetil kurşun ve tetrametil kurşunun her ikisi de renksiz sıvı olup, kaynama noktaları sırası ile 110°C ve 200°C'dir. Uçuculuklarının diğer petrol komponentlerinden daha fazla olması nedeni ile ilave edildiği yakıtın da uçuculuğunu artırır.

Atmosferdeki kurşunun yaklaşık olarak % 80 - 90'ı yakıtlara katkı maddesi olarak ilave edilen alkil kurşunun yanması sonucunda meydana gelir. Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtların yanması ile atmosfere yayılan kurşun miktarı ülkeden ülkeye, kaynaktan kaynağa değişim gösterir. Ayrıca kurşun cevherinin çıkarılması amacı ile yapılan çalışmalar, endüstriyel faaliyetler gibi işlemlerde atmosferik kurşun emisyonuna katkıda bulunur [69].

Atmosferdeki kurşunun temel (arka plân) konsantrasyonu $5 \cdot 10^{-5} \mu\text{g m}^{-3}$ olarak tahmin edilmektedir. Kentsel alanlara yakın veya kentsel olmayan alanlardaki kurşun konsantrasyonu yaklaşık olarak $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ 'tür. Kırsal alanlarda ise bu konsantrasyon $0,1-0,3 \mu\text{g m}^{-3}$ değerleri arasında değişim gösterir. Benzine ilave edilen tetraetil veya tetrametil kurşun katkı miktarlarının azaltılması sonucunda, atmosferik kurşun konsantrasyonunda azalma eğilimi gözlenmektedir. Avrupa'daki kentlerde yıllık

ortalama kurşun konsantrasyonu $0,5-3 \mu\text{g m}^{-3}$ değerleri arasında değişim göstermektedir [3].

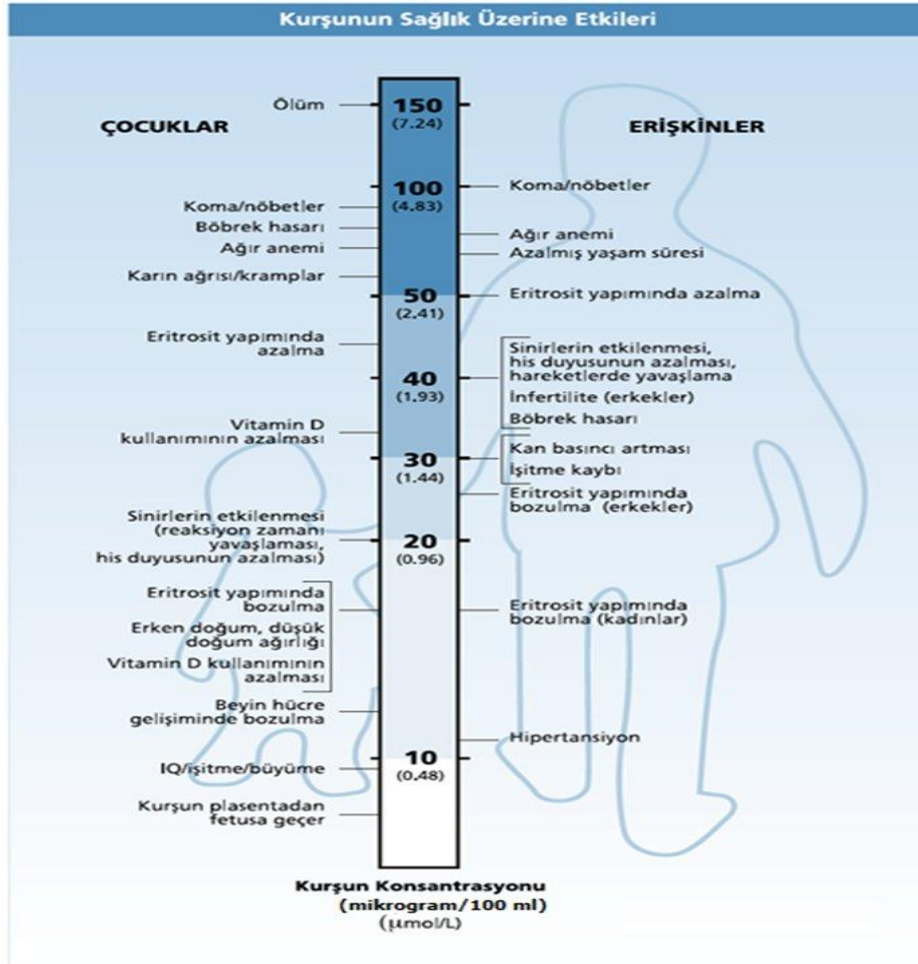
Kurşun solunum ve sindirim yolu ile absorbe olur. Günlük olarak vücuda alınan kurşun miktarı $100-500 \mu\text{g}$ değerleri arasında değişir. Kurşun absorpsiyonu havadaki tanecik büyüklüğü ve kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir [18]. Havada bulunan kurşunun yaklaşık olarak %15-70'i solunum sistemi, %10'u ise sindirim sistem ile vücuda alınır [18].

Sindirim sistemindeki absorpsiyon beslenme şekline bağlı olarak değişim gösterir. Absorbe olan kurşunun % 95'i mineral dokuya (kemik ve dişler) % 5'lik kısmı ise kan ve yumuşak dokuya dağılır. Kan dolaşımındaki kurşunun % 99'u eritrositlere bağlanır. Kurşunun yarılanma ömrü; kanda 20-40 kemiklerde ise 10 yıldır. Absorbe olmayan kurşun feçes ile absorbe olan kurşunun % 50-60'ı böbrek veya safra yolu ile vücuttan atılır [67].

Havadaki kurşun konsantrasyonu ile kandaki kurşun konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki vardır. Kurşunun havadaki $1 \mu\text{g m}^{-3}$ konsantrasyonunun kanda $0,01-0,02 \mu\text{g ml}^{-1}$ 'lik konsantrasyonu oluşturduğu tespit edilmiştir. İnsanlarda temel (arka plân) kan kurşun konsantrasyonunun $0,04-0,06 \mu\text{g ml}^{-1}$, kentsel alanlarda yaşayanlarda ise $0,1 \mu\text{g ml}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. WHO, sağlık üzerine olumsuz etkilerin gözlenmediği $0,1 \mu\text{g ml}^{-1}$ kan kurşun konsantrasyon limitinin aşılması amacıyla ile kent havasındaki kurşun konsantrasyonunun $0,5-1 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hedeflenmesini önermektedir [69].

Kurşunun farklı enzim sistemleri ile etkileşim göstermesi nedeniyle birçok organ veya sistem, kurşun birikimi için odak noktalarını oluştururlar. İnsan kanındaki kurşunun insan sağlığı üzerine etkileri Şekil 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.6 incelendiği zaman çocukların kanında kurşun miktarı $55 \mu\text{g 100 ml}^{-1}$ 'e ulaştığı zaman krampa ve karın ağrısına, $150 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ 'e ulaştığında ölüme neden olmaktadır. Kandaki kurşun konsantrasyonunun $0,2 \mu\text{g ml}^{-1}$ limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenir. Kan kurşun konsantrasyonu; $0,2 \mu\text{g ml}^{-1}$ limitini aşması ile kan

sentezinin inhibasyonu, $0,3-0,8 \mu\text{g ml}^{-1}$ limitlerinde duyu ve motor sinir iletişim hızında azalma, $1,2 \mu\text{g ml}^{-1}$ limitinin aşılmasından sonra ise yetişkinlerde geri dđnüşü mümkün olmayan beyin hasarları meydana geldiği belirlenmiştir [70].



şekil 2.6. Kandaki kurşunun çocuklar ve yetişkinler üzerine etkisi [70]

2.3.2. Kadmiyum

Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renğinde bir metaldir. Havada hızla kadmiyum okside dđnüşür. Kadmiyum sülfat, kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünür.

Kadmiyum doğada çinko ile birlikte bulunur. Çinkonun rafinasyonu sırasında yan ürün olarak elde edilir. Kadmiyum bileşikleri; metallerin kaplanmasında, bakır gibi

diğer metal alaşımlarında, alkali bataryalarında, plastiklerde stabilizer veya pigment olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum içeren madde veya eşyaların çevreye atılması veya insineratörlerde yakılması ve kadmiyumun kullanımı sırasında yapılan aktiviteler atmosferik kadmiyum kirliliğini meydana getirir [18,71].

Genelde yıllık ortalama miktar, kırsal alanlarda $1-5 \text{ ng m}^{-3}$, kentsel alanlarda $5-15 \text{ ng m}^{-3}$, endüstriyel alanlarda $15-50 \text{ ng m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Avrupa ülkelerinde yapılan ölçümlerde ise dünyanın çeşitli ülkelerinde tespit edilen miktarlar; kırsal alanlarda $0,1-1 \text{ ng m}^{-3}$, kentsel alanlarda $1-50 \text{ ng m}^{-3}$, endüstriyel bölgelerde $1-100 \text{ ng m}^{-3}$ kadmiyum konsantrasyonu olarak tespit edilmiştir [69].

İç ortam konsantrasyonunun dış ortam konsantrasyonuna eşit olduğu, dış ortam konsantrasyonunun 50 ng m^{-3} , günlük olarak solunan hava miktarının 20 m^3 olduğu varsayıldığı takdirde; havadan günlük olarak alınan kadmiyum miktarının $1 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ den fazla olmayacağı hesaplanabilir. Solunan kadmiyumun % 50'si akciğerler tarafından absorbe edilir. Tütünün $0,5-3 \text{ } \mu\text{g gr}^{-1}$ kadmiyum içerdiği göz önüne alınırsa, günde 20 sigara içen bir kişinin $1-6 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ konsantrasyonunda kadmiyum alacağı bir gerçektir.

İçme suyunda $0,1-2 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ değerleri arasında değişim gösteren kadmiyum konsantrasyonu, bazı bölgelerde $10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 'ye kadar ulaşır. Günlük olarak 2 L su tüketimi sonucunda, sadece su ile meydana gelen kadmiyum maruziyetinin $1-10 \text{ } \mu\text{g gün}^{-1}$ olabileceği hesaplanabilir. Beslenme alışkanlıklarına göre, besinler ile günlük olarak alınan kadmiyum miktarı $10-30 \text{ } \mu\text{g}$ 'dır. Havada normal konsantrasyon limitleri arasında bulunan kadmiyum; kuru ve yaş birikim prosesleri sonucunda toprağa, buradan da bitkiler aracılığı ile besin zincirine dahil olur. Havadaki konsantrasyonunun artması sonucunda, topraktaki kadmiyum birikiminin artacağı ve bunun topraktaki asidifikasyonu fazlaştırmasıyla bitkiler tarafından alınan kadmiyum miktarının artacağı belirlenmiştir. Sigara (tütün) tüketimi nedeni ile iç ortam havasındaki kadmiyum konsantrasyonu, dış ortam kadmiyum konsantrasyonundan fazladır [18,66,69].

Kadmiyum içeriği $0,01 \text{ mg m}^{-3}$ havanın 14 günden daha fazla solunması durumunda kronik akciğer rahatsızlıkları ve böbrek yetmezliği ortaya çıkar. Çünkü kadmiyum ve bileşikleri genellikle böbrekler ve karaciğerde birikirler ve ilerleyen yaşlarla böbreklerdeki birikim yüksek tansiyona da sebep olabilmektedir. Kısa süreli olarak $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmiyum alınımı mide rahatsızlıklarına neden olurken, uzun süreli (>14 gün) $0,005 \text{ mg/kg/gün}$ dozu böbrek ve kemiklerde önemli problemlere neden olmaktadır [66].

Havadaki kadmiyum fume konsantrasyonu 1 mg m^{-3} limitini aşması durumunda, solunumdaki akut etkileri gözlemek mümkündür. Kadmiyumun vücuttan atılımının az olması ve birikim yapması nedeni ile sağlık üzerine olumsuz etkileri zaman doğrultusunda gözlenir. Uzun süreli maruziyetten en fazla etkilenecek organ böbreklerdir. Yapılan araştırmalarda; böbrekte biriken kadmiyum konsantrasyonunun (yaş ağırlık üzerinden) 200 mg kg^{-1} 'a ulaşması durumunda, böbrek fonksiyonlarında bozulma olduğu tespit edilmiştir. Böbrekte oluşan hasarın tekrar geriye dönüşü mümkün değildir. Akciğer ve prostat kanserlerinin oluşumunda kadmiyumun etkisi kesin olarak belirlenmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü insan sağlığının korunması için havadaki kadmiyum konsantrasyonunun; kırsal alanlarda $1-5 \text{ ng m}^{-3}$, zirai faaliyetlerin bulunmadığı kentsel ve endüstriyel bölgelerde $10-20 \text{ ng m}^{-3}$ 'ü aşmamasını tavsiye etmektedir [69].

2.3.3. Demir

Toprak kaynaklı karakteristik elementlerdendir. Odun yanmasıyla oluşan dumanda ve taşıt emisyonlarında sıklıkla bulunan elementler arasındadır. Fe, taşıtlarda fren balatasının aşınmasından ve korozyonundan ve taşıtın yıpranmasından kaynaklanır. Fe (oto) fren tozunda ve ağır-yük dizel emisyonlarında bulunur. Benzin-motor emisyonlarında bulunan elementler arasındadır. Bazı çalışmalarda yol tozlarında bulunduğu tespit edilmiştir. Fe kömür yanmasından oluşan uçucu külde bulunabilmektedir. Demir-çelik üretim tesislerinde sinter prosesi sırasında hava verilmesi (windbox) işlemleri ve döküm işlemleri partiküler demir oksitlerin oluşumuna

neden olur. Çelik üretiminde yüksek ark fırınlarında eritme işlemi esnasında demir oksitler oluşur [3].

İnsan vücudunda gıdalardan enerjinin üretimi ve kullanılması hücrelerde ve dokularda demirin bulunmasına bağlıdır. Demir eksikliği vücutta kansızlığa neden olur. Ayrıca periyodik olarak kan kaybına maruz kalan bayanlarda, hamilelerde ve doğum yapan annelerde eksikliği oluşur. Bu nedenle demir özellikle vücutta kan yapımında büyük önem taşımaktadır.

Demir, organizmada başta hemoglobin, miyoglobin ve solunum enzimlerinde bulunur. Emilmesi, ince bağırsakların üst kısımlarında olur ve Fe^{+2} , Fe^{+3} 'e göre daha kolay emilir. Demir vücutta başlıca karaciğer, dalak ve kemik iliği hücrelerinde depolanır [72].

Fakat fazla demir alımı karaciğerde tahribe neden olur. Demirin sağlık açısından toksidite değeri düşüktür. Sınır değerleri $4-6 \text{ mg m}^{-3}$ (her FeO) için aşırı doz yüklemesinin enfeksiyonlara karşı duyarlılığı artırdığı bilinmektedir. İngiltere'de işyeri havasında bulunmasına izin verilen çözünür Fe konsantrasyonu $1.000 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$, bunun 1/40 değeri olan dış havada izin verilen konsantrasyonu ise $25 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ 'tür [3]. Demirin atılması başlıca bağırsaklarda az olarak da böbrekler ve ter yolu ile olur. Demirin atılması oldukça sınırlı olduğundan demir yetersizliği uzun sürede ortaya çıkar. Demirden yetersiz bir organizmada ferritin kullanılır ve böylece bağırsaklardan demir emilimi uyarılır. Demir eksikliğinde anemi (kansızlık) görülür [72].

2.3.4. Çinko

Çinko beyazımsı ve kırılgan olup, yer kabuğunda 130 mg kg^{-1} civarındadır. Doğada çok dağılmış olarak bulunmakla birlikte, özellikle volkanik kayaların hepsinde bulunmaktadır [71].

Çinko, demir konstrüksiyon malzemelerinininkine kıyasla daha elektronegatif olduğundan çinko kaplamalar çelik yapılar için çok iyi korozyondan korunma sağlarlar ve bu özellik en önemli kullanım alanını oluşturur [73].

Çinko; motorlu taşıtlar, yakma faaliyetleri (kömür, çöp, atık yağ vs.), ve maden eritilmesi gibi antropojenik kaynaklardan ince partikül boyutunda, asfaltlı ve asfaltsız yollardan inşaat aktivitelerinden, doğal ve tarımsal topraklardan ise kaba partikül boyutunda oluşmaktadır. Ayrıca çinko kömür kazanlarından oluşan emisyonlarda ve kömürlü elektrik santrallerinden kaynaklanan uçucu külde ince partikül boyutunda bulunmaktadır [3].

Topraktaki çinko birikiminin kabul edilme sınırı $60-780 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir. Topraktaki çinko birikiminin kaynağı hem endüstriyel kirlilikler hem de fazla miktarda çinko içeren ve gübrelere bulunan doğal ham fosfattır. Ancak yol kenarlarındaki topraklarda biriken çinkonun kaynağı motor alaşımlarında ve oto lastiği yapımında katkı maddesi olarak kullanılan çinko bileşikleridir [61].

Çinko insan sağlığı açısından önemli bir eser elementtir. İnsan vücudundaki çinko miktarı 2-3 gr kadardır. İnsanlarda çinkonun en yüksek konsantrasyonu kemiklerde, kaslarda, prostatta, böbreklerde ve karaciğerde bulunmaktadır. Benzer durum hayvanlar içinde geçerlidir [74].

