

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEBZE ATMOSFERİNDEKİ AĞIR METALLERİN
SEVİYELERİNİN, KAYNAKLARININ, MEVSİMSEL
DEĞİŞİMLERİNİN VE MİKROPLASTİKLERLE OLAN
İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

MERVE SARAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEBZE ATMOSFERİNDEKİ AĞIR
METALLERİN SEVİYELERİNİN,
KAYNAKLARININ, MEVSİMSEL
DEĞİŞİMLERİNİN VE
MİKROPLASTİKLERLE OLAN
İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

MERVE SARAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BANU ÇETİN

GEBZE
2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**ASSESSMENT OF HEAVY METAL
CONCENTRATIONS IN THE
ATMOSPHERE OF GEBZE, THEIR
SOURCES, SEASONAL CHANGES AND
THEIR CORRELATIONS WITH
MICROPLASTICS**

MERVE SARAL
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BANU ÇETİN

GEBZE

2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/02/2022 tarih ve 2022/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/02/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Merve Saral'ın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Banu Çetin

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem Balçık

ÜYE

: Doç. Dr. Sema Yurdakul

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada Gebze Teknik Üniversitesi kampüsünden 118Y146 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında toplanan hava örneklerinde ağır metallerin konsantrasyonları, mevsimsel değişimleri, muhtemel kaynakları ve mikroplastiklerle olan korelasyonları incelenmiştir. Yüksek hacimli örnekleyici ile dört mevsim olmak üzere toplamda 127 örnek toplanmıştır. Ağır metal konsantrasyonları 48095 ng/m^3 (Na) ile $0,01 \text{ ng/m}^3$ (Tl) aralığında değişmiştir. Mikroplastiklerin konsantrasyonu yaz sezonunda en az 7207 MP/m^3 en fazla ise 21042 MP/m^3 bulunmuş, sonbahar sezonunda en az 7245 MP/m^3 en fazla 32950 MP/m^3 , kış sezonunda en az 4035 MP/m^3 en fazla 58270 MP/m^3 , ilkbahar en az 7275 MP/m^3 en fazla 37094 MP/m^3 olarak değişiklik göstermiştir. Ağır metallerin zenginleştirme faktörü incelenmiştir. Ulaşılan sonuçlar, Pb, Sn, Si, Zn, Sb, Cd, Se, Bi, ve Pt gibi bazı elementlerin aşırı zenginleşmiş ve antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir. Ağır metaller ile MP'lerin korelasyonuna bakıldığında ise sadece Platin (Pt) ile korelasyonu olduğu görülmektedir. Ağır metallerin kendi aralarında korelasyonları incelendiğinde; birbirleri ile olumlu yönde bir ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ağır metallerin MP'lerle ortak kaynağı olup olmadığını incelemek amacıyla Faktör Analizi yapılmıştır. Faktör analizine göre 6 farklı faktör tespit edilmiş olup, toplam varyansın %80'i açıklanmıştır. Sırasıyla açıklanan varyans oranları birinci faktör için %49, 2, ikinci faktör için %14,4, üçüncü faktör için %6,3, dördüncü faktör için %4,9, beşinci faktör için %3,8 ve son faktör içinse %3,5 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre birinci kaynak demir-çelik fabrikaları ve metalürjik prosesler gibi endüstriyel faaliyetler, ikinci kaynak odun-kömür yanması, üçüncü kaynak trafik emisyonu, dördüncü kaynak toprak kökenli, beşinci kaynak yanma emisyonu ve son kaynak ise lastik aşınmaları olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GTÜ, Ağır metal, Mikroplastik, Mevsimsel değişim, Korelasyon.

SUMMARY

In this study, the concentrations of heavy metals, their seasonal variation, possible sources and their correlations with microplastics were investigated in air samples collected from the GTU Campus within the scope of the TUBITAK project numbered 118Y146. A total of 127 samples were collected with four seasons. The concentrations of heavy metals ranged from 48095 ng/ m³ (Na) to 0.01 ng/m³ (Tl). The concentration of microplastics varied from 7207 MP/ m³ to 21042 MP/ m³ in the summer season, 7245 MP/ m³ to 32950 MP/ m³ in the autumn season, 4035 MP/ m³ to 58270 MP/m³ in the winter season, and 7275 MP/ m³ to 37094 MP/ m³ in the spring. The enrichment factors of heavy metals were studied. The results show that elements including Pb, Sn, Si, Zn, Sb, Cd, Se, Bi, ve Pt are of extremely enriched and anthropogenic origin. When the correlation of heavy metals and MP is examined, it is seen that microplastics have a correlation only with Platinum (Pt). In order to examine whether heavy metals have a common source with MPs, a Factor Analysis was performed. When the correlations of heavy metals with each other were examined, it was observed that they have a positive relationship. According to the factor analysis, 6 different factors were identified and 80% of the total variance was explained. The described variance ratios were found as 49.2% for the first factor, 14.4% for the second factor, 6.3% for the third factor, 4.9% for the fourth factor, 3.8% for the fifth factor and 3.5% for the last factor, respectively. According to these results, the first source is determined as industrial activities such as iron and steel factories and metallurgical processes, wood-coal combustion as the second source, traffic emission as the third source, soil origin as the fourth source, combustion emission as the fifth source and tire wear as the last source.

Keywords: GTU, Heavy metal, Microplastics, Seasonal variation, Correlation.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam sürecinde danışmanlığımı üstlenen ve bu süreçte benimle bilgi paylaşımını esirgemeyip yol gösteren ve projede yer almamı sağlayan, hocam Prof. Dr. Banu ÇETİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve tez çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan Arş. Gör. Işıl Çelik SAĞLAM' a,

Tez sürecinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Sema Yurdakul'a ve Doç. Dr. Meral Yurtsever'e,

Bu süreçte beni her zaman destekleyen canım ailem ve sevgili arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

118Y146 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmaya yaptıkları maddi katkılarından dolayı TÜBİTAK ÇAYDAG'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. AĞIR METALLER	4
2.1. Ağır Metal Kaynaklar	4
2.2. Ağır Metallerin Çevreye Etkisi	5
2.3. Ağır Metallerin Sağlığa Etkisi	5
2.4. Ağır Metal Ölçüm Yöntemleri	7
2.4.1. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS)	7
2.4.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)	7
3. MİKROPLASTİKLER	8
3.1. Mikroplastiklerin Morfolojik Özellikleri	8
3.2. Mikroplastiklerin Çeşitleri ve Kaynakları	9
3.3. Mikroplastiklerin Sınıflanması	11
3.4. Mikroplastik Kirliliği	12
3.5. Mikroplastiklerin Tanımlanması	13
3.5.1. Optik Teknikler	13
3.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	14
3.5.3. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	15
3.5.4. Raman Spektroskopisi	16
3.5.5. Piroliz Gazı Kromatografisi (Pyr-Gc-MS) Spektrometresi	17
3.5.6. Nil Kırmızısı (NK) ile Boyama Tekniği ile MP İnceleme	18
4. LİTERATÜR ÖZETLERİ	19

4.1. Ağır Metal Sınır Değerleri	19
4.2. Ağır Metal Çalışmaları	19
4.3. Mikroplastik Konusu İle İlgili Çalışmalar	20
5. GEREÇ VE YÖNTEM	22
5.1. Örnekleme	22
5.2. Ağır Metal Analizi	30
5.3. Zenginleştirme Faktörü (ZF)	31
5.4. Mikroplastik Analizi	32
5.5. Mikroplastiklerin Ağır Metallerle Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi	32
6. BULGULAR ve YORUMLAR	33
6.1. Meteoroloji Verileri	33
6.2. Toplam Asılı Parçacık (TSP) Verileri	38
6.3. Ağır Metal Verileri	40
6.4. Ağır Metal -Literatür Karşılaştırılması	48
6.5. Mevsimsel Zenginleştirme Faktörleri Karşılaştırmaları	49
6.6. Mikroplastik Verileri	55
6.7. Mikroplastiklerin Ağır Metallerle Korelasyonu	68
7. SONUÇLAR ve YORUMLAR	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Acıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	

µg	: Mikrogram
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ba	: Baryum
Be	: Beriyum
Bi	: Bizmut
Ca	: Kalsiyum
Ce	: Seryum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır
Eu	: Evropiyum
Fe	: Demir
Ge	: Germanyum
Ho	: Holmiyum
K	: Potasyum
La	: Lantan
Li	: Lityum
Lu	: Lutesyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MP	: Mikroplastik
Na	: Sodyum
ng	: Nanogram

Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Pt	: Platin
Ru	: Rubidyum
Rh	: Rodyum
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Ta	: Tantal
Tb	: Terbiyum
Ti	: Titanyum
Tl	: Talyum
V	: Vanadyum
Y	: İtriyum
Zn	: Çinko
AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
DDT	: Dikloro Difenil Trikloroetan
FTIR	: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
KOK	: Kalıcı Organik Kirletici
MP	: Mikroplastik
NK	: Nil Kırmızısı
PCB	: Poliklorlu Bifenil
Pyr-GcMs	: Piroliz Gazı Kromatografisi Spektrometresi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
ZF	: Zenginleştirme Faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Mikroplastikler.	8
3.2: Mikroplastiklerin morfolojisi.	9
3.3: Birincil (Primer) mikroplastikler.	10
3.4: İkincil (Sekonder) mikroplastik kaynakları.	11
3.5: SEM Cihazı.	15
3.6: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR).	16
3.7: Raman Spektroskopisi.	17
5.1: Örnekleme yeri uydu görüntüsü.	23
5.2: GTÜ kampüsünde bulunan örnekleme istasyonun konumu.	24
5.3: Şartlandırma kabini.	25
5.4: GTÜ kampüsünde bulunan örnekleme istasyonu.	25
5.5: Cihazdan toplanan filtreler.	26
5.6: Filtrelerin paketlenmesi.	27
5.7: Meteoroloji verileri ölçüm cihazı.	28
5.8: Örnek çözünürleştirmede kullanılan mikrodalga fırın ve aparatı.	30
6.1: Rüzgar gülü.	37
6.2: Yaz mevsimi TSP konsantrasyonları.	38
6.3: Sonbahar mevsimi TSP konsantrasyonları.	39
6.4: Kış mevsimi TSP konsantrasyonları.	39
6.5: İlkbahar mevsimi TSP konsantrasyonları.	39
6.6: Ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırılması.	43
6.7: Yaz mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları.	51
6.8: Sonbahar mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları.	52
6.9: Kış mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları.	53
6.10: İlkbahar mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları	54
6.12: Seçili sonbahar örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.	56
6.13: Seçili kış örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.	57
6.14: İlkbahar örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.	58
6.15: Mikroplastiklerin yaz mevsimi konsantrasyonları.	60

6.16: Mikroplastiklerin sonbahar mevsimi konsantrasyonları.	61
6.17: Mikroplastiklerin kış mevsimi konsantrasyonları.	62
6.18: Mikroplastiklerin ilkbahar mevsimi konsantrasyonları.	63
6.19: Yaz mevsimi MP-konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.	64
6.20: Sonbahar mevsimi MP- konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.	65
6.21: Kış mevsimi MP- konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.	66
6.22: İlkbahar mevsimi MP- konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.	67



TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Ağır metal kaynakları.	4
2.2: Bazı Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri ve Toksisite Düzeyleri.	6
3.1: Mikroplastiklerin Yapıları ve Kaynakları.	12
5.1: Mevsimsel örnekleme tarihleri.	29
6.1: Yaz mevsimi meteoroloji verileri.	33
6.2: Sonbahar mevsimi meteoroloji verileri.	34
6.3: Kış mevsimi meteoroloji verileri.	35
6.4: İlkbahar mevsimi meteoroloji verileri.	36
6.5: Mevsimsel ağır metal konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$).	40
6.6: Mevsimsel ağır metal konsantrasyonları (ng/ m^3).	41
6.7: Ağır metallerin yaz mevsimi veri analizi (ng/ m^3).	44
6.8: Ağır metallerin sonbahar mevsimi veri analizi (ng/ m^3).	45
6.9: Ağır metallerin kış mevsimi veri analizi (ng/ m^3).	46
6.10: Ağır metallerin ilkbahar mevsimi veri analizi (ng/ m^3).	47
6.11: Ağır metallerin diğer çalışmalarla karşılaştırılması ($\mu\text{g/g}$).	48
6.12: Faktör analizi.	70
6. 13: Ağır metallerin mikroplastiklerle korelasyonu.	71

1.GİRİŞ

Dünyada her saniye milyonlarca ton plastik malzeme üretiliyor ve üretilen bu malzemelerin çoğu çevreye kirlilik olarak geri dönüyor. Plastiklerle ilgili temel sorun çevrede oluşturduğu kirlilikten ziyade, plastiklerin doğada parçalanarak mikroskobik boyutlara ulaşmasıdır. Çevremizde gözle gördüğümüz plastik şişe ve malzemeler gibi büyük atıkların yanı sıra, tüm canlıların sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunan mikroplastiklere de dikkat edilmesi gerekmektedir.

Tabii ki kaynaklandığı yere göre problem oluşturabileceği ortam da değişmektedir. Çevredeki mikroplastikler Birincil ve İkincil mikroplastikler diye ayrılırlar. 5mm’ den daha ufak plastikler, palet üretimde açığa çıkanlar, kozmetik sektöründe yer alan mikrobuncuklar, direkt kullanım sonucunda meydana gelen “birincil mikroplastikler” olup; sentetik tekstil lifleri, lastik parçalanmaları, plastik atıklar ise “ikincil mikroplastikler” olarak ifade edilebilir. İkincil mikroplastikler belli bir aşınma ve taşınma sürecinden sonra meydana gelen yani dolaylı yoldan oluşan mikro-nano kirleticilerdir [Yurtsever, 2015]. Bu aşınma ve küçük parçalara dönüşme ve taşınma işlemleri insan faaliyetleri veya doğal olarak hava, rüzgar, güneş (Ultraviole ışını), su etkileriyle ve biyolojik bozunma ile oluşur.

Mikroplastikler, Kalıcı organik kirletici (KOK) [Lee et al., 2014], [Bakir vd., 2014] veya ağır metalleri bünyelerinde tutabilmekte veya tuttuğu bu kirleticileri salabilmektedirler [Graca et al., 2014]. Mikroplastikler nemli ve sıcak olan akciğerle ulaştığında üzerinde tuttuğu bu kirleticiler çözünabilmekte ve kana karışarak toksik etki yaratabilmektedir.

Mikroplastiklerin su ortamında yarattığı etkiler nispeten çalışılmaya başlanmışsa da havadaki dağılımı ve miktarları hakkında yeterli bilgiler mevcut değildir. Bu maddelerin akciğerlerde tespit edildiği çalışmalar göstermiştir ki, mikroplastikler havada yüksek konsantrasyonlarda mevcuttur ve bu kirleticiler insanların akciğerlerine kolayca nüfuz edebilmektedir. Mikro plastiklerin geniş yüzey alanları ile zararları kanıtlanmış kalıcı organik bileşikler, ağır metaller, motor yağları vb. gibi diğer kirleticileri de taşıyabilme ve absorplayabilme özelliklerinden dolayı mevcut olan tehlikeleri daha da katlanmaktadır.

Birçok çalışma, ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki zararlı ve toksik etkilerle ilişkili olduğunu göstermiştir [Kim et al., 2013], [Zhang and Cao, 2015].

Metaller çevreye farklı yollarla girebilir [Dobaradaran et al., 2018] ve birçok sorun yaratabilir, ancak en büyük sorunlardan biri vücuttaki metallerin bozulmaması, biyolojik olarak birikmesi ve fizyolojik işleyişi olumsuz etkilemesidir [Bolognin et al., 2009], [Faraji Ghasemi et al., 2020]. Atmosferik partiküllerde tespit edilen elementler arasında Pb, Cd, Cr ve As düşük konsantrasyonlarda bile yüksek toksisite riski oluşturabilir ve birçok hastalığa sebep olabilir [González et al., 2017].

Atmosferde bulunan bazı antropojenik ağır metal kaynakları arasında fosil yakıtların yanması, araç emisyonları, inşaat, elektrik üretimi ve atık yakma gibi endüstriyel faaliyetler yer almaktadır [Tian et al., 2011]. Bu kaynaklardan, kentlerdeki yüksek araç trafiği ve endüstriyel faaliyetler, atmosferdeki ağır metal emisyonuna en fazla katkıda bulunanlardır [González et al., 2017].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu çalışmanın amacı, Gebze Teknik Üniversitesi kampüsünde toplanan hava örneklerinde ağır metallerin zamansal değişimlerinin incelenmesi, muhtemel kaynaklarının belirlenmesi, meteorolojinin etkileri ve bu kirleticilerin birbirleri ve mikroplastiklerle olan olası ilişkilerinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, 118Y146 No'lu proje kapsamında Gebze Teknik Üniversitesi kampüsünde kurulan istasyondan toplanan hava örnekleri kullanılmıştır. Bu proje kapsamında bir yıl süreyle dört mevsim örnekleme devam etmiş ve toplamda 127 örnek elde edilmiştir.

Mikroplastikler, Kalıcı Organik Kirleticileri veya ağır metalleri bünyelerinde tutabilmekte ve/veya tuttuğu bu kirleticileri salabilmektedirler. Her ne kadar nano partiküller gibi kan dolaşımına doğrudan katılmasalar da üzerlerinde barındırdıkları kirleticilerin akciğer gibi nemli ve sıcak bir ortamda kana karışma ihtimali, mikroplastik kirliliğinin tahmin edilenden daha vahim bir sorun olabileceğini göstermektedir. Ayrıca bundan daha vahim olanı dünya genelinde milyonlarca insanın bu kirleticilere sürekli olarak maruz kalmasıdır.

Bu çalışmanın yapılması, öncelikli olarak soluduğumuz havadaki mikroplastik kirliliği hakkındaki bilgiyi genişletmek amacıyla tasarlanmakla birlikte, farklı ortamlardaki mikroplastik miktarlarını, bunların olası kaynaklarını, mikroplastiklerin ağır metallerle etkileşimlerini öğrenmek adına büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada ağır metallerin ve mikroplastiklerin yapısı, özellikleri, çevresel etkileri hakkında bilgiler verilmiş; havada yapılan çalışmalar incelenmiş ve Gebze'nin genel özellikleri anlatılmıştır. Örnekleme yeri, yöntemleri, analize hazırlık ve analiz yöntemleri anlatılmış, sonuçlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



2. AĞIR METALLER

Yoğunluğu 5 g/cm³'den fazla, atom numarası 20'den büyük olan, toksisite ve kirlilik oluşturan metallere ağır metal denir [Apaydın, 2005]. Bu grupta kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), bakır (Cu), krom (Cr), demir (Fe), nikel (Ni), cıva (Hg) ve çinko (Zn) gibi metaller bulunur [Özkan, 2009]. Ağır metaller toprakta, sedimentte, temiz su kaynaklarında ve deniz suyunda birikme özelliği vardır. Ağır metaller çevre kirliliğinde önemli bir role vardır [Karaçağıl, 2013].

2.1. Ağır Metal Kaynakları

Atmosfere birçok kaynaklardan salınan ağır metaller, kuru ve yağış çökeltme ile önce toprağa sonra sulara ardından da yeraltı sularına giriş yaparak ekolojik dengeyi tahrip etmektedir. Sektörel olarak Ağır metal kirleticileri Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Ağır metal kaynakları.

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

2.2. Ağır Metallerin Çevreye Etkisi

Ağır metaller, toprakta yağmur ile çözünerek ırmak, göl ve yeraltı sularına ulaşır. Suda seyreden ağır metaller kısmen karbonat, sülfür ve sülfat' a dönüşerek katı bir bileşik oluşturup suyun alt kısmında birikir ve o orada zenginleşir. Sediment tabakasının sülfatı absorbe etme kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı sularda ağır metal konsantrasyonu devamlı artar. Ülkemizde de yeterli çevresel önlemler almadığımız için başta tuz gölü gibi kapalı göllerde ve kontrolsüz sanayileşmeyi önleyemediğimiz için de su havzalarında metal konsantrasyonu devamlı artmaktadır [Kahvecioğlu vd., 2003].

Ağır metallerin ekolojik döngüde dağılımları incelendiğinde doğal döngülerden daha fazla antropojenik kaynaklı etkiler sebebiyle çevreye dağılımı görülmektedir. Sürekli ve kullanıma bağlı kirlenmenin yanı sıra kazalar sonucu da ağır metallerin çevreye yayılımı önemli miktarlara ulaşabilmektedir [Rether, 2002].

2.3. Ağır Metallerin Sağlığa Etkisi

Ağır metaller yaşamsal ve yaşamsal olmayan metaller olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların, insan vücudunda belli oranda olmalıdır. Bu metaller biyolojik reaksiyonlara katılım gösterdiği için düzenli olarak besinler vasıtasıyla vücutta bulunmaları zorunludur. Yaşamsal olmayan ağır metaller ise, çok küçük konsantrasyonda bile psikolojik dengeyi etkileyip sağlıksal problemlere neden olabilirler [Duffus and Worth, 1996]. Bazı ağır metallerin insan sağlığına etkileri ve toksisite düzeyleri Tablo 2.2' de gösterilmiştir [Aksoy, 2012].

Tablo 2.2: Bazı Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri ve Toksisite Düzeyleri.

Ağır metal	Etkileri	Toksisite düzeyi
Pb	Polinöropati, ensefalit, anemi, hipertansiyon, kanseri etkisi	Yüksek derece toksik
Hg	Nörolojik bulgular, guatr, taşikardi, düzensiz nabız, unutkanlık, sabırsızlık	Yüksek derece toksik
Cd	Yüksek tansiyon, akciğer kanseri, kemik erimesi, kansızlık	Orta derece toksik
As	Böbrek, karaciğer ve görme bozuklukları, kanser etkisi	Yüksek derece toksik
Li	Nörolojik bulgular, kas zayıflıkları	Hafif derece toksik
Cu	Karın ağrısı, kusma, kansızlık, solunum sıkıntısı	Yüksek derece toksik
Co	Çok nadir görülen etki söz konusudur	Hafif derece toksik
Cr	Deri sorunları, ülser, kanseri, solunum sistemi problemleri	Yüksek derece toksik

2.4. Ağır Metal Ölçüm Yöntemleri

Ağır metal analizlerinde birçok yöntem kullanılır. Doğru analitik yöntemin seçilebilmesi kesinlik, duyarlık, tayin sınırı, derişim aralığı ve seçicilik gibi ölçütlere dikkat edilmesi gerekmektedir [Özkan, 2009].

2.4.1. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS)

Atomik absorpsiyon spektroskopisi, yüksek sıcaklıklarda buhar fazında olan elementlerin atomları elektromanyetik ışınları absorblamasını incelemektedir. Absorblanmış elektromanyetik ışınlar çoğunlukla görünür ve mor ötesi ışınlardır. Bir elementin Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi ile analizini yapabilmek için, bu elementin ilk başta nötral hale, sonrasında buhar haline geçmesi daha da sonrasında belli bir kaynaktan gönderilen elektromanyetik ışın demetinin yoluna dağılması gerekmektedir. Bu işlemde, element buhar halinde olan bileşdiği barındıran bir çözeltinin yüksek sıcaklıkta bir alev içerisine püskürtülmesi veya elementin karbon numune kabına konulup kabı elektrik arkı ile akkor haline getirilmesi ile olur [Tuğrul, 2004].

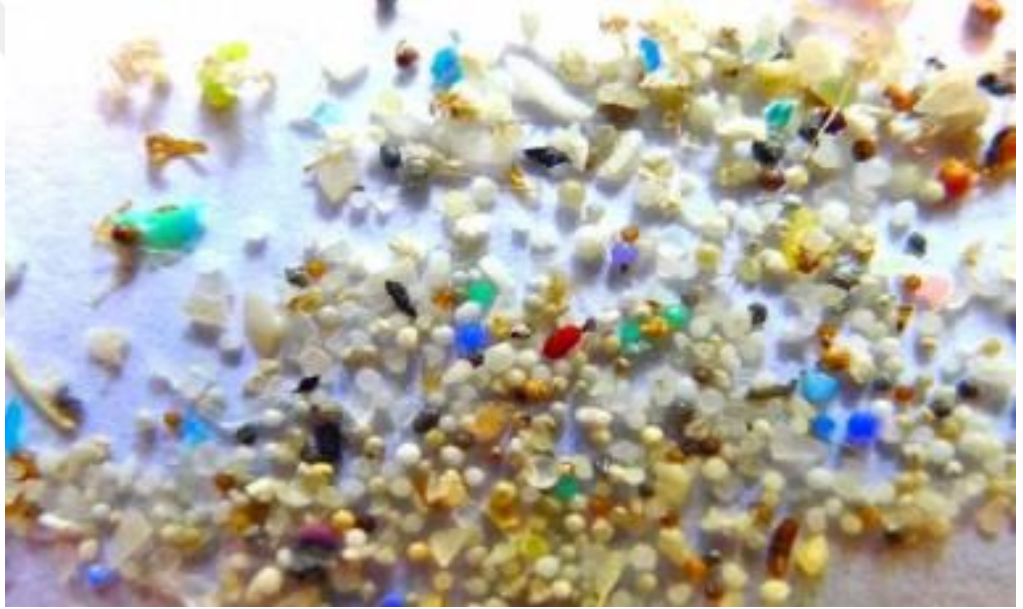
2.4.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS), örnekler yüksek sıcaklıkta olan plazmaya argon gönderilmesiyle molekül bağlarını kırması ve atomlarının iyonlaştığı analitik bir yöntemdir. Örnek, solüsyon şeklinde örnek giriş sistemi ile nebulizöre ve spreyciye yönlendirilir. Orada hızlı argon akışı ile örnek solüsyonu sisleştirilir. Yalnızca minik damlacıklar argon plazmasına taşınırken kalanlar direkt atığa dönüşür. 6000 K° sıcaklıktaki plazma, örneği buharlaştırıp iyonize hale çevirir. İyon akışı atmosferik basınçtan örnekleyici ve süzücü konlar vasıtasıyla yüksek vakumlu bir ortama geçer. Daha sonra iyon akımı iyon lensleri vasıtasıyla quadrupul'a odaklanarak kütle filtresine yönlendirilir. İyonlar kütle spektrometrede kütle yük oranına göre ayrıldıktan sonra dedektör yardımıyla ölçülürler [Önder, 2012].