Çinko büyüme, deri bütünlüğü ve fonksiyonu, yumurta olgunlaşması, bağışıklık gücü, yara iyileşmesi ve karbonhidrat, yağ, protein, nükleik asit sentezi yada degradasyon gibi çeşitli metabolik prosesler için gereklidir [75]. Besinlerde 70'den fazla enzim fonksiyonu için ko-faktör bileşeni olarak gereklidir [74]. Fizyolojik miktarlardaki çinko Cd, Hg, Pb ve Sn gibi diğer ağır metal iyonlarının zehirleyici etkilerini azaltmaktadır. Çinko yetersizliği, gece körlüğüne, saç dökülmesine, çocuklarda yavaş büyüme, yaraların yavaş iyileşmesine, birçok deri sorununa, doğuştan sakatlıklara ve iştahsızlığa yol açmaktadır [71].

2.3.5. Krom

Krom gümüş beyazlığında parlak ve çok sert bir metal olup havada ve suyun altında oksitlenmez. Krom parlaklığı, sertliği ve korozyona dayanıklılığı nedeniyle, özellikle demir ve çelik üzerinde kaplama metali olarak kullanılır. Ayrıca, krom çeşitli metallerle alaşım üretiminde, çeliğin sertliğinin artırılmasında ve paslanmaz hale getirilmesinde önemli bir elementtir. Krom bileşiklerinden Cr (III) yada Cr (VI) formundan biri boya pigmenti üretiminde, deri ve ahşap koruma ve tekstil sanayinde kullanılır. Yapılan bazı çalışmalarda yol tozunda ve benzin-motor emisyonlarında bulunduğu tespit edilmiştir. Taşıt emisyonlarında diğer bazı elementlerle birlikte buhar olarak oluştuğu ancak sıcak egzoz gazının ortam havasıyla karıştığı sırada hızla yoğunlaştığı rapor edilmiştir [61,76].

Literatürde benzin motor emisyonlarında bor, kalsiyum, titan, krom, manganez, demir, kobalt, nikel, bakır, çinko, kadmiyum, baryum ve kurşun elementlerinin tespit edildiği ve trafikten kaynaklanan partikül maddenin konsantrasyonunun özellikle trafik yoğunluğunun yüksek ve dispersiyon şartlarının zayıf olduğu durumlarda artabildiği belirtilmektedir. Krom hava emisyonlarında ağırlıklı olarak trivalent krom, küçük parçacıklar veya aerosol şeklinde bulunmaktadır [3,66,76].

Vücutta insülin hareketini sağlayarak karbonhidrat, su ve protein metabolizmasını etkileyen krom, doğada her yerde bulunan bir metal olup havada $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$ ve kirlenmiş suda ortalama $1 \mu\text{g L}^{-1}$ bulunur [66].

Kromun başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmalardaki davranışı oksidasyon kademesine ve oksidasyon kademesindeki kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamdaki fiziksel yapısına bağlıdır.

Günde ortalama vücut için gerekli olan krom miktarı $30-200 \mu\text{g}$ 'dır. Krom diğer metallerden daha fazla zehirli olmamakla beraber, insanlarda ülser, cilt bozukluklarına, şeker hastalığına ve kansere neden olabilmektedir. Cr^{+3} vücudun glikoz, protein ve yağ metabolizmasında bulunur ve vücut için önemli bir besin ögesidir [76]. Yüksek oranda Cr^{+6} solunması ise; burunda tahrişlere, burun

kanamalarına, ülserlere, böbrek ve karaciğerde rahatsızlıklara ve sonuçta da ölümlere yol açabilir. Cr^{+6} ile temas deri hastalıklarına yol açabilir. Na_2CrO_4 ve $Na_2Cr_2O_7$ 'nin 0,01-2,5 mg m⁻³'lük bir aerosolde bulunması, burun tahrişi, ara bölme delinmesi, kronik kimyasal nezle ve faranjite, kulak hastalıklarına, karaciğer büyümesine, akciğer kanserine yol açmaktadır [3,61,71].

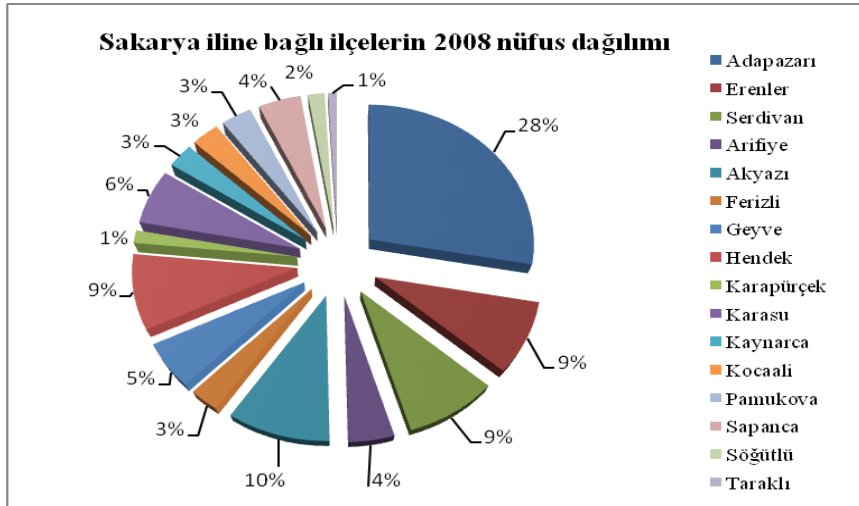
2.4. Sakarya İli Hakkında Genel Bilgi

Sakarya ilinin merkezi olan Adapazarı, adı ile anılan ovanın güneybatı kenarında kurulmuş olup, tarihi İstanbul'u Anadolu'ya bağlayan yolların Sakarya Irmağı'nı aştığı noktada bir köprübaşı ve kavşak noktası konumundadır. İl alanı doğudan Düzce ili, güneyden Bilecik'in; Gölpazarı ve Osmaneli, batıdan Kocaeli'nin; Kandıra, Merkez ve Gölcük ilçeleri, kuzeyden ise Karadeniz ile çevrilidir. Sakarya ili, ülkemizin kuzey batısında, Marmara Bölgesinin kuzeydoğu ucunda yer almaktadır. Doğudan Bolu, batıdan Kocaeli ve Bursa, güneyden Bilecik ve kuzeyden de Karadeniz ile çevrelenmiştir. Adapazarı Merkez ilçedir. Yüzölçümü 5.015 km² gerçek alan, 4.821 km² izdüşüm alanı olup rakımı 31 metredir. Sakarya ilinin yüzey şekilleri sade bir özellik gösterir [77].

2.4.1. Nüfus

2008 yılı nüfusu 851.292 olan Sakarya ilinin, 622.046'sı şehirlerde (%73), 229.246'sı ise köylerde (%27) yaşamaktadır. İlçeler itibarı ile nüfus dağılımı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

İlin nüfusu pek çok nedenlerden dolayı (hızlı sanayileşme ve iş gücü ihtiyacı, zengin ve verimli toprakları, gelişmeye müsait coğrafi yapısı, iklim ve bitki örtüsünün elverişliliği, büyük şehirlere yakınlığı, yatırım ve teşviklerin fazlalığı v.s.) çok hızlı bir şekilde artma eğilimi göstermektedir. İl nüfusunun hızla artmasında, yurdun çeşitli yerlerindeki iç göçler ile dış göçler etken olmuştur [77].



Şekil 2.7. Sakarya iline bağılı ilçelerin 2008 nüfus dağılımı

2.4.2. Tarım

Sakarya ili toplam 483.500 hektarlık alanı kapsamakta olup bunun 229.665 hektarlık kısmında tarım yapılmakta, bu da toplam alanın % 48'ini kaplamaktadır. Bu alanın 134.928 hektarı üzerinde tarla bitkileri yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu toprakların yaklaşık %33.3'ünde sulı, % 66.6'sında kuru şartlarda bitkisel üretim yapılmaktadır. Kuru ve sulı tarım şartlarında yetiştirilen en önemli ürünlerden başta mısır olmak üzere buğday, fındık, pancar ve ayçiçeği sayılabilir.

İlde üretilen tarla ürünleri tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler, süs bitkileri ve yem bitkileridir. İlde yöreye has ziraatı yapılan bitkiler şeker pancarı, tütün, ayçiçeği, patates ve çekirdek kabağı sayılabilir. Meyve üretiminde ise fındık, üzüm, ayva, kiraz, vişne ağırlıklı durumdadır. Buğday üretiminde verim Türkiye ortalamasına göre yüksektir. İlimizde tarla bitkileri arasında mısır ekilişlerinin özel bir önemi vardır. Her yıl ortalama 55.000 hektar alanda ekimi yapılan mısıra; endüstri, hayvan yetiştiricileri ve haşlamalık olarak tüketiciler tarafından yüksek talep oluşturulmaktadır [78].

2.4.4. Sanayi

İnsan ihtiyaçlarının sonsuz olması, sanayinin gelişmesine, hızlanmasına ve modernleşmeye sebep olmuştur. İnsan olduğu yerin hep üzerinde olmak istemiştir. İlk önce düşünce ile başlayan isteyiş zamanla beyinler tarafından icraata dökülmüştür. İhtiyacın büyük emek gücü ile karşılanması, bunun sonucunda maliyetin pahalıya mal olmasına nedendir. İnsan emeğinin az harcandığı sanayi bugün inanılmaz boyutlara ulaşmıştır. Bugün milletler sanayi alanında soğuk savaş halindedir.

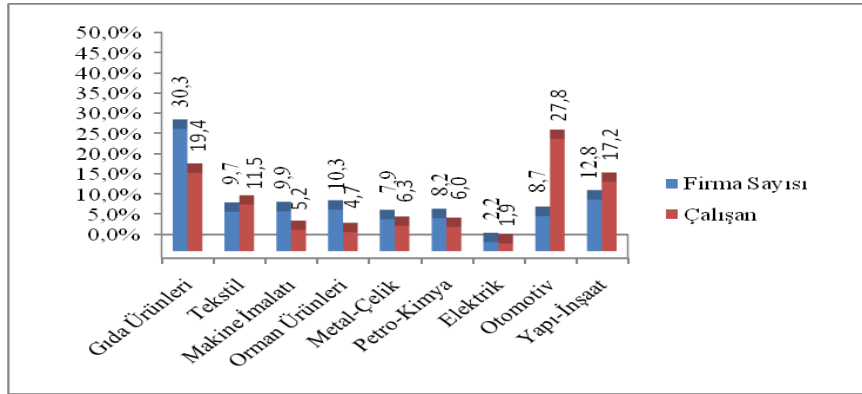
Sakarya ili Marmara Bölgesi'nin doğusunda ve Avrupa'nın Anadolu'ya açılan kapıları olan önemli iki karayolu (Tem otoyolu ve D-100) ve bir demiryolu bağlantı güzergâhı üzerindedir. Konumu ve Türkiye'nin lokomotifi olan İstanbul'a yakınlığı nedeniyle sanayicilerin buraya yatırım yapmalarında tercih edilmektedir.

Sanayi alanında 1950'lerden sonra artan yatırımlar, 1960 ve 1970'li yıllarda İzmit'e yoğunlaşırken bu bölgede uygun alanların azalması sonucu yol boyunca doğuya doğru kaymıştır. Sakarya ilinde Adapazarı merkez başta olmak üzere bu yatırımlar ağırlıklı olarak 1980 sonrasında görülmüştür. Özellikle 1990'lı yıllar da bu bölgede yatırımlar hızla artmıştır. Bu dönemlerde yeni sanayi bölgeleri oluşturularakta bu süreç desteklenmiştir.

Bugün ise ikisi faal, biri inşaatı tamamlanmak üzere olan ve dördü plan halinde bulunan OSB ile Sakarya ili sanayi yatırımlarını kendine çekmektedir. Ayrıca OSB haricinde de büyük holdingler kendilerine geniş alanlar satın alarak sanayi üstleri kurmaktadır.

Sakarya da ayrıca otomotiv ve yan sanayi, tekstil, gıda, orman ürünleri, elektrik-elektronik, yapı-inşaat malzemeleri, süs bitkiciliği, mobilya, metal eşya, giyim, kimya ve ilaç imalatı ile uğraşan kuruluşlar bulunmaktadır.

Sakarya ilinde sanayi alanında gelişme en fazla merkez ilçede bulunmaktadır. Bunu sırayla Akyazı, Hendek, Geyve, Pamukova, Karapürçek, Sapanca, Kaynarca, Söğütlü, Ferizli ve Taraklı ilçeleri takip etmektedir.



Şekil 2.8. Sanayi alanı bazında firma ve çalışan sayısı dağılımı

Sanayi kuruluşlarından meydana gelen emisyonların, hiç bir önlem alınmadan atmosfere bırakıldığında partiküller, SO₂, NO_x, HC, CO-CO_x, H₂S, florür, koku, duman ve diğer organik kimyasallar atılmaktadır. Araçlardan kaynaklanan egzoz gazları da hava kirliliğine neden olmaktadır. Egzoz emisyon ölçümleri düzenli olarak iki ekip tarafından yürütülerek standart değerleri uygun olanlara “Emisyon Pulu” verilmektedir. Standart değerleri sağlamayanlar bakım ve onarıma gönderilmektedir. Emisyon izin belgelerini Çevre ve Orman Bakanlığı’ndan yeterlilik almış resmi/özel kurum ve kuruluşlar tarafından emisyon ölçümleri yapılarak Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği’nin (HKKY) ilgili standart değerlerine uyanlara Mahalli Çevre Kurulu’na emisyon izin belgesi verilmektedir. Almayanlara gerekli uyarılar yapılmakta olup, ceza işlemi uygulanmaktadır [78,79].

2.4.5. Çevre sorunları ve alınan önlemler

Çevre koruması açısından tedbir alınmadığı ve uygun teknolojiler kullanılmadığı takdirde çevre üzerinde ve toplumda olumsuz sonuçlar doğuran bir dengesizlik sorunu ortaya çıkmakta, giderek kaynakların tahribine, çevrenin hızla kirlenmesine ve sanayi sektöründen kalkınma da beklenen yararların giderek kaybolmasına neden olmaktadır. Sanayileşme doğal kaynakları harcaması, enerji tüketimi, baca

emisyonları ve imalat prosesleri sonucu kirlilik ve atıklar nedeniyle çevre sorunları ile karşılaşmaktadır. İşletmelere düzenli denetimlerde bulunarak deşarj ve emisyon kontrolleri yapılmaktadır. Deşarj ve emisyon izin belgeleri olmayanlara ceza uygulanmaktadır [77, 78].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

3.1. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi

Atomik Absorpsiyon Spektrometresi, yüksek sıcaklıkta gaz halinde bulunan element atomlarının elektromagnetik ışınları absorplaması temeli üzerine kurulmuştur. Absorplanan elektromanyetik ışınlar genellikle ultraviyole ve görünür alan ışınlarıdır.

Bir elementin atomik absorpsiyon spektrometresiyle analizini yapmak için o elementin önce nötral hale, sonra buhar haline gelmesi, daha sonra da bir kaynaktan gelen elektromanyetik ışın demetinin yoluna dağılması gerekir. Bu işlem, ya elementi bileşik halinde ihtiva eden bir çözeltinin sis halinde yüksek sıcaklıktaki bir alev içine püskürtülmesi veya elementi bileşik halinde içeren numunenin karbon numune kabına konarak kabın elektrik arkıyla akkor haline getirilmesi suretiyle gerçekleştirilir [80].



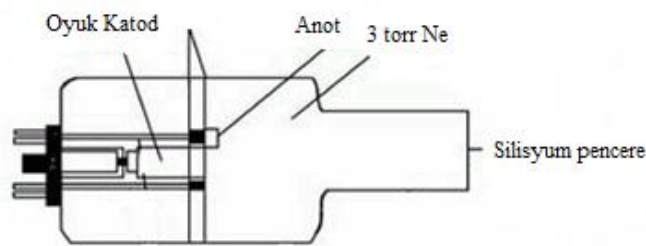
Şekil 3.1. Alevli atomik absorpsiyon spektrometre (FAAS) cihazının genel görünümü

3.1.1. Alevli atomik absorpsiyon spektrometresi

Alevde yada ark da buharlaştırılan bazı atomların elektronları uyarılarak buldukları temel düzeyden uyarılmış enerji düzeyine geçerler. Bu geçişler belirli bir kural ile sınırlıdır. Uyarılmış elektronlar temel enerji düzeylerine dönerken iki düzey arasındaki enerji farkına eşit ışın yayarlar. Bu ışın bir spektrofotometre ile ölçülebilir. Böylece elde edilen emisyon spektrumu incelenen element atomunun karakteristiğidir. Atom bileşik halinde ise uyarma kaynağının sıcaklığı, bileşiğin atomlarına ayrışmasına ve oluşan atomların emisyon yapabilmesine yeterli olmalıdır [80].

3.1.1.1. Işın kaynağı

Atomik absorpsiyon cihazında ışın kaynağı olarak genellikle oyuk katot lambaları kullanılır. Bu tip lambalar 1-5 torr basınçta argon veya neon ile doldurulmuş bir cam tüp içinde, bir tarafı kapalı silindirik katot ve bir tungsten anottan ibarettir. Katot, spektrumu istenen metalden veya bu metalin bir tabakasını desteklemede kullanılan başka bir metalden imal edilmiştir.



Şekil 3.2. Oyuk katot lambası

Elektrotlar arasında 300 V civarında bir potansiyel uygulanınca, inert gaz atomları iyonlaşır. İyonlar ve elektronlar elektrotlara göçerken, 5-15 mA'lık bir akım oluşur. Potansiyel farkı yeterli ise, yüksek hızla katoda çarpan katyonlar, katot yüzeyindeki

atomlardan bazılarını koparıp gaz fazına geçirir. Bu duruma sıçratma denir. Sıçratılan metal atomların çoğu uyarılmış haldedir ve bunlar temel hallerine dönerken karakteristik ışın yayarlar. Sonuçta, metal atomları geri katot yüzeyine difüzenir veya tüpün cam duvarlarında birikirler [80].

3.1.1.2. Alev atomlaştırma

Bir alev atomlaştırıcıda, atomlaşmanın olduğu bir alev içine numune çözeltisi yanıcı gaz ile karışan yükseltgen gaz akışıyla taşınır ve püskürtülür. İlk olarak çözücü buharlaşır ve çok ince dağılmış bir moleküler aerosol oluşur. Bu olaya 'çözücünün uzaklaşması' denir. Bu moleküllerin çoğunun ayrışması sonucu, bir atomik gaz oluşur. Bu şekilde oluşan atomların çoğu, katyonlar ve elektronlar vermek üzere iyonlaşır [81].

3.1.1.3. Alev tipleri

Gaz akış hızı yanma hızını aşmazsa, alev bek içinde kendi kendine geriye ilerler. Akış hızı arttıkça, akış ve yanma hızlarının eşit olduğu bir noktaya ulaşıncaya kadar alev yükselir. Bu bölge alevin kararlı olduğu yerdir. Yüksek akış hızlarında, alev yükselir ve sonunda bekin söndüğü noktaya ulaşılır. Bu faktörler, yanıcı / yükseltgen karışımının akış hızını kontrol etmenin önemini gösterir. Bu akış hızı, yanıcı cinsine ve kullanılan yükseltgene oldukça bağlıdır [81].

Tablo 3.1. Alevlerin özellikleri

Yanıcı	Yükseltgen	Sıcaklık	Maksimum Yanma Hızı (cm s ⁻¹)
Doğal Gaz	Hava	1700 - 1900	39 - 43
Doğal Gaz	Oksijen	2700 - 2800	370 - 390
Hidrojen	Hava	2000 - 2100	300 - 440
Hidrojen	Oksijen	2550 - 2700	900 - 1400
Asetilen	Hava	2100 - 2400	158 - 266
Asetilen	Oksijen	3050 - 3150	1100 - 2480
Asetilen	Nitroz Oksit	2600 - 2800	285

3.1.1.4. Monokromatör

Monokromatörler spektral taramaları yapabilmek için tasarlanmış sistemlerdir. Ultraviyole, görünür ve infrared ışınlar için kullanılan monokromatörler mekanik açıdan aynı tasarlanmış olup, yapılarında slitler, mercekler, optik ağ veya prizmalar içerirler.

Monokromatörler prizmalı ve optik ağı olmak üzere iki çeşittir. Fakat daha iyi dalga boyu ayırımı vermelerinden ve ışınları odak düzlemi boyunca doğrusal olarak ayırdıklarından dolayı, optik ağı monokromatörler daha çok tercih edilir [64,80].

3.1.1.5. Detektörler

Atomik absorpsiyon spektrometresinde foto çoğaltıcı detektör kullanılır. Bu detektör, ışın kaynağından gelen ışınlar ve atomlaştırıcıda oluşan yayımlara yanıt vermektedir. Alev yayılması, soğurmanın ölçüldüğü yayılım çizgisi ve ölçüm dalga boyunda etkili olabilecek moleküler bant yayımları ve alevdeki küçük katı taneciklerin saçtığı ışınlardan oluşur. Bu yayımlar detektörde sinyal oluşturarak absorbansın düşük bulunmasına neden olurlar. Bu etkiyi azaltmak için ışın kaynağı modüle edilir ve yükseltici modülasyon frekansına ayarlanarak alev yayılımının detektörde oluşturduğu elektrik sinyalinin yükseltilmesi önlenir [80].

3.1.1.6. Girişimler

Bir element yada molekülün başka bir elementin tayinini karıştırmasına girişim denir. Girişim tayini yapılan elementin verdiği sinyalin büyütülmesi veya küçültülmesi şeklinde olabilir. Buna göre element miktarı fazla veya eksik bulunur.

Örneğin, bir matrisin bulunması atomik türlerin maksimum yükseklik sinyalinde düşüşle sonuçlanarak atom sayısındaki azalmayı yavaşlatabilir, fakat entegre sinyal değişmeden kalır. Eğer diğer durumda, serbest bırakılmış toplam atom sayısı matrisin bulunmasıyla değiştiriliyorsa, maksimum yükseklik ve entegre sinyaller değiştirilebilir [80,81].

a. Kimyasal girişimler

Analiz elementinin ortamda bulunan anyon, katyon veya radikallerle birleşerek, daha zor atomlaşan türler oluşturması ile gözlenir. Örneğin, kalsiyum analizinde alüminyumun varlığı sinyal azaltıcı bir etki yapar. Bunu önlemek için, ortama lantanyum, magnezyum gibi elementler ilave edilir. Bu elementleri eklememizin sebebi, alüminyumdan önce atomlaşarak bağlayıcı etki yaparlar [80,81].

b. Fiziksel girişimler

Fiziksel girişim, analizi yapılacak maddenin ve standardın fiziksel hallerinin farklı olmasından ileri gelir. Bu fiziksel haller de çözelti veya standardın;

- i. Viskozitelerinin farklı
- ii. Sisleşme oranlarının farklı
- iii. Yoğunluklarının farklı olmasıdır.

Bu tür girişimleri önlemek için analizi yapılacak olan maddeye yüzey gerilimi azaltıcı maddeler eklenir veya standart ekleme yöntemi kullanılır [80,81].

c. İyonlaşma girişimleri

Bu girişim türü, ortamda yüksek derişimlerde iyonlaşmanın görüldüğü durumlarda ortaya çıkar. Ortam sıcaklığı çok yüksek olursa analit iyonlaşır. Böylece, iyon sayısı artar, atom sayısı azalır ve analiz edeceğimiz atom sayısı azalmış olur. İyonlaşmanın

engellenmesi için, analitten daha önce iyonlaşan maddeler eklenir (Örneğin; Na, K). Böylelikle ortam iyonca zengin olur ve analit iyonlaşacak ortam bulamayacağından iyonlaşmadan kalır [80,81].

d. Spektral girişimler

- i. **Atomik girişimler:** Analiz elementi hattının başka bir elementin rezonans hattı ile çakışması veya ona çok yakın bir hatta olması durumunda ortaya çıkar. Örneğin; çinko 213,8 nm dalga boyunda ışığa yaparken, fosfor ise, 213,6 nm'de ışığa yapar. Görüldüğü üzere iki elementin rezonans hattı birbirine çok yakındır. Bu nedenle bu iki element birbirine girişim yaparlar.
- ii. **Moleküler girişimler:** Molekül ve radikalın soğurum bandıyla çakışma olması durumunda gözlenir. Örneğin; Sülfatların bozulma ürünleri olan, SO₂, SO₃ gibi moleküller, 200-400 nm arasında girişim yaparlar. Bu istenmeyen bir durumdur. Analit elementini bağlarlar ve daha yüksek sıcaklıkta bir alev sağlanmasını gerektirirler.
- iii. **Işık saçılması:** Bu olay özellikle grafit fırınlı AAS'de gözlenir. Sinyal gerçek değerinden daha büyük değerde ortaya çıkar. Ortamda bulunan ve tamamen buharlaşmamış katı parçacıklar, ışık saçılmasına neden olur [80,81].

3.2. Numunelerin Toplanması

Bu çalışmada, araştırma bölgesi olarak Sakarya ilinin Serdivan ilçesi (Üniversite Kampüsü) ve Adapazarı ilçesinden (Şehir Merkezi, Ozanlar, Yeşiltepe) dört bölge belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Numune alınan bölgeler (Google Earth'ten alınmıştır)

Belirlenen bu bölgelerden Haziran-2009'dan Kasım-2009'a kadar olan sürede, optimize edilerek bulunan 2 saatlik periyotlarda duplike olarak, Şekil 3.5'te gösterilen ve hava emiş gücü saatte 2 m^3 olan Isleworth Gravimetric Type 113A hava toz örnekleyicisi yardımıyla, PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ boyut aralıklarında toplam 96 adet atmosferik partikül örneği toplanmıştır. Atmosferik partikül örneklerin toplanmasında iki farklı gözenek çapında (1μ ve 10μ) filtre kağıtları (Whatman 1242 ve 1246) kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Isleworth Gravimetric Type 113A hava toz örnekleyicisi

Numunelerin toplanması esnasında rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık ve nem değerleri de kaydedilmiştir. İlgili dönemlere ait ortalama değerler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Numune toplanan aylara ait ortalama meteorolojik veriler

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Rüzgar Hızı (km h ⁻¹)	Ortalama Nem (%)	Rüzgar Yönü	Gökyüzü
Haz.09	32,3	11,5	94,3	KKD	Güneşli
Tem.09	32,3	16,3	92,5	KKD	Güneşli
Ağu.09	31,3	12,3	95,3	KKB	Çok bulutlu - Güneşli
Eyl.09	22,8	9,0	90,0	KKD	Parçalı bulutlu
Eki.09	27,5	9,3	92,3	KKB	Sisli - Parçalı bulutlu
Kas.09	25,3	9,3	90,3	KKB	Parçalı - Çok bulutlu

3.3. Numunelerin Hazırlanması

Filtre kağıtlarında kaç gram toz toplandığını öğrenmek için numune toplamadan önce ve numune topladıktan sonra filtre kağıtları tartılmıştır. Daha sonra filtre kağıtları ağırlık farklarından toz miktarları hesaplanmıştır.

Filtre kağıtları ile toplamış olduğumuz aerosol örnekleri yaş yakma yöntemi ile çözünürleştirilmiştir. Filtreler 8 ml nitrik asit (HNO₃) ve 2 ml perklorik asit (HClO₄) kombinasyonu ile birlikte 90 °C de 1 saat reaksiyona girerek çözünürleştirilmiştir. Çözündürme işleminden sonra, bu çözeltiler mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülerek 25 ml’lik balon jöjeye alınmış ve 0,5 M HNO₃ çözeltisi ile hacmi 25 ml’ye tamamlanmıştır.

Yapılan bu işlemlerden sonra partikül maddelerde bulunan Cr, Fe, Pb, Zn ve Cd metallerinin tayini Shimadzu AA 6701F model Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı ile yapılmış olup, elementlerin analizi sırasında uygulanan çalışma şartları Tablo 3.3’de verilmiştir.

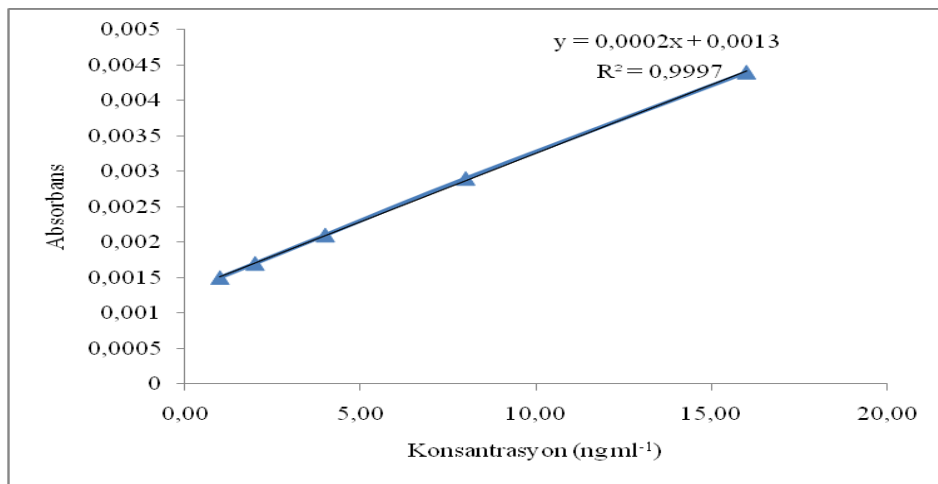
Tablo 3.3. Alevli AAS ile ilgili çalışma şartları

Elementler	Akım şiddeti (mA)	Dalga boyu (nm)	Slit aralığı (nm)	Gaz akış hızı (Ldak ⁻¹)	Alev Tipi	Numune toplama sayısı	Numune Tekrar sayısı
Pb	10	283,3	0,5	2,0	Hava - Asetilen	2	3
Zn	8	213,9	0,5	2,0	Hava - Asetilen	2	3
Cr	10	357,9	0,5	2,8	Hava - Asetilen	2	3
Fe	12	248,3	0,2	2,2	Hava - Asetilen	2	3

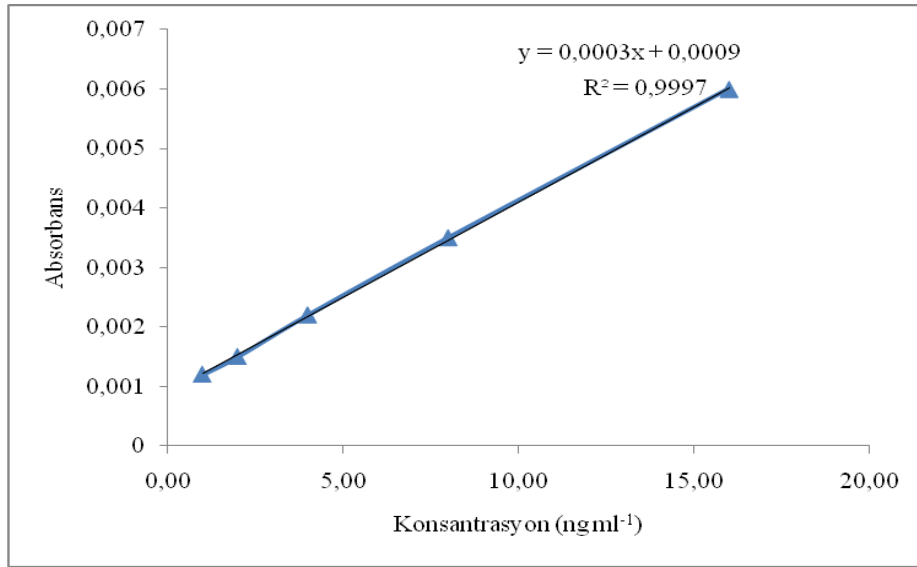
3.4. Standart Çözeltilerin Hazırlanması

Analizi yapılmak istenilen elementlerin (Cr, Fe, Pb, Zn ve Cd) 1000 ppm lik spektroskopik kalite stok standart çözeltileri 0,5 M HNO₃ ile seyreltilerek hazırlanmıştır. Kadmiyum dışındaki bütün elementlerden 1'er ml, kadmiyumdan ise 0,1 ml alınarak 0,5 M HNO₃ ile 100 ml'ye tamamlanarak stok bir karışım elde edilmiştir. Bu stok çözeltiden 1 ppb, 2 ppb, 4 ppb, 8 ppb ve 16 ppb'lik standart çözeltiler hazırlanmıştır.

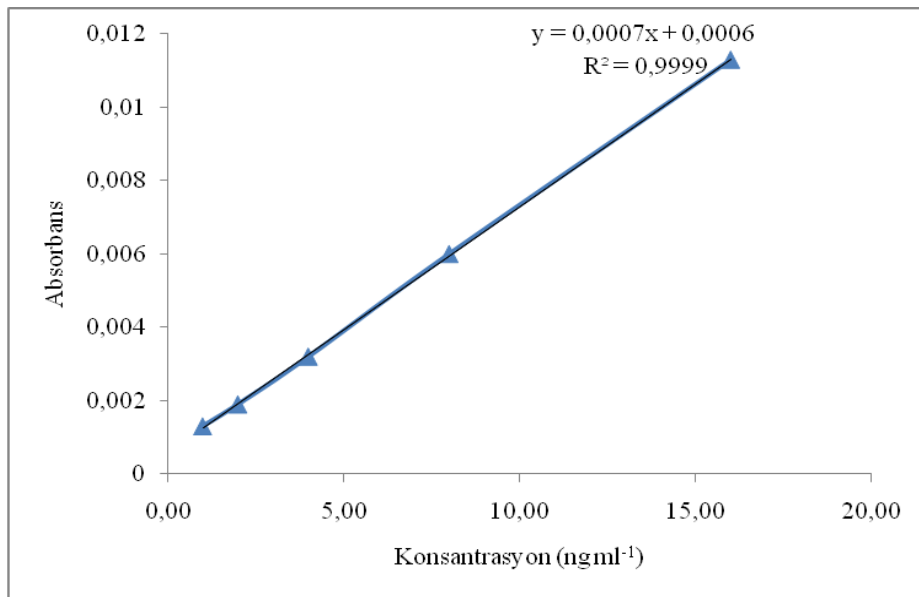
Bu elementlerin hazırlanan standart çözeltilerinin absorbansları alevli AAS cihazı ile ölçülmüş ve okunan absorbans değerlerine karşı her bir element için kalibrasyon grafikleri çizilmiştir. Çizilen kalibrasyon grafikleri Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmektedir.