3. MİKROPLASTİKLER

“Mikroplastik” terimi, İngiltere'deki Plymouth Üniversitesi deniz biyoloğu Profesör Richard Thompson ve meslektaşları tarafından 2004 yılında takdim edildi.

Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'ne (NOAA) göre, "mikroplastikler (MP), boyutları 1 nanometre ile 5 milimetre(mm) arasında değişen tüm plastiklerdir." 5 milimetreden büyük plastikler makroplastikler olarak adlandırılır. 1 mikron ile 5 mm arasında değişen boyutları olan plastik tabakalardır. Şekil 3.1’de mikroplastik örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Mikroplastikler.

3.1. Mikroplastiklerin Morfolojik Özellikleri

Mikroplastik parçacıkları; parçacıklar, iplik lifleri, straforlar, plastik granüler, amorf, yuvarlak, düz, küresel ve ovaldır. Şekil 3.2’ de mikroplastiklerin morfolojisi gösterilmiştir.

Mikroplastikler, tek boyutlu fiberler (büyük boy), iki boyutlu fragmanlar (düz partiküller) ve 3D boncuklar dahil olmak üzere çeşitli boyutları ve şekilleri kapsar [Gasperi et al., 2015].

Hidrofobik bir yüzeyi olması, hareketlilik, kirletici taşıma potansiyeli, poliklorlu bifenil (PCB) ve dikloro difenil trikloroetan (DDT) gibi KOK'ları absorbe etme kabiliyeti, Ultraviyole foto-oksidatif bozunma, termal oksidasyon, biyolojik ve /veya termal bozunma, biyofilmlerde biyokütlenin üstünde birikme gösterirler [Hidalgo-Ruz et al., 2012].



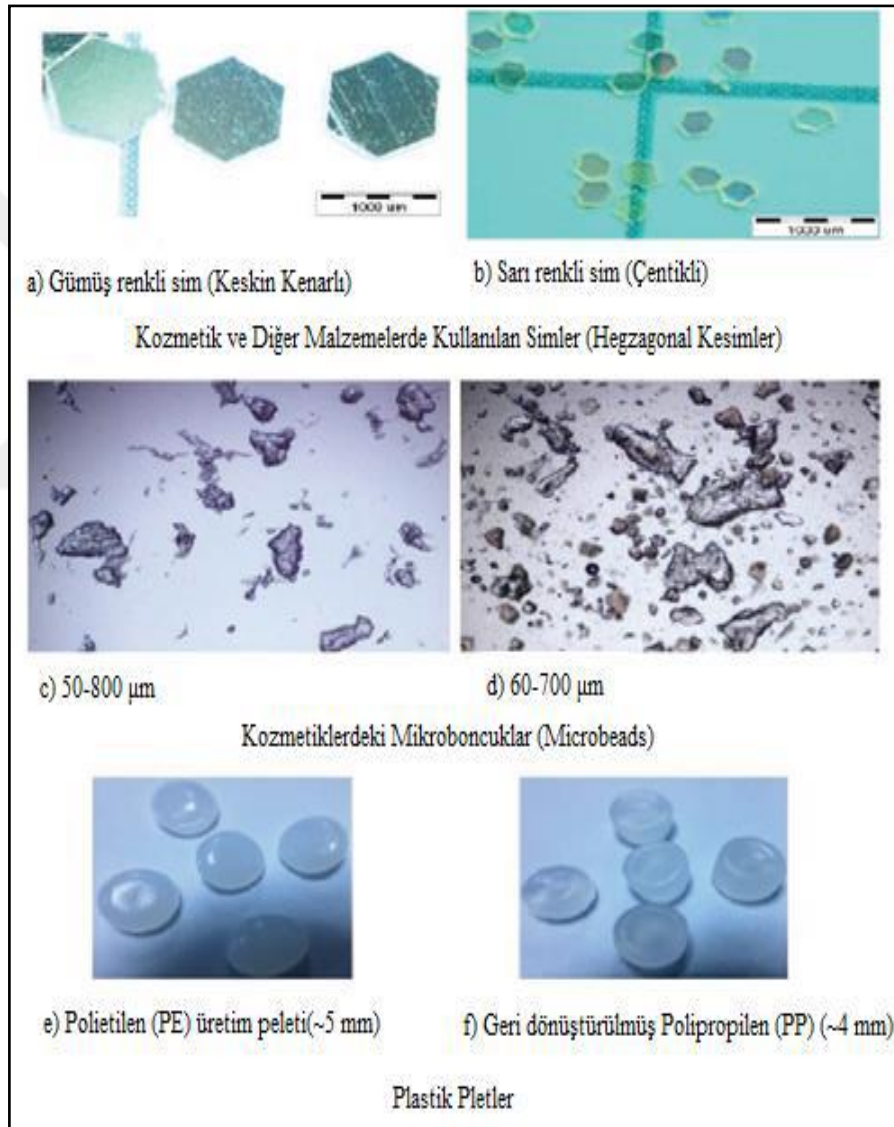
Şekil 3.2: Mikroplastiklerin morfolojisi.

3.2. Mikroplastiklerin Çeşitleri ve Kaynakları

Mikroplastik kaynağı olarak; birçok sentetik tekstil elyafı, deterjanlardaki, diş macunlarındaki ve kozmetiklerdeki mikro boncuklar, plastik fabrikalarından çıkan atıklar, otomobil lastiklerinin aşındıktan sonra kopan parçaları ve çevredeki plastikler zamanla ortamda küçük partiküller haline gelmesi sonucu oluşan küçük zerreler sayılabilir. Mikroboncuklar ve tekstil lifleri doğrudan kullanımdan sonra meydana

gelen plastikler birincil (primer) mikroplastikler olarak kabul edilir; diğer plastik atıklar, kauçuk parçaları ve çevredeki plastiklerin parçalanması, belirli bir bölünme aşamaları geçirdikten sonra meydana geldiği için dolaylı kirleticiler veya ikincil mikroplastikler (sekonder) olarak değerlendirilebilir. Bu parçalanma süreçleri; antropojenik ve/veya doğal etkiler (rüzgar, su, hava, güneş (ultraviyole ışınları) gibi) nedeniyle meydana gelebilir. [Yurtsever, 2015].

Birincil ve ikincil mikroplastiklere ait görüntüler aşağıdaki Şekil 3.3 ve 3.4' te örnek olarak gösterilmiştir [Yurtsever, 2015].



Şekil 3.3: Birincil (Primer) mikroplastikler.



Şekil 3.4: İkincil (Sekonder) mikroplastik kaynakları.

3.3. Mikroplastiklerin Sınıflanması

Mikroplastikleri sınıflandırabilmek için meydana geldiği kaynaklar, üretilmiş olduğu malzeme, yapısı, tipi, rengi, şekli yıpranmışlık durumu incelenmelidir [Hidalgo-Ruz et al., 2012].

Günlük yaşantımızda kullandığımız plastiklerden kaynaklı oluşan mikroplastiklerin özelliklerinin olduğu tabloyu Tablo 3.1’de görebilirsiniz [Yurtsever, 2015].

Tablo 3.1: Mikroplastiklerin Yapıları ve Kaynakları.

Kategoriler	Mikroplastikler
Kaynakları	1. Tüketici ürünlerinden kaynaklananlar: Kozmetiklerdeki mikroboncuklar; yüz temizleme ve peeling jelleri, şampuan ve sabunlar, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremleri. 2. Tekstil ürünleri: Kıyafetlerde vb. kullanılan polyester, polyamid (nylon) ve polar tekstil malzemeler. 3. Endüstriyel hammaddeler, artıkları ve döküntüleri: Plastik üretim, işleme ve şekillendirme işlemlerinden. 4. Ulaşımdan kaynaklananlar: Araç lastiği döküntüleri.
Tipi	Plastik parçacıkları, peletler, iplik-lifler, plastik filmler, köpüklü plastikler, granüler plastikler, straforlar.
Şekilleri	Pelet şeklinde olanlar: silindirik, diskler, düz, oval, küresel. Parça şeklinde olanlar: yuvarlak, yarı yuvarlak, köşeli, yarı köşeli. Genel: şekilsiz, uzun, parçalanmış.
Aşınma durumu	Yeni, bozunmamış, pürüzlü yüzey, pürüzlü parçacıklar, doğrusal kırıklar, yarıparalel çıkıntılar, yeni başlayan değişim ve çizik düzeyi (konkoidal kırıklar), oyuklu, pürüzsüz yüzey, bozunmuş ve çok bozunmuş olanlar.
Renk	Şeffaf, kristalin, beyaz, krem, sarı, pembe, yeşil, kırmızı, turuncu, mavi, opak, siyah.

3.4. Mikroplastik Kirliliği

Mikroplastikler, polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) ve kalıcı organik kirleticiler (KOK) içermeleri sebebiyle çevreye potansiyel toksik etki göstermektedir [Silva et al., 2018].

Mikroplastikler ayrıca birçok ekosistemde bulunan poliklorlu bifenil (PCB) gibi kalıcı organik kirleticileri de absorbe eder [Royer et al., 2018].

İnsanlar ve yaban hayatı için birçok olumsuz etkilere (kanser, üreme yeteneğinde ve immün sistemde bozulma) neden olmaktadır [Yurtsever, 2015].

Mikroplastiklerin yapılarında bulunabilen bazı kimyasallar (örneğin; bifenol-A, nonilfenol) hormonlar ile vücuttaki endokrin sisteminin bozulmasına sebep olurlar. Bu hasarlar, öğrenme ve davranışların, beyin gelişiminin, normal cinsel gelişiminin, gövde ve uzuvların bozulmasına ve kanser olaylarının artmasına (örneğin; prostat ve meme kanserleri) gibi sonuçlara neden olabilmektedir [Yurtsever, 2015].

Havadaki mikroplastikler, havanın berraklığını azaltabilir ve ciddi durumlarda trafik kazalarına sebep olabilir.

Havadaki mikroplastikler, solunum sistemini tahriş etme ve iltihaplanma ile solunum yolu semptomlarına ve hatta kanser gibi insanlar için önemli sağlık problemlerine sebep olabilmektedir. Atmosferde bulunan mikroplastiklerin insan sağlığı üzerinde potansiyel olumsuz etkileri olmasına rağmen, havadaki mikroplastik kirliliği ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır [Fu et al., 2020].

3.5. Mikroplastiklerin Tanımlanması

Mikroplastik süspansiyonlar optik mikroskop, elektron mikroskobu, raman spektroskopisi ve fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile incelenebilir. Mezoplastikler spektroskopik ve görüntüleme yöntemiyle mikroplastikler, mikrospektroskopi ve floresans yöntemiyle ve nanoplastikler de elektron mikroskobu yardımıyla incelenebilmektedir. Yuvarlaklık, parçacık boyutu ile ters orantılı olarak değişebilmektedir. Daha büyük parçacıklar daha ince uzun ve/veya pürüzlü yüzeye sahiptir. Fakat küçülen parçacıklar daha yuvarlak şekilli olarak görüntülenmektedir. [Hussain et al., 2001].

3.5.1. Optik Teknikler

Görsel tanımlama, çıplak gözle gözlemle veya optik bir mikroskop (tipik olarak bir stereomikroskop) yardımı ile elde edilebilecek mikroplastiklerin tanımlanmasında en basit ve en yaygın kullanılan tekniktir. Şekiller ve renkler,

şüpheli bir ögenin mikroplastik olup olmadığını belirlemenin temelini oluşturmaktadır [Rose et al., 2016].

İncelenen parçacıkların boyutu azalması optik tekniklerle yanlış tanıma olasılığı oldukça arttırmaktadır [Rose et al., 2016]. Bu tür dezavantajlar, görsel tanımlama sonuçlarına yüksek bir hata oranı verebilmektedir [Hidalgo-Ruz et al., 2012], [Nuelle et al., 2014].

3.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikroplastik tanımlamada yaygın olarak kullanılır [Fries et al., 2013]. SEM, Şekil 3.5'te gösterilmiştir. SEM, numune yüzeyine yüksek yoğunluklu bir elektron ışını göndererek ve raster tarama modelinde taratıp, bir numunenin yüksek çözünürlüklü görüntülerini sağlayabilir [Rose et al., 2016]. Numunenin yüzey detayları (<0.5 nm çözünürlük) elektronlar tarafından çok fazla büyütmelede görüntülenmez. Mikroplastikler, SEM kapsamında yüzey morfolojilerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini inceleyerek diğer organik veya inorganiklerden ayırt etmektedir [Rose et al., 2016]. SEM-EDS kullanımı, görüntüleme ve elementel analiz vasıtasıyla doğal materyallerin mikroplastiklerden daha çok ayırt edilmesine yardımcı olur ve bu şekilde spektroskopik analiz için gerekli olan partikül miktarını azaltmaktadır [Song et al., 2015]. SEM, mikroplastiklerin yüzey özelliklerini incelemek için başarılı bir şekilde kullanılsa da, bu yöntem, numune hazırlaması olduğu için çok fazla zaman kaybettirir. Bundan dolayı fazla sayıda numunenin taranması için uygun bir teknik değildir [Song et al., 2015].



Şekil 3.5: SEM Cihazı.

3.5.3. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), belirli kimyasal bağlar için eşsiz bir kızılötesi spektrum sağlamaktadır. Farklı malzemeler, farklı bağ bileşimlerine sahip olduğu için bilinmeyen maddenin tayfını bilinen ile karşılaştırıp tanımlamasını sağlar [Silva et al., 2018]. Yüksek güvenilirliği sebebiyle FTIR, çevresel örneklerden toplanan mikro plastiklerin kimyasal karakterizasyonunu bulmada kullanılan yöntemlerden biridir [Silva et al., 2018], [Zhang et al., 2016]. FTIR, Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

FTIR kullanılıp analiz edilen şüpheli parçacıkların sayısının artışı verilerin doğruluğunu artırabilir ama zaman ve maliyet yönünden olumsuz etkiler. FTIR, mikroplastiklerin polimerik bileşimini sadece >10 ila 20 mm büyüklüğünde belirleyebilir ve hedef parçacıkların bu oramdan daha da küçük olduğu şartlarda uygulanabilirliğini kaybetmektedir [Löder and Gerdts, 2015]. FTIR kullanarak

şüpheli mikro plastik parçacıkların kimliğinin bulunması uzun zaman alan bir iştir ve genellikle deneyimli bir operatörün bakması gerekir [Löder and Gerdt, 2015].



Şekil 3.6: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR).

3.5.4. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi, mikroplastiklerin çeşitli çevresel matrislerden polimer tanımlanmasında kullanılan bir yöntemdir [Tagg et al., 2015]. Mikroplastiklerin Raman spektroskopisi ile tanımlanması, mono-kromatik lazer ışınının şüpheli bir numuneye ışınlanması ile gerçekleştirildi. Numune tarafından absorpsiyon, saçılma veya yansıma nedeniyle geri dönen ışığın farklı bir frekansıyla sonuçlanır [Rose et al., 2016]. Raman kayması, her polimer için benzersiz bir spektrum üretebilir. Mikroskopi (mikro-Raman) ile bir Raman spektroskopisi kombinasyonu, 1 mm'ye kadar olan mikroplastiklerin tanımlanmasını sağlar [Rose et al., 2016]. Raman yönteminin dezavantajı, tanımlama doğruluğunu olumsuz yönde etkileyen katkı maddeleri, pigmentler veya mikroplastiklerle ilişki olan kimyasalların varlığı ile

kolayca engelleyebilmesidir [Löder and Gerdts, 2015]. Raman Spektroskopisi, Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Raman Spektroskopisi.