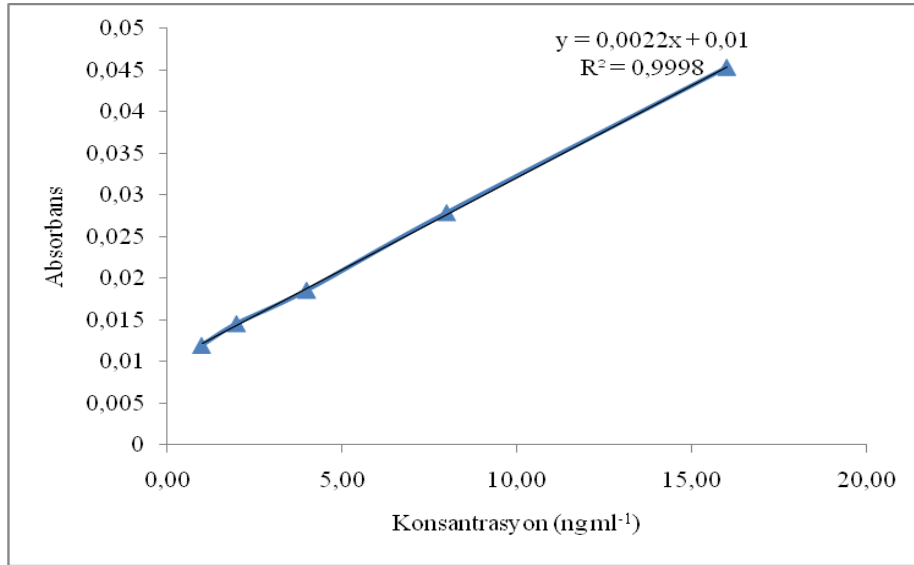
Şekil 3.5. Krom metaline ait kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.6. Demir metaline ait kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.7. Kurşun metaline ait kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.8. Çinko metaline ait kalibrasyon eğrisi

BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

Sakarya ilinin Serdivan ilçesi (Üniversite Kampüsü) ve Adapazarı ilçesinin (Şehir Merkezi, Ozanlar, Yeşiltepe) belirlenen bölgelerinden Haziran 2009 – Kasım 2009 dönemi aralığında Islaworth Gravimetric Type 113A hava toz örnekleyicisi kullanılarak elde edilen PM_1 ve PM_{10} partikül madde toz numunelerinin miktarları (mg) Tablo 4.1’de verilmiş, grafikleri ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

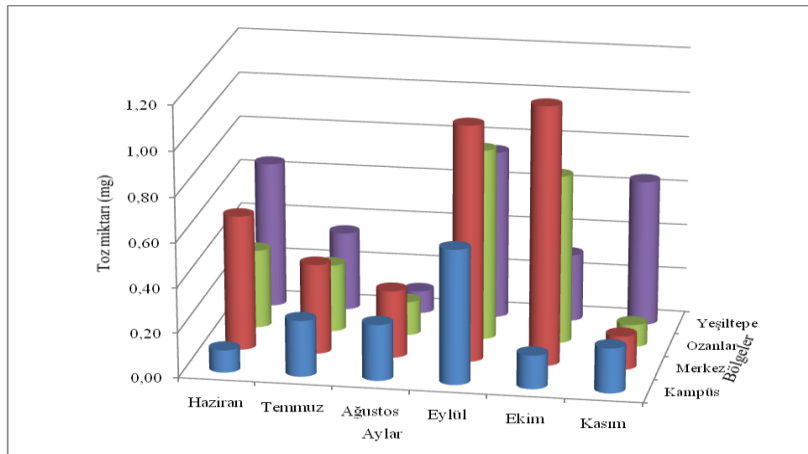
Tablo 4.1. Aylar ve bölgeler bazında toplanan PM_1 ve PM_{10} partiküler madde toz miktarları (mg)

Aylar	Kampüs		Merkez		Ozanlar		Yeşiltepe		Ortalama		Aralık	
	PM_1	PM_{10}	PM_1	PM_{10}	PM_1	PM_{10}	PM_1	PM_{10}	PM_1	PM_{10}	PM_1	PM_{10}
Haziran	0,10	0,05	0,60	0,55	0,35	0,50	0,65	0,20	0,43	0,33	0,10 - 0,65	0,05 - 0,55
Temmuz	0,25	0,25	0,40	0,40	0,30	0,40	0,35	0,65	0,32	0,43	0,25 - 0,40	0,25 - 0,65
Ağustos	0,25	0,20	0,30	0,40	0,15	0,15	0,10	0,20	0,20	0,24	0,10 - 0,30	0,15 - 0,40
Eylül	0,60	0,70	1,05	0,55	0,85	1,05	0,75	0,75	0,81	0,76	0,60 - 1,05	0,55 - 1,05
Ekim	0,15	0,55	1,15	1,05	0,75	0,85	0,30	0,75	0,59	0,80	0,15 - 1,15	0,55 - 1,05
Kasım	0,20	0,05	0,15	0,15	0,10	0,60	0,65	0,20	0,27	0,25	0,10 - 0,65	0,05 - 0,60
Ortalama	0,26	0,30	0,61	0,52	0,42	0,59	0,47	0,46	0,44	0,47	0,26 - 0,61	0,30 - 0,59

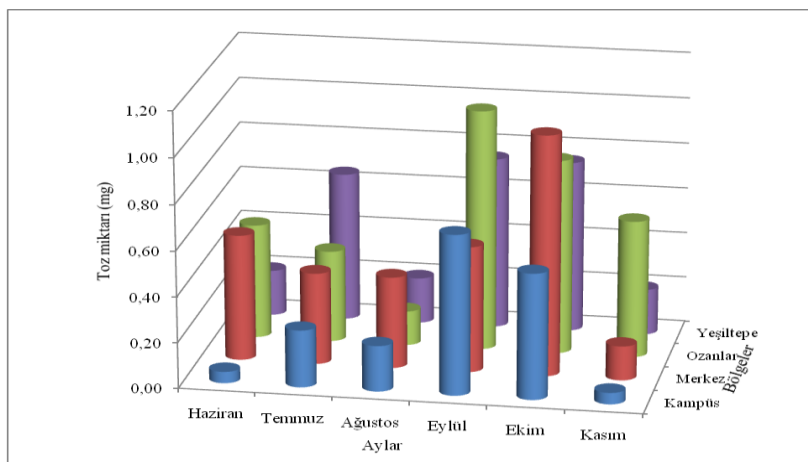
Kampüs bölgesinde partikül madde toz miktarı en yüksek Eylül ayında (PM_1 için 0,60 mg ve PM_{10} için 0,70 mg) elde edilmiştir. Merkez bölgesinde partikül madde toz miktarı en yüksek Ekim ayında (PM_1 için 1,15 mg ve PM_{10} için 1,05 mg) bulunmuştur. Ozanlar bölgesinde partikül madde toz miktarı en yüksek Eylül ayında (PM_1 için 0,85 mg ve PM_{10} için 1,05 mg) ölçülürken, Yeşiltepe bölgesinde ise PM_1 partikül madde toz miktarı en yüksek (0,75 mg) Eylül ayında, PM_{10} (0,75 mg) partikül madde miktarı ise en yüksek Eylül ve Ekim aylarında gözlemlenmiştir.

Bölgelerin aylar bazındaki partikül madde toz miktar ortalamaları incelendiğinde, PM_{10} (0,61 mg) için Merkez bölgesi, PM_{10} (0,59 mg) için Ozanlar bölgesi en yüksek seviyede ölçülürken, en düşük PM_{10} (0,26 mg) ve PM_{10} (0,30 mg) partikül madde toz miktarı ise Kampüs bölgesinde çıkmıştır.

Ayların bölgeler bazındaki ortalamalarına bakıldığında, PM_{10} (0,81 mg) partikül madde miktarı Eylül ayında, PM_{10} (0,80 mg) ise Ekim ayında en yüksek seviyede bulunurken, Ağustos ayında ise (0,20 mg, 0,24 mg) en düşük seviyede ölçülmüştür.

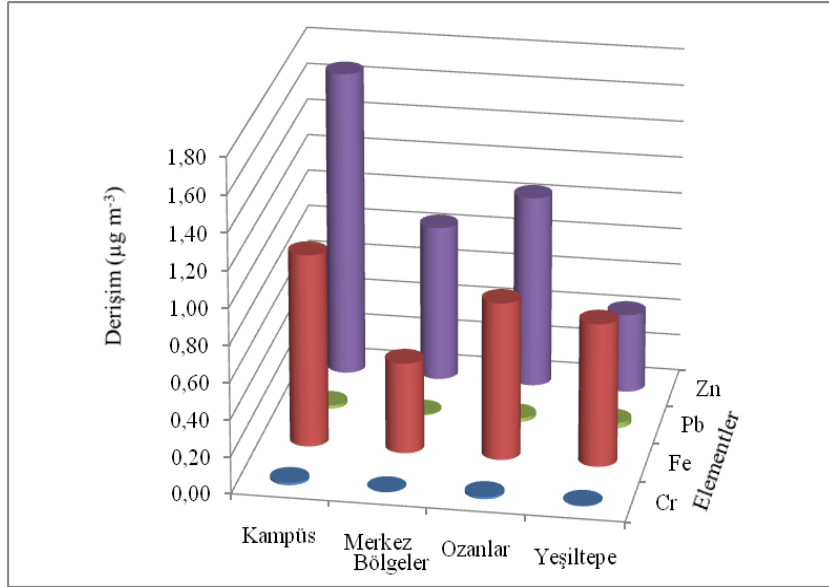


Şekil 4.1. Aylar ve bölgeler bazında toplanan PM_{10} partiküler madde toz miktarları (mg)

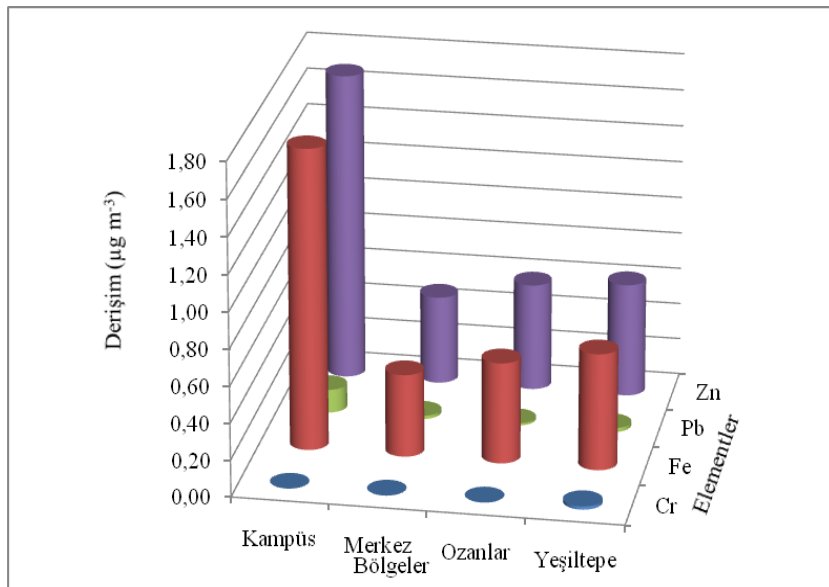


Şekil 4.2. Aylar ve bölgeler bazında toplanan PM_{10} partiküler madde toz miktarları (mg)

PM₁ ve PM₁₀ partikül madde toz örneklerinin toplandığı bölgelere ait ağır metal derişim değerlerine ait grafik ve tablo gösterimi Şekil 4.3, Şekil 4.4, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. PM₁ toz örneklerinin bölge bazında ağır metal derişimleri



Şekil 4.4. PM₁₀ toz örneklerinin bölge bazında ağır metal derişimleri

Tablo 4.2. PM₁ toz örneklerinin bölgelere ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$)

Bölge	Cr		Fe		Pb		Zn	
	Aralık	Ortalama \pm %RSD	Aralık	Ortalama \pm %RSD	Aralık	Ortalama \pm %RSD	Aralık	Ortalama \pm %RSD
Kampüs	0,000 - 0,049	0,014 \pm 0,767	0,020 - 2,678	1,049 \pm 4,425	0,000 - 0,069	0,019 \pm 8,550	0,011 - 4,805	1,675 \pm 2,758
Merkez	0,000 - 0,003	0,000 \pm 0,000	0,012 - 1,005	0,494 \pm 2,992	0,000 - 0,030	0,006 \pm 4,350	0,003 - 3,085	0,853 \pm 1,258
Ozanlar	0,000 - 0,041	0,012 \pm 0,000	0,053 - 1,725	0,857 \pm 3,892	0,000 - 0,121	0,020 \pm 2,767	0,106 - 1,913	1,051 \pm 2,175
Yeşiltepe	0,000 - 0,015	0,002 \pm 0,458	0,201 - 2,918	0,779 \pm 2,192	0,000 - 0,153	0,029 \pm 9,192	0,092 - 0,808	0,432 \pm 5,458
Ortalama	0,000 - 0,027	0,007 \pm 0,306	0,071 - 2,081	0,795 \pm 3,375	0,000 - 0,093	0,019 \pm 6,215	0,053 - 2,653	1,003 \pm 2,913

Tablo 4.3. PM₁₀ toz örneklerinin bölgelere ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$)

Bölge	Cr		Fe		Pb		Zn	
	Aralık	Ortalama \pm %RSD	Aralık	Ortalama \pm %RSD	Aralık	Ortalama \pm %RSD	Aralık	Ortalama \pm %RSD
Kampüs	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000	0,113 - 5,460	1,648 \pm 2,417	0,000 - 0,750	0,128 \pm 3,367	0,000 - 7,245	1,690 \pm 5,267
Merkez	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000	0,003 - 0,791	0,451 \pm 3,325	0,000 - 0,036	0,018 \pm 3,867	0,010 - 1,219	0,484 \pm 3,817
Ozanlar	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000	0,020 - 1,317	0,552 \pm 3,575	0,000 - 0,074	0,012 \pm 4,442	0,124 - 1,411	0,587 \pm 1,708
Yeşiltepe	0,000 - 0,106	0,018 \pm 3,125	0,177 - 1,469	0,637 \pm 2,583	0,000 - 0,058	0,022 \pm 2,167	0,002 - 1,499	0,623 \pm 2,892
Ortalama	0,000 - 0,027	0,004 \pm 0,781	0,078 - 2,259	0,822 \pm 2,975	0,000 - 0,229	0,045 \pm 3,460	0,034 - 2,844	0,846 \pm 3,421

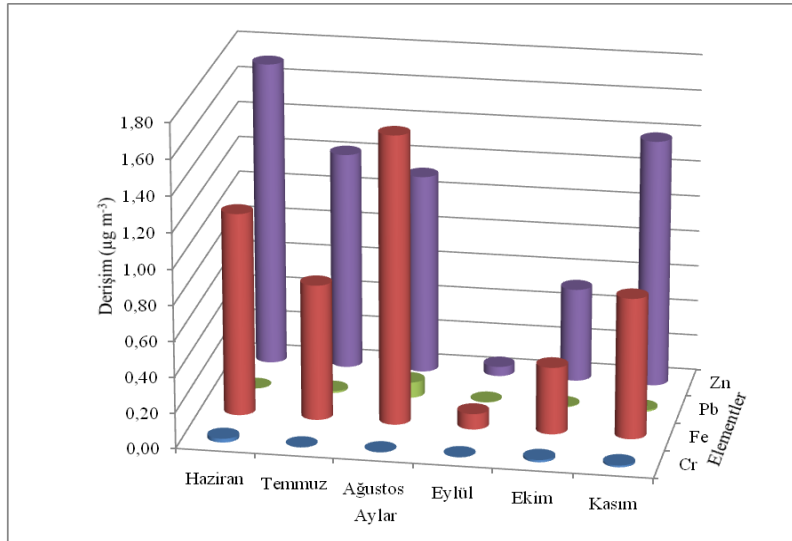
Tablo 4.2’de verilen PM_{10} partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazında derişim değerleri incelendiğinde, çinko metali Kampüs bölgesinde en yüksek seviyede ($1,675 \mu\text{g m}^{-3}$) bulunurken, krom metali ise Merkez bölgesinde rastlanılmamıştır.

PM_{10} partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazındaki derişim ortalamalarına bakıldığında ise, çinko metali en yüksek derişim değerindeyken ($1,003 \mu\text{g m}^{-3}$), krom metali en düşük derişime ($0,007 \mu\text{g m}^{-3}$) değerine sahiptir.

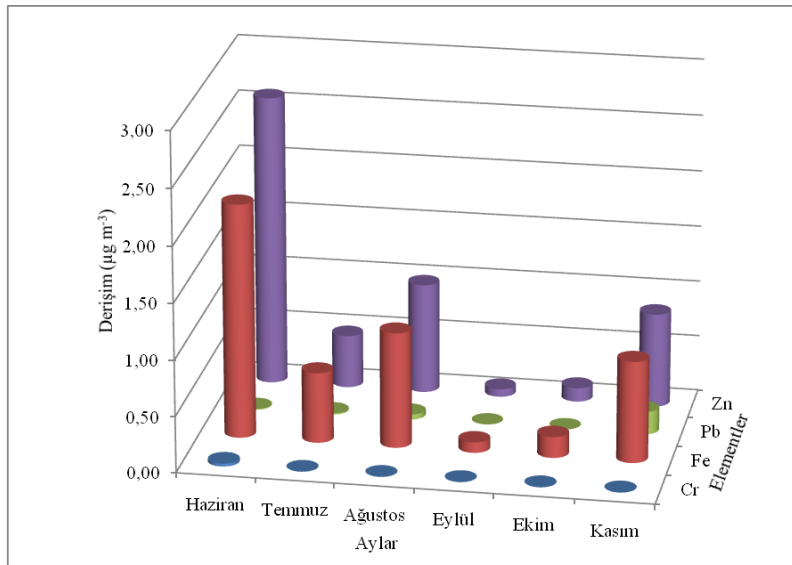
PM_{10} partikül maddelerinde bulunan metallerin bölgeler bazında derişim değerlerine Tablo 4.3’de bakıldığında, çinko metali Kampüs bölgesinde en yüksek seviyesine ulaşırken ($1,690 \mu\text{g m}^{-3}$), krom metali ise Yeşiltepe bölgesi hariç diğer bölgelerde gözlenememiştir.