3.5.5. Piroliz Gazı Kromatografisi (Pyr-Gc-MS) Spektrometresi

Piroliz gazı kromatografisi spektrometresi (Pyr-GC-MS), termal bozunma ürünlerini analiz edip mikroplastiklerin kimyasal tanımlanmasında kullanılır [Song et al., 2015]. Pyr-GC-MS, katı numune partiküllerinin en az numune ön işlemiyle doğrudan girmesine izin verebilmektedir. Pyr-GC-MS'nin önemli bir avantajı, aynı zamanda polimerin kimyasal bileşimi ve içerdiği organik katkı maddeleri hakkında ayrıntılı bilgi verebilmektedir [Araujo et al., 2018]. Pyr-GC-MS, analiz edilen parçacıkların şekline, boyutuna ve ilişkili organik veya inorganik kirlenici

maddelerine karşı duyarlı değildir [Araujo et al., 2018]. Potansiyel mikroplastik parçacıkların piroliz tüpüne manuel olarak yerleştirildiği için sadece elle manipüle edilecek kadar büyük partiküller (> 100 µm) Pyr-GC-MS tarafından analiz edilmek için uygundur [Kappler et al., 2018].

3.5.6. Nil Kırmızısı (NK) ile Boyama Tekniği ile MP İnceleme

Mikro boyutlu parçacıklar Nil kırmızısı (9-diethylamino-5H-benzo[*a*]phenoxazine-5-one) boyaması ile sayılabilmektedir. Boya ile mikroplastiklerin yüzey alanı boyanıp ardından mavi ışık parçacıkları floresan altında turuncu bir filtre ile floresan emisyonu bakılmaktadır. Görsel analiz yöntemi ile floresan parçacıklar tanımlanıp ve sayılabilmektedir. Nil kırmızı molekülü, sadece hidrofobik bir ortamın varlığında floresan özelliği göstermekte ve mikroplastiklere doğrudan bağlanmaktadır. Sonuç olarak, nil kırmızı ile boyanmış mikroplastik parçacıklar bir floresan mikroskop altında kolayca sayılabilmektedir. Nil kırmızı doğal organik maddeleri de boyadığı için analizden önce ön saflaştırma işlemleri yardımıyla organik maddeler uzaklaştırılmalıdır [Li et al, 2018].

4. LİTERATÜR ÖZETLERİ

4.1. Ağır Metal Sınır Değerleri

Ulusal Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (HKDYY), PM10 da bulunabilecek elementler içerisinde sadece kurşun için belirlenen bir sınır değeri mevcuttur ve uzun vadeli olarak 2000 ng/m^3 'tür. AB direktifinde (99/30/EC EU Directive) ise PM10 içerisinde bulunabilecek Pb, As, Cd ve Ni metallerinin yıllık ortalama limit değeri sırasıyla 500 ng/m^3 , 6 ng/m^3 , 5 ng/m^3 , 20 ng/m^3 olarak verilmektedir. WHO ve EPA As, Cr ve Ni'i kanserojen maddeler olarak tanımlayıp birim risk faktörlerini sırasıyla $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/m}^3$, $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ve $3,8 \cdot 10^{-4} \text{ } \mu\text{g/m}^3$ olarak belirlemiştir. V, Mn, Cd ve Hg'yi kanserojen olmayan sağlık riski taşıyan 64 toksik elementler olarak sınıflandırıp birim risk faktörlerini sırasıyla 1 ng/m^3 , 1 ng/m^3 , $5 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ve 1 ng/m^3 olarak belirlemiştir.

4.2. Ağır Metal Çalışmaları

Dündar ve arkadaşları 2013 yılında Adapazarı'nda havada ağır metal konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışmada Cu, Pb, Cd, Zn, Cr ve Ni elementlerine bakılmıştır. İncelenen elementlerin konsantrasyonları Cu: $5,7\text{-}33 \text{ } \mu\text{g/g}$; Pb: $7,2\text{-}6,3 \text{ } \mu\text{g/g}$; Cd: $0,2\text{-}2,22 \text{ } \mu\text{g/g}$; Zn: $98\text{-}245 \text{ } \mu\text{g/g}$; Cr: $0,4\text{-}15 \text{ } \mu\text{g/g}$ ve Ni: $2,2\text{-}56 \text{ } \mu\text{g/g}$ ölçülmüştür [Dündar vd., 2003].

Divrikli ve arkadaşları 2013 yılında Kayseri ilinde havada ağır metal konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışmada Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, Co, Ni elementlerine bakılmıştır. İncelenen elementlerin konsantrasyonları Cu: $12\text{-}315 \text{ } \mu\text{g/g}$; Pb: $49\text{-}381 \text{ } \mu\text{g/g}$; Cd: $1\text{-}45 \text{ } \mu\text{g/g}$; Cr: $31\text{-}96 \text{ } \mu\text{g/g}$; Mn: $84\text{-}532 \text{ } \mu\text{g/g}$; Co: $11\text{-}137 \text{ } \mu\text{g/g}$; Ni: $23\text{-}85 \text{ } \mu\text{g/g}$ ölçülmüştür [Divrikli vd., 2003].

Sezgin ve arkadaşları 2013 yılında İstanbul ilinde havada ağır metal konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışmada Cu, Pb, Cd, Mn, Co, Ni elementlerine bakılmıştır. Cu: $45\text{-}1359 \text{ } \mu\text{g/g}$; Pb: $106\text{-}555 \text{ } \mu\text{g/g}$; Cd: $0,8\text{-}6,7 \text{ } \mu\text{g/g}$; Mn: $304\text{-}657 \text{ } \mu\text{g/g}$; Co: $226\text{-}1852 \text{ } \mu\text{g/g}$; Ni $10\text{-}66 \text{ } \mu\text{g/g}$ ölçülmüştür [Sezgin vd., 2003].

Tüzen ve arkadaşları 2013 yılında Tokat ilinde havada ağır metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmada Cu, Pb, Cd, Zn, Cr, Mn, Co ve Ni elementlerine bakılmıştır. Çalışmada Cu: 29 µg/g; Pb:149 µg/g; Cd: µg/g; Zn:63 µg/g; Cr: 30 µg/g; Mn: 285 µg/g; Co: 20 µg/g ve Ni: 65 µg/g ölçülmüştür [Tüzen vd., 2003].

Okuda ve arkadaşları Pekin’de Mart 2001 ile Ağustos 2003 arasında günlük PM10 ölçümleri yapmışlardır. Günlük ortalama metal konsantrasyonlarını sırasıyla; Al için $3,5\pm2,4$ µg/m³, Ti, için $0,47\pm0,35$ µg/m³, V için $0,013\pm0,010$ µg/m³, Cr için $0,019\pm0,015$ µg/m³, Mn için $0,24\pm0,16$ µg/m³, Fe için $5,5\pm3,9$ µg/m³, Co için $0,0046\pm0,0055$ µg/m³, Ni için $0,022\pm0,024$ µg/m³, Cu için $0,11\pm0,11$ µg/m³, Zn için $0,77\pm0,60$ µg/m³, As için $0,048\pm0,047$ µg/m³, Se için $0,010\pm0,010$ µg/m³, Cd için $0,0068\pm0,0082$ µg/m³, Sb için $0,033\pm0,036$ ve Pb için $0,43\pm0,50$ µg/m³ olduğu gözlenmiştir [Okuda vd., 2004].

Karaca (2005) İstanbul Büyükçekmece bölgesinde atmosferik PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} aerosollerindeki metal konsantrasyonlarını incelemiştir. AAS tekniğiyle Al, Fe, Ca, Zn, Mg, Na ve GF-AAS tekniğiyle Cr, Cd, Ni, 34 Pb tayinleri yapılmıştır. PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} içeriğindeki metal konsantrasyonları sırasıyla şu değerlerde belirlenmiştir. Cd için 2,28 ng/m³ ve 0,68 ng/m³, Cr için 99 ng/m³ ve 101 ng/m³, Fe için 555 ng/m³ ve 967 ng/m³, Mg için 403 ng/m³ ve 657 ng/m³, Na için 10555 ng/m³ ve 6791 ng/m³, Ni için 381 ng/m³ ve 334 ng/m³, Pb için 78 ng/m³ ve 58 ng/m³, Zn için 96 ng/m³ ve 56 ng/m³, Al için 3156 ng/m³ ve 2708 ng/m³, Ca için 2148 ng/m³ ve 3251 ng/m³ [Karaca, 2005].

4.3. Mikroplastik Konusu İle İlgili Çalışmalar

Dris ve arkadaşları 2016 yılında dış ortamda pasif örnekleyici ile örnek alanı 0.325 m²’lik alanda bir yıl boyunca örnek toplamıştır. Stereomikroskop ve FTIR cihazı ile lif, PET, PA sayıları ölçülmüştür. Günlük bir metrekarede 2-333 adet partikül bulunmuştur [Dris et al, 2016].

Cai ve arkadaşları 2017 yılında dış ortamda pasif örnekleyici ile örnek alanı 0.0177 m²’lik alanda 30 gün boyunca örnek toplamıştır. SEM ve FTIR cihazı ile palet, film, PP, PE ve PA sayıları ölçülmüştür. Günlük bir metrekarede 198 ± 27

adet partikül bulunmuştur [Cai et al, 2016].

Dris ve arkadaşları 2017 yılında dış ortamda örnekleme hacmi 2-5 m³ olan aktif örnekleyici ile 4-7 saat boyunca örnek toplamıştır. Stereomikroskop ve FTIR cihazı ile lif, PE, PA, PP sayıları ölçülmüştür [Dris et al, 2017].

Tunahan ve arkadaşları 2018 yılında dış ortamda dakikada örnekleme hacmi 0.3 m³ olan aktif örnekleyici ile 5 ay boyunca örnek toplamıştır. Mikroskop, ATR ve FTIR cihazı ile lif, PE, PA, PP ve PS sayıları ölçülmüştür. Günlük bir metrekarede 10495-30822 adet partikül bulunmuştur [Kaya et al, 2018].

Abbasi ve arkadaşları 2019 yılında dış ortamda dakika örnekleme hacmi 16,67 litre olan aktif örnekleyici ile 8 gün boyunca örnek toplamıştır. Işık ve floresan mikroskobu ve SEM cihazı ile lif sayısı ölçülmüştür [Abbasi et al., 2019].

Allen ve arkadaşları 2019 yılında dış ortamda pasif örnekleyici ile 5 ay boyunca örnek toplamıştır. Floresan mikroskobu, FTIR ve Raman spektroskopisi ile lif ve PS sayısı ölçülmüştür. Günlük 69 adet mikroplastik bulunmuştur [Allen et al., 2019].

Lui ve arkadaşları 2019 yılında dış ortamda dakikada örnekleme hacmi 0,1 litre olan aktif örnekleyici ile 1 saat boyunca örnek toplamıştır. FTIR cihazı ile lif, granül ve PE sayıları ölçülmüştür. Günlük 21 adet mikroplastik bulunmuştur [Lui et al, 2019].

Klein ve arkadaşları 2019 yılında dış ortamda pasif örnekleyici ile çapı 12 cm olan filtre ile 12 hafta boyunca örnek toplamıştır. Floresan mikroskobu ve Raman cihazı ile lif, PE sayıları ölçülmüştür. Günlük bir metrekare alanda 136-512 adet mikroplastik bulunmuştur [Klein and Fischer, 2019].

Rizki ve arkadaşları 2019 yılında dış ortamda aktif örnekleyici ile 3 gün boyunca örnek toplamıştır. Mikroskop ve FTIR cihazı ile film, palet, PET ve lif sayıları ölçülmüştür. Günlük bir metreküplük hacimde 175 adet partikül bulunmuştur [Rizki et al., 2019].

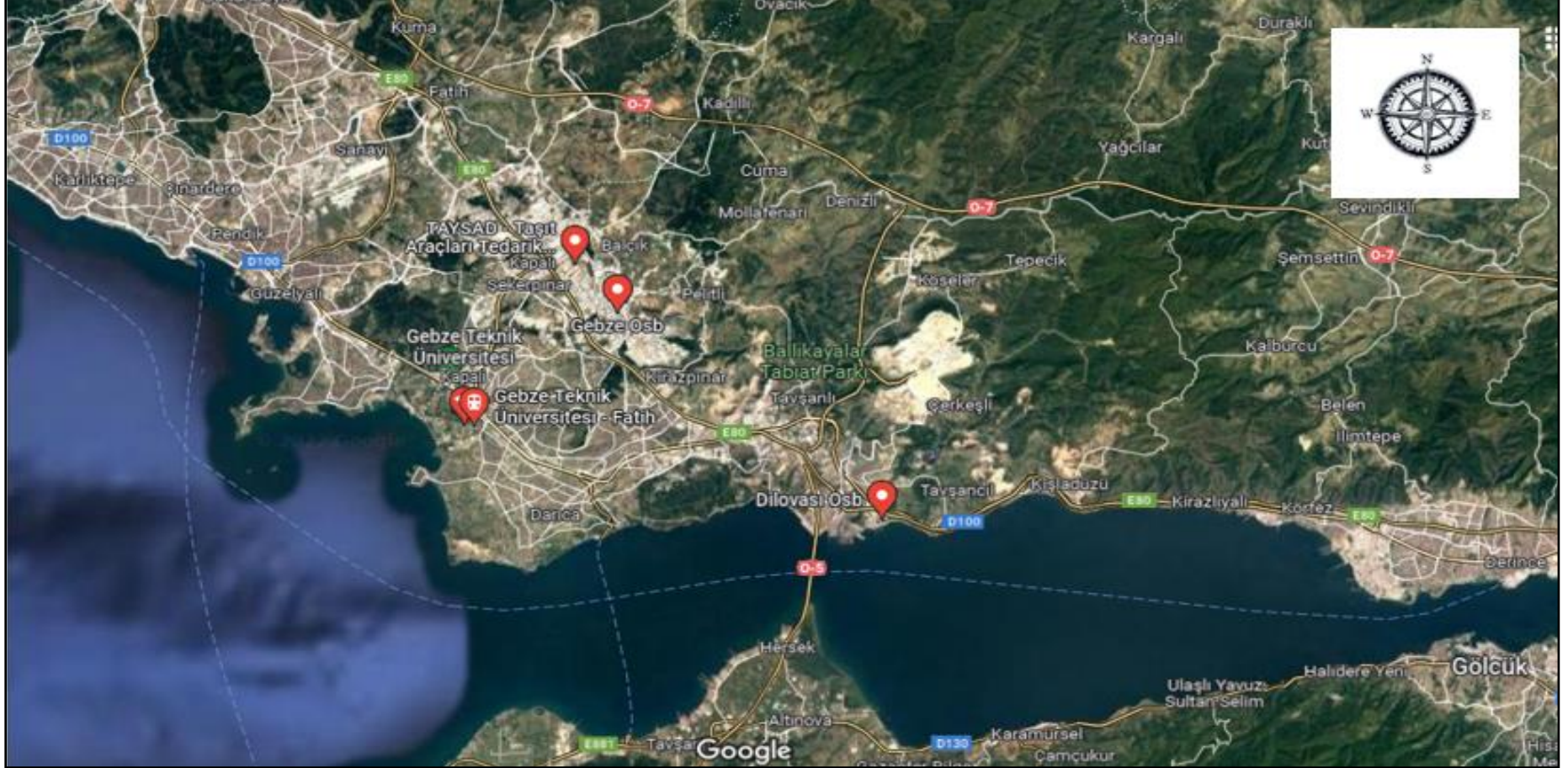
Wright ve arkadaşları 2020 yılında dış ortamda pasif örnekleyici ile çapı 2 cm olan filtre ile 3-4 boyunca örnek toplamıştır. Mikroskop ve FTIR cihazı ile PVC, PE, PET, PP, PUR ve PA sayıları ölçülmüştür. Günlük bir metre karede 771 adet mikroplastik bulunmuştur [Wright et al., 2020].

5. GEREÇ VE YÖNTEM

5.1. Örnekleme

Kocaeli ili Gebze ilçesinde bulunan Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü örnekleme bölgesi olarak belirlenmiştir (Şekil 5.1). Kocaeli ili, 29° 22'-30° 21' doğu boylamı ile 40° 31'-41° 13' kuzey enlemi arasında yer almaktadır. Asya ile Avrupa kıtaları arasında önemli kara ve demiryolu güzergâhlarının kesiştiği yerde bulunan Kocaeli, bugün Marmara Bölgesi'nin ve yurdumuzun en önemli endüstri ve sanayi yerleşimlerinden biridir. Doğu ve güneydoğuda Sakarya, güneyde Bursa illeri, batıda Yalova ili, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul ili, kuzeyde de Karadeniz'le çevrilidir. Kocaeli, en küçük 8. il olmasına rağmen en yoğun nüfusa sahip 2. ilidir.