Metal derişimlerin PM_{10} partikül maddeleri için bölgeler bazındaki ortalamalarına bakıldığında ise, çinko metali en yüksek derişim değerindeyken ($0,846 \mu\text{g m}^{-3}$), krom metali en düşük derişimi ($0,004 \mu\text{g m}^{-3}$) göstermiştir.

PM_{10} ve PM_{10} partikül madde toz örneklerinin toplandığı aylara göre ağır metal derişim değerlerine ait grafik ve tabloları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ile Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. PM₁ toz örneklerinin ay bazında ağır metal derişimleri



Şekil 4.6. PM₁₀ toz örneklerinin ay bazında ağır metal derişimleri

Tablo 4.4'de verilen PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin aylar bazında derişim değerleri incelendiğinde, çinko metali haziran ayında en yüksek seviyede ($1,710 \mu\text{g m}^{-3}$) bulunurken, krom metaline ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında rastlanılmamıştır.

Metallerin aylar bazındaki derişim ortalamalarına PM_{10} partikül maddeleri için bakıldığında, çinko metali en yüksek derişim değerindeyken ($1,003 \mu\text{g m}^{-3}$), krom metali tüm metaller arasında en düşük derişim değerine ($0,007 \mu\text{g m}^{-3}$) sahiptir.

PM_{10} partikül maddelerinin içerdikleri metallerin aylar bazında derişim değerleri Tablo 4.5'te karşılaştırıldığında, çinko metali Haziran ayında en yüksek seviyede ($2,593 \mu\text{g m}^{-3}$) gözlemlenirken, krom metali ise sadece haziran ayında çıkmış ($0,027 \mu\text{g m}^{-3}$), diğer aylarda çıkmamıştır.

Aylar bazındaki PM_{10} partikül maddelerinin ağır metal derişim ortalamalarına bakıldığında ise, çinko metali en yüksek derişim değerindeyken ($0,846 \mu\text{g m}^{-3}$), krom metali en düşük derişim ($0,004 \mu\text{g m}^{-3}$) değerindedir.

Tablo 4.4. PM₁ toz örneklerinin aylara ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$)

Aylar	Cr			Fe			Pb			Zn		
	Aralık	Ortalama \pm %RSD		Aralık	Ortalama \pm %RSD		Aralık	Ortalama \pm %RSD		Aralık	Ortalama \pm %RSD	
Haziran	0,003 - 0,035	0,021 \pm 1,838		0,403 - 2,678	1,136 \pm 2,950		0,000 - 0,002	0,000 \pm 0,000		0,368 - 4,805	1,710 \pm 0,825	
Temmuz	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,614 - 0,921	0,761 \pm 2,838		0,000 - 0,030	0,011 \pm 1,083		0,808 - 1,913	1,221 \pm 0,588	
Ağustos	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,665 - 2,918	1,619 \pm 3,100		0,005 - 0,153	0,087 \pm 2,154		0,355 - 1,763	1,119 \pm 1,000	
Eylül	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,012 - 0,264	0,087 \pm 8,663		0,000 - 0,006	0,002 \pm 0,238		0,003 - 0,106	0,053 \pm 6,588	
Ekim	0,000 - 0,049	0,012 \pm 0,000		0,141 - 0,872	0,376 \pm 0,600		0,000 - 0,011	0,003 \pm 0,000		0,141 - 1,413	0,524 \pm 1,663	
Kasım	0,000 - 0,041	0,010 \pm 0,000		0,201 - 1,312	0,789 \pm 2,100		0,000 - 0,033	0,009 \pm 4,688		0,129 - 3,085	1,390 \pm 6,813	
Ortalama	0,000 - 0,021	0,007 \pm 0,306		0,339 - 1,494	0,795 \pm 3,375		0,001 - 0,039	0,019 \pm 1,360		0,301 - 2,181	1,003 \pm 2,913	

Tablo 4.5. PM₁₀ toz örneklerinin aylara ait ağır metal derişimleri ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \%RSD$)

Aylar	Cr			Fe			Pb			Zn		
	Aralık	Ortalama \pm %RSD		Aralık	Ortalama \pm %RSD		Aralık	Ortalama \pm %RSD		Aralık	Ortalama \pm %RSD	
Haziran	0,000 - 0,106	0,027 \pm 4,688		0,523 - 5,460	2,088 \pm 3,063		0,000 - 0,032	0,008 \pm 0,000		0,461 - 7,245	2,593 \pm 0,363	
Temmuz	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,332 - 0,846	0,627 \pm 2,463		0,000 - 0,030	0,012 \pm 1,638		0,278 - 0,764	0,471 \pm 0,725	
Ağustos	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,791 - 1,317	1,029 \pm 3,025		0,011 - 0,074	0,045 \pm 9,050		0,385 - 1,524	0,980 \pm 0,725	
Eylül	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,003 - 0,239	0,094 \pm 0,888		0,000 - 0,003	0,001 \pm 2,950		0,000 - 0,166	0,069 \pm 8,325	
Ekim	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,139 - 0,233	0,188 \pm 2,188		0,000 - 0,004	0,001 \pm 0,513		0,002 - 0,302	0,123 \pm 7,313	
Kasım	0,000 - 0,000	0,000 \pm 0,000		0,205 - 2,143	0,905 \pm 6,225		0,000 - 0,750	0,204 \pm 6,613		0,378 - 1,219	0,839 \pm 3,075	
Ortalama	0,000 - 0,018	0,004 \pm 0,781		0,332 - 1,706	0,822 \pm 2,975		0,002 - 0,149	0,045 \pm 3,460		0,251 - 1,870	0,846 \pm 3,421	

Tablo 4.6. PM₁ tanecik boyutlarının bölge ve aylar bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Bölgeler	Aylar	Toz Ağırlık (μg)	Cr		Fe		Pb		Zn	
			Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD
Kampüs	Haziran	100	0,035	\pm 4,600	2,678	\pm 2,150	0,000	\pm 0,000	4,805	\pm 0,300
	Temmuz	250	0,000	\pm 0,000	0,921	\pm 0,400	0,000	\pm 0,000	1,105	\pm 0,700
	Ağustos	250	0,000	\pm 0,000	1,167	\pm 1,900	0,069	\pm 3,650	1,763	\pm 2,150
	Eylül	600	0,000	\pm 0,000	0,020	\pm 1,940	0,000	\pm 0,000	0,011	\pm 4,550
	Ekim	150	0,049	\pm 0,000	0,872	\pm 0,750	0,011	\pm 0,000	1,413	\pm 3,400
	Kasım	200	0,000	\pm 0,000	0,638	\pm 1,950	0,033	\pm 1,486	0,955	\pm 5,450
Ortalama	258	0,014	\pm 0,767	1,049	\pm 1,515	0,019	\pm 0,856	1,675	\pm 2,758	
Aralık	100 - 600	0,000	- 0,049	0,020	- 2,678	0,000	- 0,069	0,011	- 4,805	
Merkez	Haziran	600	0,003	\pm 0,000	0,525	\pm 3,800	0,002	\pm 0,000	0,459	\pm 0,650
	Temmuz	400	0,000	\pm 0,000	0,614	\pm 7,200	0,030	\pm 1,736	1,058	\pm 0,450
	Ağustos	300	0,000	\pm 0,000	0,665	\pm 4,050	0,005	\pm 8,750	0,355	\pm 1,350
	Eylül	1050	0,000	\pm 0,000	0,012	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,003	\pm 0,000
	Ekim	1150	0,000	\pm 0,000	0,141	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,156	\pm 2,250
	Kasım	150	0,000	\pm 0,000	1,005	\pm 2,900	0,000	\pm 0,000	3,085	\pm 2,850
Ortalama	608	0,000	\pm 0,000	0,494	\pm 2,992	0,006	\pm 1,748	0,853	\pm 1,258	
Aralık	300 - 1150	0,000	- 0,003	0,012	- 1,005	0,000	- 0,030	0,003	- 3,085	
Ozanlar	Haziran	350	0,032	\pm 0,000	0,940	\pm 2,850	0,000	\pm 0,000	1,208	\pm 1,750
	Temmuz	300	0,000	\pm 0,000	0,876	\pm 0,250	0,000	\pm 0,000	1,913	\pm 0,500
	Ağustos	150	0,000	\pm 0,000	1,725	\pm 4,300	0,121	\pm 1,660	1,551	\pm 0,250
	Eylül	850	0,000	\pm 0,000	0,053	\pm 1,415	0,000	\pm 0,000	0,106	\pm 6,850
	Ekim	750	0,000	\pm 0,000	0,235	\pm 1,250	0,000	\pm 0,000	0,141	\pm 0,050
	Kasım	100	0,041	\pm 0,000	1,312	\pm 0,550	0,000	\pm 0,000	1,390	\pm 3,650
Ortalama	417	0,012	\pm 0,000	0,857	\pm 1,769	0,020	\pm 0,277	1,051	\pm 2,175	
Aralık	100 - 850	0,000	- 0,041	0,053	- 1,725	0,000	- 0,121	0,106	- 1,913	
Yeşiltepe	Haziran	650	0,015	\pm 2,750	0,403	\pm 3,000	0,000	\pm 0,000	0,368	\pm 0,600
	Temmuz	350	0,000	\pm 0,000	0,631	\pm 3,500	0,013	\pm 2,596	0,808	\pm 0,700
	Ağustos	100	0,000	\pm 0,000	2,918	\pm 2,150	0,153	\pm 2,436	0,807	\pm 0,250
	Eylül	750	0,000	\pm 0,000	0,264	\pm 1,100	0,006	\pm 0,950	0,092	\pm 1,496
	Ekim	300	0,000	\pm 0,000	0,256	\pm 0,400	0,000	\pm 0,000	0,387	\pm 0,950
	Kasım	650	0,000	\pm 0,000	0,201	\pm 3,000	0,004	\pm 3,900	0,129	\pm 1,530
Ortalama	467	0,002	\pm 0,458	0,779	\pm 2,192	0,029	\pm 1,647	0,432	\pm 0,921	
Aralık	100 - 750	0,000	- 0,015	0,201	- 2,918	0,000	- 0,153	0,092	- 0,808	
Genel Ortalama	438	0,007	\pm 0,306	0,795	\pm 2,117	0,019	\pm 1,132	1,003	\pm 1,778	

Tablo 4.6’da verilen PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazında aylık en yüksek derişim değerleri incelendiğinde, Kampüs bölgesinde haziran ayında çinko metalinin ($4,805 \mu\text{g m}^{-3}$), Merkez bölgesinde kasım ayında yine çinko metalinin ($3,085 \mu\text{g m}^{-3}$), Ozanlar bölgesinde temmuz ayında çinko metalinin

(1,913 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve Yeşiltepe bölgesinde ağustos ayında demirin (2,918 $\mu\text{g m}^{-3}$) olduğu görülmektedir.

PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazında ortalama en yüksek derişim değerlerine bakıldığında, krom (0,014 $\mu\text{g m}^{-3}$), demir (1,049 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve çinkonun (1,675 $\mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde, kurşunun (0,029 $\mu\text{g m}^{-3}$) ise Yeşiltepe bölgesinde ölçüldüğü görülmüştür.

Bölgeler bazındaki PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin ay ortalamalarına bakıldığında, çinko Kampüs (1,675 $\mu\text{g m}^{-3}$), Merkez (0,853 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve Ozanlar bölgesinde (1,051 $\mu\text{g m}^{-3}$), demir ise Yeşiltepe bölgesinde (0,779 $\mu\text{g m}^{-3}$) en yüksek derişim değerine sahiptir.

Tablo 4.7’de verilen PM₁₀ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazında aylık en yüksek derişim değerleri karşılaştırıldığında, Kampüs bölgesinde haziranda çinko metali (7,245 $\mu\text{g m}^{-3}$), Merkez bölgesinde kasımda çinko metali (1,219 $\mu\text{g m}^{-3}$), Ozanlar bölgesinde ağustosta çinko metali (1,415 $\mu\text{g m}^{-3}$), haziranda Yeşiltepe bölgesinde ise demir (1,469 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve çinko (1,499 $\mu\text{g m}^{-3}$) metalleri bulunmuştur.

PM₁₀ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazında ortalama en yüksek derişim değerlerine bakıldığında, krom (0,018 $\mu\text{g m}^{-3}$) Yeşiltepe bölgesinde, demir (1,648 $\mu\text{g m}^{-3}$), çinko (1,690 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve kurşunun (0,128 $\mu\text{g m}^{-3}$) ise Kampüs bölgesinde ölçüldüğü görülmüştür.

PM₁₀ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin bölgeler bazındaki ay ortalamaları gözlemlendiğinde, Kampüs (1,690 $\mu\text{g m}^{-3}$), Merkez (0,484 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve Ozanlar bölgesinde (0,587 $\mu\text{g m}^{-3}$) çinko, Yeşiltepe bölgesinde ise demir (0,637 $\mu\text{g m}^{-3}$) en yüksek derişim değerine sahiptir.

Tablo 4.7. PM₁₀ tanecik boyutlarının bölge ve aylar bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Bölgeler	Aylar	Toz Ağırlık (μg)	Cr		Fe		Pb		Zn	
			Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD
Kampüs	Haziran	50	0,000	\pm 0,000	5,460	\pm 4,500	0,000	\pm 0,000	7,245	\pm 0,550
	Temmuz	250	0,000	\pm 0,000	0,846	\pm 0,600	0,000	\pm 0,000	0,423	\pm 0,550
	Ağustos	200	0,000	\pm 0,000	1,092	\pm 1,050	0,011	\pm 0,000	1,524	\pm 0,750
	Eylül	700	0,000	\pm 0,000	0,113	\pm 2,600	0,003	\pm 1,180	0,000	\pm 1,425
	Ekim	550	0,000	\pm 0,000	0,233	\pm 4,300	0,004	\pm 2,050	0,302	\pm 1,065
	Kasım	50	0,000	\pm 0,000	2,143	\pm 1,450	0,750	\pm 6,350	0,643	\pm 4,850
	Ortalama	300	0,000	\pm 0,000	1,648	\pm 2,417	0,128	\pm 1,597	1,690	\pm 1,532
Aralık	50 - 700	0,000	- 0,000	0,113	- 5,460	0,000	- 0,750	0,000	- 7,245	
Merkez	Haziran	550	0,000	\pm 0,000	0,523	\pm 2,100	0,032	\pm 0,000	0,461	\pm 0,300
	Temmuz	400	0,000	\pm 0,000	0,664	\pm 3,100	0,030	\pm 6,050	0,764	\pm 0,500
	Ağustos	400	0,000	\pm 0,000	0,791	\pm 3,250	0,036	\pm 6,050	0,385	\pm 0,400
	Eylül	550	0,000	\pm 0,000	0,003	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,010	\pm 4,200
	Ekim	1050	0,000	\pm 0,000	0,139	\pm 0,600	0,000	\pm 0,000	0,063	\pm 1,480
	Kasım	150	0,000	\pm 0,000	0,586	\pm 1,100	0,012	\pm 1,110	1,219	\pm 2,700
	Ortalama	517	0,000	\pm 0,000	0,451	\pm 1,692	0,018	\pm 2,202	0,484	\pm 1,597
Aralık	150 - 1050	0,000	- 0,000	0,003	- 0,791	0,000	- 0,036	0,010	- 1,219	
Ozanlar	Haziran	500	0,000	\pm 0,000	0,898	\pm 1,100	0,000	\pm 0,000	1,165	\pm 0,450
	Temmuz	400	0,000	\pm 0,000	0,666	\pm 3,100	0,000	\pm 0,000	0,278	\pm 1,150
	Ağustos	150	0,000	\pm 0,000	1,317	\pm 5,650	0,074	\pm 2,666	1,411	\pm 0,200
	Eylül	1050	0,000	\pm 0,000	0,020	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,166	\pm 1,550
	Ekim	850	0,000	\pm 0,000	0,203	\pm 3,800	0,000	\pm 0,000	0,124	\pm 3,800
	Kasım	600	0,000	\pm 0,000	0,205	\pm 7,800	0,000	\pm 0,000	0,378	\pm 3,100
	Ortalama	592	0,000	\pm 0,000	0,552	\pm 3,575	0,012	\pm 0,444	0,587	\pm 1,708
Aralık	150 - 1050	0,000	- 0,000	0,020	- 1,317	0,000	- 0,074	0,124	- 1,411	
Yeşiltepe	Haziran	200	0,106	\pm 1,876	1,469	\pm 4,550	0,000	\pm 0,000	1,499	\pm 0,150
	Temmuz	650	0,000	\pm 0,000	0,332	\pm 3,050	0,019	\pm 0,500	0,419	\pm 0,700
	Ağustos	200	0,000	\pm 0,000	0,918	\pm 2,150	0,058	\pm 3,500	0,601	\pm 1,550
	Eylül	750	0,000	\pm 0,000	0,239	\pm 0,950	0,000	\pm 0,000	0,099	\pm 1,330
	Ekim	750	0,000	\pm 0,000	0,177	\pm 0,050	0,000	\pm 0,000	0,002	\pm 0,000
	Kasım	200	0,000	\pm 0,000	0,684	\pm 4,750	0,053	\pm 9,000	1,115	\pm 1,650
	Ortalama	458	0,018	\pm 0,313	0,637	\pm 2,583	0,022	\pm 2,167	0,623	\pm 0,897
Aralık	200 - 750	0,000	- 0,106	0,177	- 1,469	0,000	- 0,058	0,002	- 1,499	
Genel Ortalama	467	0,004	\pm 0,078	0,822	\pm 2,567	0,045	\pm 1,602	0,846	\pm 1,433	

Tablo 4.8’de verilen PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin ay bazında bölgesel en yüksek derişim değerleri incelendiğinde, haziran ayında çinko ($4,805 \mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde, temmuz ayında çinko ($1,913 \mu\text{g m}^{-3}$) Ozanlar bölgesinde, ağustos ve eylül aylarında demir ($2,918 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,264 \mu\text{g m}^{-3}$) Yeşiltepe bölgesinde, ekim ayında çinko ($1,413 \mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde ve kasım ayında ise yine çinko ($3,085 \mu\text{g m}^{-3}$) Merkez bölgesinde görülmektedir.

PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin aylar bazında ortalama en yüksek derişim değerlerine bakıldığında, krom (0,012 $\mu\text{g m}^{-3}$) ekim ayında, demir (1,619 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve kurşun (0,087 $\mu\text{g m}^{-3}$) ağustos ayında, çinko (1,710 $\mu\text{g m}^{-3}$) haziran ayında ölçülmüştür.

PM₁ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin aylar bazındaki bölge ortalamalarına bakıldığında, haziran (1,710 $\mu\text{g m}^{-3}$), temmuz (1,221 $\mu\text{g m}^{-3}$), ekim (0,524 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve kasım (1,390 $\mu\text{g m}^{-3}$) aylarında çinko, ağustos (1,619 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve eylül (0,087 $\mu\text{g m}^{-3}$) aylarında ise demir metali en yüksek derişim değerine sahiptir.

Tablo 4.9'da verilen PM₁₀ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin ay bazında bölgesel en yüksek derişim değerlerine bakıldığında, haziran ayında çinko metalinin (7,245 $\mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde, temmuz ayında demir metalinin (0,846 $\mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde, ağustos ayında çinko metalinin (1,524 $\mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde, eylül ayında demir metalinin (0,239 $\mu\text{g m}^{-3}$) Yeşiltepe bölgesinde, ekim ayında çinko metalinin (0,302 $\mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde ve kasım ayında ise demir metalinin (2,143 $\mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde ölçülmüştür.

PM₁₀ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin aylar bazında ortalama en yüksek derişim değerleri karşılaştırıldığında, krom (0,027 $\mu\text{g m}^{-3}$), demir (2,088 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve çinkonun (2,593 $\mu\text{g m}^{-3}$) haziran ayında, kurşunun (0,204 $\mu\text{g m}^{-3}$) ise kasım ayında çıktığı görülmüştür.

Aylar bazındaki bölge ortalamalarına göre PM₁₀ partikül maddelerinin içerdikleri metallerin, haziran ayında çinko (2,593 $\mu\text{g m}^{-3}$), temmuz (0,627 $\mu\text{g m}^{-3}$), ağustos (1,029 $\mu\text{g m}^{-3}$), eylül (0,094 $\mu\text{g m}^{-3}$), ekim (0,188 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve kasım (0,905 $\mu\text{g m}^{-3}$) aylarında ise demir metali en yüksek derişim değerindedir.

Tablo 4.8. PM₁ tanecik boyutlarının aylar ve bölgeler bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Aylar	Bölgeler	Toz Ağırlık (μg)	Cr		Fe		Pb		Zn	
			Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD
Haziran	Kampüs	100	0,035	\pm 4,600	2,678	\pm 2,150	0,000	\pm 0,000	4,805	\pm 0,300
	Merkez	600	0,003	\pm 0,000	0,525	\pm 3,800	0,002	\pm 0,000	0,459	\pm 0,650
	Ozanlar	350	0,032	\pm 0,000	0,940	\pm 2,850	0,000	\pm 0,000	1,208	\pm 1,750
	Yeşiltepe	650	0,015	\pm 2,750	0,403	\pm 3,000	0,000	\pm 0,000	0,368	\pm 0,600
	Ortalama	425	0,021	\pm 1,838	1,136	\pm 2,950	0,000	\pm 0,000	1,710	\pm 0,825
Aralık		100 - 650	0,003	- 0,035	0,403	- 2,678	0,000	- 0,002	0,368	- 4,805
Temmuz	Kampüs	250	0,000	\pm 0,000	0,921	\pm 0,400	0,000	\pm 0,000	1,105	\pm 0,700
	Merkez	400	0,000	\pm 0,000	0,614	\pm 7,200	0,030	\pm 1,735	1,058	\pm 0,450
	Ozanlar	300	0,000	\pm 0,000	0,876	\pm 0,250	0,000	\pm 0,000	1,913	\pm 0,500
	Yeşiltepe	350	0,000	\pm 0,000	0,631	\pm 3,500	0,013	\pm 2,595	0,808	\pm 0,700
	Ortalama	325	0,000	\pm 0,000	0,761	\pm 2,838	0,011	\pm 1,083	1,221	\pm 0,588
Aralık		250 - 400	0,000	- 0,000	0,614	- 0,921	0,000	- 0,030	0,808	- 1,913
Ağustos	Kampüs	250	0,000	\pm 0,000	1,167	\pm 1,900	0,069	\pm 3,645	1,763	\pm 2,150
	Merkez	300	0,000	\pm 0,000	0,665	\pm 4,050	0,005	\pm 8,750	0,355	\pm 1,350
	Ozanlar	150	0,000	\pm 0,000	1,725	\pm 4,300	0,121	\pm 1,660	1,551	\pm 0,250
	Yeşiltepe	100	0,000	\pm 0,000	2,918	\pm 2,150	0,153	\pm 2,435	0,807	\pm 0,250
	Ortalama	200	0,000	\pm 0,000	1,619	\pm 3,100	0,087	\pm 4,123	1,119	\pm 1,000
Aralık		100 - 300	0,000	- 0,000	0,665	- 2,918	0,005	- 0,153	0,355	- 1,763
Eylül	Kampüs	600	0,000	\pm 0,000	0,020	\pm 1,940	0,000	\pm 0,000	0,011	\pm 4,550
	Merkez	1050	0,000	\pm 0,000	0,012	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,003	\pm 0,000
	Ozanlar	850	0,000	\pm 0,000	0,053	\pm 1,415	0,000	\pm 0,000	0,106	\pm 6,850
	Yeşiltepe	750	0,000	\pm 0,000	0,264	\pm 1,100	0,006	\pm 0,950	0,092	\pm 1,495
	Ortalama	812	0,000	\pm 0,000	0,087	\pm 1,114	0,002	\pm 0,238	0,053	\pm 3,224
Aralık		600 - 1050	0,000	- 0,000	0,012	- 0,264	0,000	- 0,006	0,003	- 0,106
Ekim	Kampüs	150	0,049	\pm 0,000	0,872	\pm 0,750	0,011	\pm 0,000	1,413	\pm 3,400
	Merkez	1150	0,000	\pm 0,000	0,141	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,156	\pm 2,250
	Ozanlar	750	0,000	\pm 0,000	0,235	\pm 1,250	0,000	\pm 0,000	0,141	\pm 0,050
	Yeşiltepe	300	0,000	\pm 0,000	0,256	\pm 0,400	0,000	\pm 0,000	0,387	\pm 0,950
	Ortalama	588	0,012	\pm 0,000	0,376	\pm 0,600	0,003	\pm 0,000	0,524	\pm 1,663
Aralık		150 - 1150	0,000	- 0,049	0,141	- 0,872	0,000	- 0,011	0,141	- 1,413
Kasım	Kampüs	200	0,000	\pm 0,000	0,638	\pm 1,950	0,033	\pm 1,485	0,955	\pm 5,450
	Merkez	150	0,000	\pm 0,000	1,005	\pm 2,900	0,000	\pm 0,000	3,085	\pm 2,850
	Ozanlar	100	0,041	\pm 0,000	1,312	\pm 0,550	0,000	\pm 0,000	1,390	\pm 3,650
	Yeşiltepe	650	0,000	\pm 0,000	0,201	\pm 3,000	0,004	\pm 3,900	0,129	\pm 1,530
	Ortalama	275	0,010	\pm 0,000	0,789	\pm 2,100	0,009	\pm 1,346	1,390	\pm 3,370
Aralık		100 - 650	0,000	- 0,041	0,201	- 1,312	0,000	- 0,033	0,129	- 3,085
Genel Ortalama		438	0,007	\pm 0,306	0,795	\pm 2,117	0,019	\pm 1,131	1,003	\pm 1,778

Tablo 4.9. PM₁₀ tanecik boyutlarının aylar ve bölgeler bazında ağır metal derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Aylar	Bölgeler	Toz Ağırlık (μg)	Cr		Fe		Pb		Zn	
			Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD	Ortalama	\pm %RSD
Haziran	Kampüs	50	0,000	\pm 0,000	5,460	\pm 4,500	0,000	\pm 0,000	7,245	\pm 0,550
	Merkez	550	0,000	\pm 0,000	0,523	\pm 2,100	0,032	\pm 0,000	0,461	\pm 0,300
	Ozanlar	500	0,000	\pm 0,000	0,898	\pm 1,100	0,000	\pm 0,000	1,165	\pm 0,450
	Yeşiltepe	200	0,106	\pm 1,875	1,469	\pm 4,550	0,000	\pm 0,000	1,499	\pm 0,150
Ortalama		325	0,027	\pm 4,688	2,088	\pm 3,063	0,008	\pm 0,000	2,593	\pm 0,363
Aralık		50 - 550	0,000	- 0,106	0,523	- 5,460	0,000	- 0,032	0,461	- 7,245
Temmuz	Kampüs	250	0,000	\pm 0,000	0,846	\pm 0,600	0,000	\pm 0,000	0,423	\pm 0,550
	Merkez	400	0,000	\pm 0,000	0,664	\pm 3,100	0,030	\pm 6,050	0,764	\pm 0,500
	Ozanlar	400	0,000	\pm 0,000	0,666	\pm 3,100	0,000	\pm 0,000	0,278	\pm 1,150
	Yeşiltepe	650	0,000	\pm 0,000	0,332	\pm 3,050	0,019	\pm 0,500	0,419	\pm 0,700
Ortalama		425	0,000	\pm 0,000	0,627	\pm 2,463	0,012	\pm 1,638	0,471	\pm 0,725
Aralık		250 - 650	0,000	- 0,000	0,332	- 0,846	0,000	- 0,030	0,278	- 0,764
Ağustos	Kampüs	200	0,000	\pm 0,000	1,092	\pm 1,050	0,011	\pm 0,000	1,524	\pm 0,750
	Merkez	400	0,000	\pm 0,000	0,791	\pm 3,250	0,036	\pm 6,050	0,385	\pm 0,400
	Ozanlar	150	0,000	\pm 0,000	1,317	\pm 5,650	0,074	\pm 2,665	1,411	\pm 0,200
	Yeşiltepe	200	0,000	\pm 0,000	0,918	\pm 2,150	0,058	\pm 3,500	0,601	\pm 1,550
Ortalama		237	0,000	\pm 0,000	1,029	\pm 3,025	0,045	\pm 9,050	0,980	\pm 0,725
Aralık		150 - 400	0,000	- 0,000	0,791	- 1,317	0,011	- 0,074	0,385	- 1,524
Eylül	Kampüs	700	0,000	\pm 0,000	0,113	\pm 2,600	0,003	\pm 1,180	0,000	\pm 1,425
	Merkez	550	0,000	\pm 0,000	0,003	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,010	\pm 4,200
	Ozanlar	1050	0,000	\pm 0,000	0,020	\pm 0,000	0,000	\pm 0,000	0,166	\pm 1,550
	Yeşiltepe	750	0,000	\pm 0,000	0,239	\pm 0,950	0,000	\pm 0,000	0,099	\pm 1,330
Ortalama		762	0,000	\pm 0,000	0,094	\pm 0,888	0,001	\pm 2,950	0,069	\pm 8,325
Aralık		550 - 1050	0,000	- 0,000	0,003	- 0,239	0,000	- 0,003	0,000	- 0,166
Ekim	Kampüs	550	0,000	\pm 0,000	0,233	\pm 4,300	0,004	\pm 2,050	0,302	\pm 1,065
	Merkez	1050	0,000	\pm 0,000	0,139	\pm 0,600	0,000	\pm 0,000	0,063	\pm 1,480
	Ozanlar	850	0,000	\pm 0,000	0,203	\pm 3,800	0,000	\pm 0,000	0,124	\pm 3,800
	Yeşiltepe	750	0,000	\pm 0,000	0,177	\pm 0,050	0,000	\pm 0,000	0,002	\pm 0,000
Ortalama		800	0,000	\pm 0,000	0,188	\pm 2,188	0,001	\pm 0,513	0,123	\pm 7,313
Aralık		550 - 1050	0,000	- 0,000	0,139	- 0,233	0,000	- 0,004	0,002	- 0,302
Kasım	Kampüs	50	0,000	\pm 0,000	2,143	\pm 1,450	0,750	\pm 6,350	0,643	\pm 4,850
	Merkez	150	0,000	\pm 0,000	0,586	\pm 1,090	0,012	\pm 1,110	1,219	\pm 2,700
	Ozanlar	600	0,000	\pm 0,000	0,205	\pm 7,800	0,000	\pm 0,000	0,378	\pm 3,100
	Yeşiltepe	200	0,000	\pm 0,000	0,684	\pm 4,750	0,053	\pm 9,000	1,115	\pm 1,650
Ortalama		250	0,000	\pm 0,000	0,905	\pm 6,225	0,204	\pm 6,613	0,839	\pm 3,075
Aralık		50 - 600	0,000	- 0,000	0,205	- 2,143	0,000	- 0,750	0,378	- 1,219
Genel Ortalama		467	0,004	\pm 0,781	0,822	\pm 2,975	0,045	\pm 3,460	0,846	\pm 3,421

Tablo 4.10. PM₁ ve PM₁₀ tanecik boyutlarında örnekleme bölgelerine ve aylara göre elementel derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Element	Aylar	Kampüs		Merkez		Ozanlar		Yeşiltepe		Ortalama	
		PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD
Cr	Haziran	0,04 ± 4,60	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 2,75	0,11 ± 1,88	0,02 ± 1,84	0,03 ± 4,69
	Temmuz	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Ağustos	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Eylül	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Ekim	0,05 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Kasım	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Ortalama	0,01 ± 0,77	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,46	0,02 ± 0,31	0,01 ± 0,31	0,00 ± 0,78
Fe	Haziran	2,68 ± 2,15	5,46 ± 4,50	0,53 ± 3,80	0,52 ± 2,10	0,94 ± 2,85	0,90 ± 1,10	0,40 ± 3,00	1,47 ± 4,55	1,14 ± 2,95	2,09 ± 3,06
	Temmuz	0,92 ± 0,40	0,85 ± 0,60	0,61 ± 7,20	0,66 ± 3,10	0,88 ± 0,25	0,67 ± 3,10	0,63 ± 3,50	0,33 ± 3,05	0,76 ± 2,84	0,63 ± 2,46
	Ağustos	1,17 ± 1,90	1,09 ± 1,05	0,66 ± 4,05	0,79 ± 3,25	1,73 ± 4,30	1,32 ± 5,65	2,92 ± 2,15	0,92 ± 2,15	1,62 ± 3,10	1,03 ± 3,03
	Eylül	0,02 ± 1,94	0,11 ± 2,60	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,05 ± 1,42	0,02 ± 0,00	0,26 ± 1,10	0,24 ± 0,95	0,09 ± 8,66	0,09 ± 0,89
	Ekim	0,87 ± 0,75	0,23 ± 4,30	0,14 ± 0,00	0,14 ± 0,60	0,23 ± 1,25	0,20 ± 3,80	0,26 ± 0,40	0,18 ± 0,05	0,38 ± 0,60	0,19 ± 2,19
	Kasım	0,64 ± 1,95	2,14 ± 1,45	1,00 ± 2,90	0,59 ± 1,09	1,31 ± 0,55	0,20 ± 7,80	0,20 ± 3,00	0,68 ± 4,75	0,79 ± 2,10	0,90 ± 6,23
	Ortalama	1,05 ± 1,52	1,65 ± 2,42	0,49 ± 2,99	0,45 ± 1,69	0,86 ± 1,77	0,55 ± 3,58	0,78 ± 2,19	0,64 ± 2,58	0,79 ± 3,38	0,82 ± 2,98
Pb	Haziran	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,00
	Temmuz	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,03 ± 1,74	0,03 ± 6,05	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 2,60	0,02 ± 0,50	0,01 ± 1,08	0,01 ± 1,64
	Ağustos	0,07 ± 3,65	0,01 ± 0,00	0,00 ± 8,75	0,04 ± 6,05	0,12 ± 1,66	0,07 ± 2,67	0,15 ± 2,44	0,06 ± 3,50	0,09 ± 2,15	0,04 ± 9,05
	Eylül	0,00 ± 0,00	0,00 ± 1,18	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,95	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,24	0,00 ± 2,95
	Ekim	0,01 ± 0,00	0,00 ± 2,05	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,51
	Kasım	0,03 ± 1,49	0,75 ± 6,35	0,00 ± 0,00	0,01 ± 1,11	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 3,90	0,05 ± 9,00	0,01 ± 4,69	0,20 ± 6,61
	Ortalama	0,02 ± 0,86	0,13 ± 1,60	0,01 ± 1,75	0,02 ± 2,20	0,02 ± 0,28	0,01 ± 0,44	0,03 ± 1,65	0,02 ± 2,17	0,02 ± 1,36	0,05 ± 3,46

Tablo 4.10.(Devam) PM₁ ve PM₁₀ tanecek boyutlarında örnekleme bölgelerine ve aylara göre elementel derişim düzeyleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Element	Aylar	Kampüs		Merkez		Ozanlar		Yeşiltepe		Ortalama	
		PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD	PM ₁ ± %RSD	PM ₁₀ ± %RSD
Zn	Haziran	4,80 ± 0,30	7,25 ± 0,55	0,46 ± 0,65	0,46 ± 0,30	1,21 ± 1,75	1,16 ± 0,45	0,37 ± 0,60	1,50 ± 0,15	1,71 ± 0,83	2,59 ± 0,36
	Temmuz	1,10 ± 0,70	0,42 ± 0,55	1,06 ± 0,45	0,76 ± 0,50	1,91 ± 0,50	0,28 ± 1,15	0,81 ± 0,70	0,42 ± 0,70	1,22 ± 0,59	0,47 ± 0,73
	Ağustos	1,76 ± 2,15	1,52 ± 0,75	0,35 ± 1,35	0,39 ± 0,40	1,55 ± 0,25	1,41 ± 0,20	0,81 ± 0,25	0,60 ± 1,55	1,12 ± 1,00	0,98 ± 0,73
	Eylül	0,01 ± 4,55	0,00 ± 1,43	0,00 ± 0,00	0,01 ± 4,20	0,11 ± 6,85	0,17 ± 1,55	0,09 ± 1,50	0,10 ± 1,33	0,05 ± 6,59	0,07 ± 8,33
	Ekim	1,41 ± 3,40	0,30 ± 1,07	0,16 ± 2,25	0,06 ± 1,48	0,14 ± 0,05	0,12 ± 3,80	0,39 ± 0,95	0,00 ± 0,00	0,52 ± 1,66	0,12 ± 7,31
	Kasım	0,95 ± 5,45	0,64 ± 4,85	3,09 ± 2,85	1,22 ± 2,70	1,39 ± 3,65	0,38 ± 3,10	0,13 ± 1,53	1,12 ± 1,65	1,39 ± 6,81	0,84 ± 3,08
Ortalama		1,68 ± 1,26	1,69 ± 1,26	0,85 ± 1,26	0,48 ± 1,60	1,05 ± 2,18	0,59 ± 1,71	0,43 ± 0,92	0,62 ± 0,90	1,00 ± 2,91	0,85 ± 3,42

Tablo 4.10’da verilen PM_1 ve PM_{10} tanecik boyutlarında örnekleme bölgelerine ve aylara göre en yüksek elementel derişim değerleri incelendiğinde, Cr elementi PM_1 için ($0,05 \mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde ekim ayında PM_{10} için ise ($0,11 \mu\text{g m}^{-3}$) Yeşiltepe bölgesinde haziran ayında gözlenmiştir. Fe elementine bakıldığında PM_1 için ($2,92 \mu\text{g m}^{-3}$) Yeşiltepe bölgesinde ağustos ayında PM_{10} için ($5,46 \mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde haziran ayında çıkmıştır. Pb elementi için PM_1 ($0,15 \mu\text{g m}^{-3}$) Yeşiltepe bölgesinde ağustos ayında PM_{10} ($0,75 \mu\text{g m}^{-3}$) Kampüs bölgesinde Kasım ayında bulunmuştur. Zn elementi ise PM_1 ve PM_{10} için sırasıyla $4,80 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $7,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olmak üzere kampüs bölgesinde haziran ayında bulunmuş olduğu görülmektedir.

Bölgeler bazında elementel ortalamalara bakıldığında, PM_1 için Kampüs ($1,68 \mu\text{g m}^{-3}$), Merkez ($0,85 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Ozanlar ($1,05 \mu\text{g m}^{-3}$) bölgelerinde Zn elementi, Yeşiltepe ($0,78 \mu\text{g m}^{-3}$) bölgesinde ise Fe elementi en yüksek derişimde değerinde ölçülmüştür. PM_{10} ’a bakacak olursak yine aynı şekilde Kampüs ($1,69 \mu\text{g m}^{-3}$), Merkez ($0,48 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Ozanlar ($0,59 \mu\text{g m}^{-3}$) bölgelerinde Zn elementi Yeşiltepe ($0,64 \mu\text{g m}^{-3}$) bölgesinde ise Fe elementi en yüksek seviyelerinde bulunmuştur.

Aylar bazındaki ortalamalarda en yüksek derişim değerlerini inceleyecek olursak, PM_1 için Cr ($0,02 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Zn ($1,71 \mu\text{g m}^{-3}$) elementleri haziran ayında, Fe ($1,62 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Pb ($0,09 \mu\text{g m}^{-3}$) elementleri ise ağustos ayında ölçülmüştür. PM_{10} için ise Cr ($0,03 \mu\text{g m}^{-3}$), Fe ($2,09 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Zn ($2,50 \mu\text{g m}^{-3}$) elementleri haziran ayında, Pb ($0,04 \mu\text{g m}^{-3}$) elementide ağustos ayında gözlenmiştir.

Cd elementi kantitatif tayin limitinin altında olduğu için tespit edilememiştir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde bulunan ve sanayi yoğunluğu bakımından önde gelen illerinden biri olan Sakarya ilinde Haziran 2009 – Kasım 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilen bu çalışma ile, Sakarya ilinde belirlenen dört bölgenin (Kampüs, Ozanlar, Merkez ve Yeşiltepe) farklı boyutlarda bulunan partikül madde içeriğindeki Fe, Pb, Cd, Zn ve Cr ağır metal derişimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak Cd elementi kantitatif tayin limitinin altında olduğu için tespit edilememiştir.

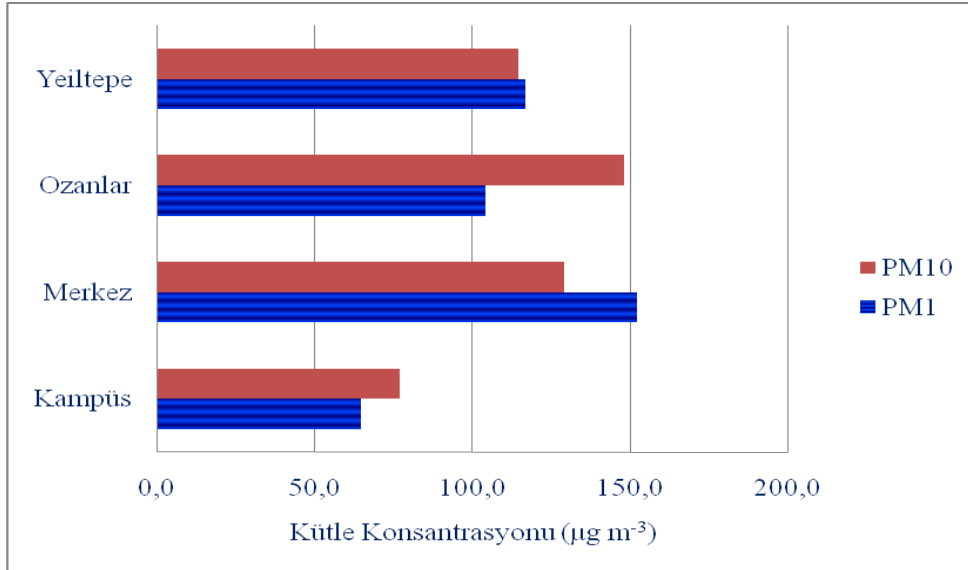
Literatürde yapılan araştırma neticesinde, 1 µm tanecik boyutundaki partiküler maddelerin ağır metal analizleriyle ilgili bir çalışmaya rastlanılmamış olduğundan, bu çalışmada 10 µm tanecik boyutunun yanında, 1 µm boyutundaki partiküler maddelerin analiz çalışması da hedeflenmiştir.

Numune toplanan tüm bölgelerdeki PM₁ ve PM₁₀ kütle konsantrasyonlarına ait veriler ve ortalamalarının grafiği sırasıyla Tablo 5.1 ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. PM₁ ve PM₁₀ kütle konsantrasyonu (µg m⁻³)

Aylar	Kampüs			Merkez			Ozanlar			Yeşiltepe		
	PM ₁	PM ₁₀	PM ₁ / PM ₁₀	PM ₁	PM ₁₀	PM ₁ / PM ₁₀	PM ₁	PM ₁₀	PM ₁ / PM ₁₀	PM ₁	PM ₁₀	PM ₁ / PM ₁₀
Haziran	25	25	1,00	150	137,5	1,09	87,5	125	0,70	163	50	3,25
Temmuz	62,5	62,5	1,00	100	100	1,00	75	100	0,75	87,5	162,5	0,54
Ağustos	62,5	50	1,25	75	100	0,75	37,5	37,5	1,00	25	50	0,50
Eylül	150	175	0,86	262	137,5	1,91	213	262,5	0,81	188	187,5	1,00
Ekim	37,5	137,5	0,27	288	262,5	1,10	188	212,5	0,88	75	187,5	0,40
Kasım	50	12,5	4,00	37,5	37,5	1,00	25	150	0,17	162	50	3,25
Ortalama	64,6	77,1	0,84	152,1	129,2	1,18	104,2	147,9	0,70	116,7	114,6	1,02

İkişer saatlik periyotlarda duplike olarak toplanan toz numunelerindeki en yüksek ortalama PM_1 kütle konsantrasyonu, Merkez bölgesinde $152,1 \mu g m^{-3}$, PM_{10} için ise Ozanlar bölgesinde $147,9 \mu g m^{-3}$ ölçülmüştür. PM_1 ($64,6 \mu g m^{-3}$) ve PM_{10} ($77,1 \mu g m^{-3}$) için en düşük ortalama kütle konsantrasyon değerleri ise Kampüs bölgesinde ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Bölgelerin PM_1 ve PM_{10} ortalama kütle konsantrasyonları

Bölgedeki kirlilik seviyesinin anlaşılmasına yardımcı olması amacıyla bu değerler WHO ve EPA'nın $10 \mu m$ 'lik partikül maddeler için belirlenmiş olan sınır değerleri ile (WHO; $20 \mu g m^{-3}$, EPA; $50 \mu g m^{-3}$) karşılaştırıldığında ölçümlenmiş olduğumuz yerlerdeki birçok değer bu sınırların üzerine çıkmış olduğu görülmektedir. Örneğin, PM_{10} partiküllerinin ortalama konsantrasyonu olan $147,9 \mu g m^{-3}$ değeri, Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği (HKKY) yıllık ortalama PM_{10} değeri olan $150 \mu g m^{-3}$ değerinden küçüktür. Fakat EPA'da PM_{10} parametresi için kullanılan sınır değeri $50 \mu g m^{-3}$ 'dir ve bulunan değer EPA'nın sınır değerlerinin üzerindedir. PM_{10} değerleri yaklaşık EPA standartlarının 2 katı, WHO'nun 5 katıdır.

İncelenen bölgelerde PM_1 ve $PM_{2,5}$ partiküllerinin baskın olması evsel, endüstriyel, tarımsal, egzoz gibi her türlü yanma kaynağının işareti olabilirken, PM_{10}

partiküllerinin baskın olması cadde ve toprak tozu, inşaat tozu, polenler gibi kaynaklarının işareti olabilmektedir.

Ozanlar ve Kampüs bölgesinde PM_{10} değerleri belirli bir şekilde baskın durumdayken Merkez bölgesinde ise PM_1 değeri daha baskındır. Bu durumda bize Ozanlar ve Kampüs bölgesinin doğal kaynaklardan daha çok etkilenirken Merkez bölgesinin antropojenik kaynaklardan daha çok etkilendiğini göstermektedir. Merkez bölgesinde yerleşim ve işyerleri alanlarının daha yoğun bir şekilde bulunması ve bu durumun da bölgedeki trafik yoğunluğunun günün her saatinde yoğun olmasına neden olması bölgedeki antropojenik kaynağın sebebini açıklamaktadır.

Yeşiltepe bölgesinde ise PM_{10} ve PM_1 kütle konsantrasyon değerleri birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Bu durum bölgede örnekleme süresi boyunca gözlenen ince partiküller ve PM_{10} arasında kuvvetli bir ilişki olmuş olabileceği olasılığını gösterebilir. Partikül maddenin kimyasal bileşimi özellikle iz element içeriği insan sağlığı için çok önemli olduğundan, çalışma periyodu boyunca örneklenen PM_1 ve PM_{10} partiküllerde Demir (Fe), Krom (Cr), Kurşun (Pb) ve Çinko (Zn) elementleri analiz edilmiştir. Sonuçlar bölgede antropojenik kaynakların varlığını göstermiştir.

Tablo 5.2. Çalışmanın literatür örnekleri ile karşılaştırılması

Bölge	Partikül Boyutu	Elementler			
		Fe	Pb	Cr	Zn
Sakarya [Bu çalışma]	PM_1	0,795	0,019	0,007	1,003
	PM_{10}	0,822	0,045	0,004	0,846
İstanbul – Büyükçekmece [2]	PM_{10}	-	0,112	-	0,033
Zonguldak [3]	PM_{10}	0,405	0,019	0,007	0,084
Kocaeli [53]	PM_{10}	0,686	0,078	0,01	0,118
İtalya - Floransa [82]	PM_{10}	0,67	0,02	0,01	0,02
İspanya - Zaragoza [6]	PM_{10}	0,667	0,018	0,008	0,212
Ürdün [83]	PM_{10}	1,211	0,055	0,006	0,142
Pakistan - Lahor [35]	PM_{10}	8,2	4,4	0,03	11
Çin - Gongga [37]	PM_{10}	0,496	0,055	-	0,247

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere özellikle Sakarya iline komşu olan Kocaeli ili ile PM₁₀ partikül madde element derişim değerleri karşılaştırıldığında, Sakarya ilinde Fe ve Zn elementleri yüksek, Pb ve Cr elementleri ise düşüktür.

Sakarya ili Türkiye’nin kuzey batısında yer alan ve Karadeniz’e sınırı olan bir yerleşim yeridir. Özellikle son yıllarda Türkiye’nin kuzey ve kuzey batısındaki PM kirlilik oranı artış göstermiş ve düşük hava kalitesi değerleri gözlemlenmiştir. Bu PM kirlilik düzeyine Avrupa ve Karadeniz üzerinden gelen batı ve kuzey batı rüzgarlarının taşıdığı Avrupa kaynaklı partikül maddelerinin sebep olduğu tespit edilmiştir [84].

Sakarya ili sanayileşmenin hızla arttığı bir yer olup, çevresinde nüfus yoğunluğu ve ağır sanayiye barındıran iller ile çevrilidir. İstanbul, Avrupa ve Asya üzerinden hava kirleticilerinin taşındığı bir noktada bulunmaktadır [85].

Merkez ve Yeşiltepe bölgeleri trafiğin yoğun olduğu bölgelerdir. Özellikle Yeşiltepe bölgesi E-5 ve TEM şehirlerarası otoyol bağlantısı üzerinde yer aldığından, ağır tonajlı araçların (kamyon, otobüs, tır..vb) geçiş yolu üzerindedir. Bilindiği üzere Fe metali yeryüzünde yüksek oranda bulunmaktadır. Çalışmamızda da Fe metali en yüksek seviyede ölçümlenen metallerimizden biridir.

Ayrıca bu çalışma sırasında partikül madde üzerindeki meteorolojik etkilerde anlaşılmasına çalışılmıştır. Tablo 4.2’de de gösterildiği üzere Sakarya ili çoğunlukla kuzey, kuzey batı ve kuzey doğu yönünden rüzgar almaktadır. Bu rüzgarlar tehlikeli katı atıkların yakılması sonucunda oluşan partikül maddelerin Sakarya iline taşınmasına sebep olabilmektedir.

En son güncel olaylardan biri olan ve çalışma konusu ile birebir bağlantısı bulunan İzlanda’ daki volkanik yanardağ patlaması sonucunda, toz bulutlarına göre içerisinde dörtte bir oranında 10 µm’den daha küçük partikül madde barındıran çok yoğun miktarda kül bulutu, 6.000 ile 11.000 metre yükseklikleri arasında atmosfere

yayılmıştır. Patlamanın etkilerinin, en çok gerçekleştiği alana yakın bölgelerde görülmesi tahmin edilmekle birlikte, çok uzun süre askıda kalabildiklerinden rüzgar ile uzun mesafelere taşınabileceği de düşünülmektedir. Kül bulutunun Türkiye'nin kuzey bölgelerini etkilemesi beklenmektedir. Sakarya ilinin de Türkiye'nin kuzeyinde yer alması sebebiyle İzlanda'da gerçekleşen volkan patlamasından etkilenmesi olasılığı bulunmaktadır [86]. Bu patlamanın insan sağlığı ve çevre üzerinde yarattığı etkilerinin anlaşılabilmesi için kapsamlı bilimsel araştırmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmanın sonuçları dikkate alındığında, Sakarya ilinin kentsel ve merkezi bölgelerini daha yoğun bir şekilde kaplayacak, farklı ölçümleme metodolojilerinin kullanıldığı ve dört mevsime yayılmış uzun süreçli bir çalışmanın yapılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BAYRAM, H., DÖRTBUDAK, Z., FİŞEKÇİ, F.E., KARGIN, M., BÜLBÜL, B., Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu, *Dicle Tıp Dergisi*, 33 (2), 105-112, 2006.
- [2] KARACA, F, Büyükçekmece havza atmosferindeki PM_{2,5} ve PM₁₀ partikül gruplarındaki metallerin istatistik dağılım özelliklerinin incelenmesi, *Ekoloji*, 68, 33-42, 2008.
- [3] SÜREN, P., Zonguldak kent merkezi atmosferik partikül madde kirliliğinin; PM_{2,5} ve PM₁₀ boyut dağılımı, kaynak ve metalik kompozisyon temelinde incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 2007.
- [4] KARACA, F., ALAGHA, O., ELÇİ, E., ERTÜRK, F., YILMAZ, Y.Z., ÖZKARA, T., Büyükçekmece gölü havzasında havanın PM_{2,5} ve PM₁₀ gruplarında krom derişimleri, *Ekoloji*, 61, 16-21, 2006.
- [5] YATKIN, S, BAYRAM, A., Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a Metropolitan City, *Atmospheric Research*, 85, 126–139, 2007.
- [6] LOPEZ, J.M., CALLEN, M.S., MURILLO, R., GARCIA, T., NAVARRO, M.V., DE LA CRUZ, M.T., MASTRAL, A.M., Levels of selected metals in ambient air PM₁₀ in an urban site of Zaragoza (Spain), *Environmental Research*, 99, 58–67, 2005.
- [7] VINITKETKUMNUEN, U., KALAYANAMITRA, K., CHEWONARIN, T., KAMENS, R., Particulate matter; PM₁₀ & PM_{2,5} levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand, *Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 519, 121-131, 2002.
- [8] KOCATAŞ, A., Ekoloji ve Çevre Biyolojisi, 9. baskı, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, No: 52, 444, İzmir, 2006.
- [9] BOŞGELMEZ, A., BOŞGELMEZ, İ.İ., SAVAŞÇI, S., KAYNAŞ, S., PASLI, N., Ekoloji-I, ISVAK Yayınları, 6, 358-615, Ankara, 1997.

- [10] CAN, A., ERYENER, D., Sanayi ve şehir kaynaklı hava kirliliği ve önlemleri, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 24, 6-12, 1997.
- [11] KAYNAR, A., Hava kirliliği ve kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2001.
- [12] ÖZDEN, Y.I., Halk sağlığı açısından ülkemizde nüfus artışı, (<http://www.mmo.org.tr>), 1998.
- [13] STRADLING, D., Air Pollution, *Taylor & Francis Group*, 37-44, New York.
- [14] www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava_kirliligi_ve_kirleticiler_rapor.pdf, 2009.
- [15] ERBAŞLAR, T., BIRGUL, A., TAŞDEMİR, Y., Spatial fluctuation of sulphur dioxide (SO₂) and particulate matter (PM) levels measured in Bursa, *G.U. Journal of Science*, 19 (3), 143-148, 2006.
- [16] ÖZTÜRK, M., Şehir içi bölgelerde havadaki partikül maddenin insan sağlığı üzerine etkileri, (<http://www.mozturk.net>), 2008.
- [17] BAYRAM, H., Türkiye’de hava kirliliği sorunu: nedenleri, alınan önlemler ve mevcut durum, *Toraks Dergisi*, 6 (2), 159-165, 2005.
- [18] T.C. Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzısıhha Enstitüsü, (<http://www.rshm.gov.tr>), 2009.
- [19] Enerji sektöründen kaynaklanan hava kirliliği. Ulusal Çevre Eylem Planı. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 1997.
- [20] OZER, U., AYDIN, R., AKCAY, H., Air pollution profile of Turkey. *Chemistry International*, 19, 190-191, 1997.
- [21] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (<http://www.cevreorman.gov.tr>), 2008.
- [22] T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, (<http://www.die.gov.tr>).
- [23] <http://www.epa.gov/airscience/quick-finder/particulate-matter.htm>, 2010
- [24] QUITERIO, S.L., SOUSA DA SILVA, C.R., ARBILLA, G., ESCALERIA, V., Metals in airborne particulate matter in the industrial district of Santa Cruz, Rio de Janeiro, in an annual period, *Atmospheric Environment*, 38, 321-331, 2004.
- [25] MÜEZZİNOĞLU, A., Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 2000.

- [26] AYDINLAR, B., GÜVEN, H., KIRKSEKİZ, S., Hava Kirliliği ve Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2009.
- [27] ÇELİK, M.B., KADI, I., The relation between meteorological factors and pollutants concentrations in Karabuk City, *G.U. Journal of Science*, 20 (4), 87-95, 2007.
- [28] ROGGE, W.F., HILDEMANN, L.M., MAZUREK, M.A., CASS, G.R., Sources of fine organik aerosol. 7. Hot asphalt roofing tar pot fume, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 2726–2730, 1997.
- [29] KUHLEBUSCH, T.A.J., HERTLEIN A.M., SCHUTZ, L.W., Sources, determination, monitoring and transport of carbonaceous aerosols in Mainz, Germany, *Atmospheric Environment*, 32 (6), 1097-1110, 1998.
- [30] ÖZTÜRK, M., Hava kirliliğinin halk sağlığı üzerine etkisi, (<http://www.mozturk.net>), 2008.
- [31] HOEK, G., BRUNEKREEF, B., GOLDBOHM, S., FISCHER, P., BRANDT, P.A., Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study, *Lancet*, 360, 1203-1209, 2002.
- [32] ANGIOLA, A.D., DAWIDOWSKI, L.E., GOMEZ, D.R., OSSES, M., On-road traffic emissions in a megacity, *Atmospheric Environment*, 44, 483-493, 2010.
- [33] HANDLER, M., PULS, C., ZBIRAL, J., MARR, I., PUXBAUM, H., LIMBECK, A., Size and composition of particulate emissions from motor vehicles in the Kaisermühlen-Tunnel, Vienna, *Atmospheric Environment*, 42, 2173-2186, 2008.
- [34] THOMAS, P., Tyre dust, *Ecologist*, 14-18, 2005.
- [35] SCHNEDEMESSER, E.V., STONE, E.A., QURAIŞHİ, T.A., SHAFER, M.M., SCHAUER, J.J., Toxic metals in the atmosphere in Lahore, Pakistan, *Science of the Total Environment*, 408, 1640-1648, 2010.
- [36] PEKER, İ., Toz tutma sistemleri, *Çevre Dergisi*, 8, 45-49, 1993.
- [37] YONGJIE, Y., YUESI, W., TIANXUE, W., WEI, L., YA'NAN, Z., LIANG, L., Elemental composition of PM_{2,5} and PM₁₀ at Mount Gongga in China during 2006, *Atmospheric Research*, 2009.
- [38] HARRISON, R.M., Key Pollutants; airborne particle, *Science of the Total Environment*, 3 (8), 334–335, 2004.

- [39] MERESOVA, J., FLOREK, M., HOLY, K., JESKOVSKY, M., SYKORA, I., FRONTASYEVA, M.V., PAVLOV, S.S., BUJDOS, M., Evaluation of elemental content in air-borne particulate matter in low-level atmosphere of Bratislava, *Atmospheric Environment*, 42, 8079-8085, 2008.
- [40] KAHRAMANTEKİN, T.A., ÖZDEN, Ö., DÖĞEROĞLU, T., KARA, S., TUNCEL, G., GAGA, E., Eskişehir atmosferindeki partikül maddenin iyonik bileşenler açısından karakterizasyonu, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 24-27 Ekim 2007.
- [41] YUE, W., LI, X., LIU, J., LI, Y., YU, X., DENG, B., WAN, T., ZHANG, G., HUANG, Y., HE, W., HUA, W., SHAO, L., LI, W., YANG, S., Characterization of PM_{2.5} in the ambient air of Shanghai city by analyzing individual particles, *Science of the Total Environment*, 368, 916-925, 2006.
- [42] WHO, "Air Quality Guidelines for Europe", Regional Office for Europe, (www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue), 2005.
- [43] AARNIO, P., MARTIKAINEN, J., HUSSEIN, T., VALKAMA, I., VEHKAMAKI, H., SOGACHEVA, L., HARKÖNEN, J., KARPPINEN, A., KOSKENTALO, T., KUKKONEN, J., KULMALA, M., Analysis and evaluation of selected PM₁₀ pollution episodes in the Helsinki Metropolitan Area in 2002, *Atmospheric Environment*, 42, 3992-4005, 2008.
- [44] MORAWSKA, L., KEOGH, D.U., THOMAS, S.B., MENGERSEN, K., Modality in ambient particle size distributions and its potential as a basis for developing air quality regulation, *Atmospheric Environment*, 42, 1617-1628, 2008.
- [45] HIEN, P.D., BAC, B.T., THAM, H.C., NHAN, D.D., VINH, L.D., Influence of meteorological conditions on PM_{2.5} and PM_{2.5-10} concentrations during the monsoon season in Hanoi, Vietnam, *Atmospheric Environment*, 36, 3473-3484, 2002.
- [46] MANOLI, E., VOUTSA, D., SAMARA, C., Chemical characterization and source identification / apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece, *Atmospheric Environment*, 36, 949-961, 2002.
- [47] HUSSEIN, T., KARPPINEN, A., KUKKONEN, J., HARKONEN, J., AALTO, P.P., HAMERI, K., KERMINEN, V.M., KULMALA, M., Meteorological dependence of size-fractionated number concentrations of urban aerosol particles, *Atmospheric Environment*, 40, 1427-1440, 2006.
- [48] BUZORIUS, G., HAMERI, K., PEKKANEN, J., KULMALA, M., Spatial variation of aerosol number concentration in Helsinki city", *Atmospheric Environment*, 33, 553-565, 1999.
- [49] HUSSEIN, T., HAMERI, K., KULMALA, M., Long-term indoor-outdoor

- aerosol measurement in Helsinki, Finland, *Boreal Environment Research*, 7, 141-150, 2002.
- [50] HUSSEIN, T., PUUSTINEN, A., AALTO, P.P., MAKELA, J.M., HAMERI, K., KULMALA, M., Urban aerosol number size distributions, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 391-411, 2004.
- [51] KARACA, F., ALAGHA, O., ERTURK, F., Statistical characterization of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey, *Chemosphere*, 59, 1183-1190, 2005.
- [52] ONAT, B., STAKEEVA, B., İstanbul'da farklı ulaşım türleri ile seyahat esnasında maruz kalınan partikül maddenin (PM_{2.5}) belirlenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 621-629, İstanbul, 06-09 Mayıs 2009.
- [53] PEKEY, B., BOZKURT, Z.B., PEKEY, H., DOĞAN, G., ZARARSIZ, A., EFE, N., TUNCEL, G., Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM₁₀/PM_{2.5} in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey, *Indoor Air*, 20, 112-125, 2010.
- [54] KULSHRESTHA, A., GURSUMEERAN SATSANGI, P., MASIH, J., TANEJA, A., Metal concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particles and seasonal variations in urban and rural environment of Agra, India, *Science of the Total Environment*, 407, 6196-6204, 2009.
- [55] FISCHER, P.H., HOEK, G., VAN REEUWIJK, H., BRIGGS, D.J., LEBRET, E., VAN WIJNEN, J.H., KINGHAM, S., ELLIOTT, P.E., Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam, *Atmospheric Environment*, 34, 3713-3722, 2000.
- [56] ONAT, B., ŞAHİN, Ü., STAKEEVA, B., KARİM, P., CERAN, T., İstanbul metrosunda PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının belirlenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 659-669, İstanbul, 06-09 Mayıs 2009.
- [57] WANG, I.T, CHICO, T., HUANG, Y.H., FARBER, R.J., Development, evaluation and application of a primary aerosol model. *Journal of the Air and Waste Management*, 49, 57-68, 1999.
- [58] POLICHETTI, G., COCCO, S., SPINALI, A., TRIMARCO, V., NUNZIATA, A., Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system, *Toxicology*, 261, 1-8, 2009.
- [59] VAN ROOSBROECK, S., WICHMANN, J., JANSSEN, N.A.H., HOEK, G., VAN WIJNEN, J.H., LEBRET, E., BRUNEKREEF, B., Long-term personal exposure to traffic-related air pollution among school children, a validation study, *Science of the Total Environment*, 368, 565-573, 2006.

- [60] WHO, Exposure of children to air pollution (particulate matter) in outdoor air, European Environment and Health Information System, (www.euro.who.int/document/EHI/enhis_factsheet09_3_3.pdf), 2009.
- [61] DERYAOĞLU, N., Adapazarı havasında bulunan tozlarda ağır metallerin Alevli AAS ile tayini, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2004.
- [62] THAKUR, M., DEB, M.K., IMAI, S., SUZUKI, Y., UEKI, K., HASEGAWA, A., Load of heavy metals in the airborne dust particulates of an urban city of central India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 95, 257–268, 2004.
- [63] PALA, M.F., 17 Ağustos depremi sonrası Adapazarı cadde ve sokak tozlarında ağır metal tayini, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2001.
- [64] HENDEN, E., GÖKÇEL, H.İ., ERTAŞ, F.N., ERTAŞ, H., DURSUN, Z., Eser element analiz metodu ders notları, Eser Analiz Yaz Okulu, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü, İzmir, 25-29 Haziran 2001.
- [65] http://www.heall.com/healingnews/may/heavy_metals.html, 2010
- [66] KAHVECİOĞLU, Ö., KARTAL, G., GÜVEN, A., TİMUR, S., Metallerin Çevresel Etkileri-I, *Metalurji Dergisi*, Sayı 136, 2002.
- [67] ÖZTÜRK, M., Kurşun kirliliğinin sağlık üzerine etkileri, (<http://www.mozturk.net>), 2006.
- [68] ÇAVUŞOĞLU, K., ÇAKIR, Ş., KIRINDI, T., Kırıkkale ilinin çeşitli bölgelerinde yol kenarlarından toplanan Pinus Nigra ve Caramanica (Loudon) rehder türündeki Pb kirliliğinin araştırılması, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 11, 2006.
- [69] WHO, Health risks of heavy metals from long-range transboundary air, (www.euro.who.int/document/E91044.pdf), 2007.
- [70] http://www.centro.com.tr/download/Kursun_Zehirlenmesi.pdf, 2010
- [71] ÖZDEMİR, F., Ev havasından çöken tozların ağır metaller yönünden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2004.
- [72] MUSLU, C., Sakarya ilinde yetiştirilen fındık türlerinde demir ve bakır elementlerinin AAS ile tayini, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2002.
- [73] KAHVECİOĞLU, Ö., KARTAL, G., GÜVEN, A., TİMUR, S., Metallerin

Çevresel Etkileri-II, *Metalurji Dergis*, Sayı 137, 2002.

- [74] US-EPA, Toxicological review of zinc and compounds, (<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P10038U5.txt>), 2003.
- [75] Trace Elements In Human Nutrition and Health, World Health Organization, Geneva, 1996.
- [76] WHO, Inorganic chromium (III) compounds, (www.who.int/entity/ipcs/publications/cicad/cicad76.pdf), 2009.
- [77] T.C. Sakarya Valiliği (<http://www.sakarya.gov.tr>), 2009
- [78] Sakarya Çevre il Durum Raporu, 2008.
- [79] HAYIR, M., Sakarya'da Sanayi Faaliyetleri ve Özellikleri, Kentsel Ekonomik Araştırmalar Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2005.
- [80] ALTUNDAĞ, H., Adapazarı ev tozlarında ağır metallerin Alevli AAS ile tayini, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2002.
- [81] SKOOG, D.A., HOLLER, F.J., NIEMAN, T.A., Enstrümantel Analiz İlkeleri, 1. Baskı, Bilim Yayıncılık, Ankara, 1998.
- [82] DEL CARMINE, P., LUCARELLI, F., MANDO, P.A., VALERIO, M., PRATI, P., ZUCCHIATTI, A., Elemental composition of size-fractionated urban aerosol collected in Florence, Italy; preliminary results, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 150, 450-456, 1999.
- [83] AL-MOMANI, I.F., DARADKEH, A.S., HAJ-HUSSEIN, A.T., YOUSEF, Y.A., JARADAT, Q.M., MOMANI, K.A., Trace elements in daily collected aerosols in Al-Hashimya, central Jordan, *Atmospheric Research*, 73, 87– 100, 2005.
- [84] KINDAP, T., KARACA, M., Avrupa kaynaklı aerosollerin Türkiye'ye taşınımı, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 5 (2), 3-12, 2006.
- [85] KARACA, F., ANIL, I., ALAGHA, O., Long-range potential source contributions of episodic aerosol events to PM₁₀ profile of a megacity, *Atmospheric Environment*, 43, 5713-5722, 2009.
- [86] <http://www.cumhuriyet.com.tr/?hn=131324>, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılı İstanbul doğumludur. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Kimya Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl Goldaş A.Ş.'de asistan olarak çalışmaya başlamış ve 2008 yılı ortalarında yüksek lisans eğitimi amacıyla ayrılmıştır.

2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü'nde yüksek lisansına başlamıştır.