Sektörel bazda değerlendirildiğinde, elektrikli makineler, makine imalat, otomotiv ana ve yan sanayi, kimya, plastik ve kauçuk, demir-çelik, metal ürünleri gibi sektörlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Kimya sanayinde Türkiye'nin en büyük sanayi kuruluşu olan TÜPRAŞ Petrol Rafinerisi Kocaeli'de faaliyet göstermektedir. Asya ve Avrupa'yı birbirine bağlayan Marmara Denizi'nin ve Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer alan bir şehirdir. Kara, demir, deniz ve hava yolu ulaşimleri ile Türkiye'nin en önemli geçiş noktalarından biridir. Kampüs yakınlarında otomotiv, sunta, atık yakma tesisi, lastik fabrikaları, D-100 Karayolu ve E-5 otobanlarından kaynaklı araç emisyonları ve rafineri, kimyevi endüstriler, küçük sanayi, liman gibi önemli emisyon kaynaklarına oldukça yakındır. Ayrıca yakınlarında Gebze Organize Sanayi Bölgesi ve Dilovası Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır.



Şekil 5.1: Örnekleme yeri uydu görüntüsü.

GTÜ kampüsünde örnekleme istasyonu (Şekil 5.2) kurularak yüksek hacimli örnekleyci ile toplam askıda katı madde örnekleme yapılmıştır.



Şekil 5.2: GTÜ kampüsünde bulunan örnekleme istasyonun konumu.

GTÜ kampüsünde kurulan Tisch marka yüksek hacimli örnekleyci (Şekil 5.4), sabit bir örnekleme süresi boyunca 1,13- 1,7 m³/dk arasındaki bir akış hızında partikül toplamaktadır. Bu örnekleyci toplam asılı partiküllerin konsantrasyonunu belirlemek için veya partiküllerin kimliğini belirlemek için kullanılabilir. Cihazın filtre ortamına uygun filtre takılır istenilen zaman aralığında vakum motoru yardımıyla numune toplanır ve filtrelendir.

Örnekleyci cihaza uygun olarak seçilen filtreler Whatman marka yaklaşık A4 kağıdı (20x25 cm) boyutunda quartz özelliktedir. Örnekleme öncesinde filtreler olası organik kirliliklerden temizlemek için kül fırınında 550 °C de 4 saat

tutulmuştur. Daha sonra yeni tasarlanan cam malzemelerle üretilen içinde slika jel bulunan şartlandırma kabiniinde (Şekil.5.3) sabit tartıma gelene kadar 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 5.3: Şartlandırma kabini.



Şekil 5.4: GTÜ kampüsünde bulunan örnekleme istasyonu.

Örnekleme öncesinde filtreler tartılmıştır. Ardından her gün cihaza filtreler yerleştirilmiştir. Sonraki süreçte hesaplamalarda kullanılmak üzere hem mikroplastik hem de ağır metaller için her mevsime ait ikişer tane sahit numuneleri

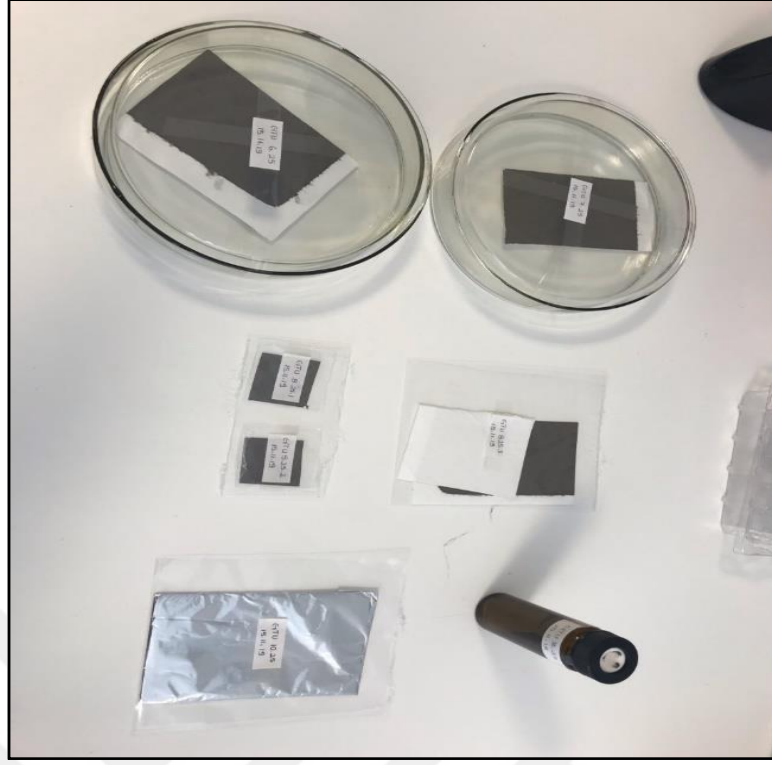
saklanmıştır. Bu filtreler cihaza yerleştirilmemiştir.

Yüksek hacimli örnekleyci ile dört mevsim örnekleme yapılmıştır. Yaz mevsiminde 34, sonbahar mevsiminde 31, kış mevsiminde 32 ve ilkbahar mevsiminde 30 olmak üzere toplamda 127 örnek toplanmıştır. Toplanan örnekler (şekil 5.5) cihazdan alındıktan hemen sonra tartılmıştır ardından ek bir kirlilik getirmemesi için dezenfekte edilmiş teflon bıçak yardımıyla ahşap bir yüzey üzerinde eşit parçalara bölünüp ayrı ayrı tekrardan tartılıp ve not edilmiştir.

Parçalardan bir tanesi mikropplastik analizi için uygun cam petri kaplarına konulmuştur (şekil 5.6). Diğer bir parça plastik poşetlere konulup ağızı kapatma makinesi kullanılarak kilitlenmiştir ve ağır metal analizleri için saklanmıştır. Kalan parçalar da olası bir aksilik durumu için uygun şartlarda saklanmıştır.



şekil 5.5: Cihazdan toplanan filtreler.



Şekil 5.6: Filtrelerin paketlenmesi.

Çalışmada toplanan filtrelerin saklanması için cam petri kapları kullanılmıştır. Mikroplastik kontaminasyonu için tüm önlemler, laboratuvarımız ve saha çalışmalarımız boyunca tutarlı bir şekilde uygulanmıştır. İlk olarak, numuneleri veya ekipmanı kullanan tüm araştırmacılar, tüm numune işleme ve analizler için pamuklu laboratuvar önlükleri ile sahada ve laboratuvarında her zaman doğal elyaf giysiler giymişlerdir. Petri kapları, vakumlu filtreleme hunileri ve filtreleri işlemek için kullanılan tüm cam eşyalar, kullanımdan hemen önce deiyonize suyla üç kez durulanmış ve alüminyum folyo ile kapatılarak kurumaya bırakılmıştır. Plastiklerin numune toplama sistemi/girişleri ve filtreler ile olan temasını önlemek için örnekleme/temizleme prosedürü eldivensiz olarak gerçekleştirilmiştir. Yeni veya kullanılmış numune toplama sistemi alüminyum folyo ile kaplanmış ve karton kutular içinde tutulmuş, sadece numune alma periyodunun başlangıcında havaya maruz bırakılmıştır. Filtreler, görüntüleme ve boyama adımları dışında, ilk örneklemeden sonra her zaman kapalı tutulmuştur. Toplanan numuneler derhal daha önce temizlenmiş olan petri kabına aktarılmış ve örnekleme ekipmanları daha önce tarif edildiği gibi temizlenmiştir.

Numune alma süresi bittikten sonra filtreler sarsmadan çıkarılarak numune saf su ile yıkanan petri kaplarına yerleştirilmiş kodlaması yapıldıktan sonra alüminyum folyolara sarılarak, kutuların içerisinde muhafaza edilmiştir.

Örneklemeye paralel olarak GTÜ kampüsündeki istasyonda meteoroloji verileri de toplanmıştır. Meteorolojik parametreler Davis Vantage Vue marka meteoroloji direği kullanılarak ölçülmüştür. Meteoroloji direği, yüksek hacimli örnekleyicinin yakınına aynı yükseklikte kurulmuştur. Rüzgar hızı ve yönü, basınç, sıcaklık ve nem değerleri gibi meteorolojik parametreler bir dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Cihaza bağlı bilgisayara aktarılan tüm parametreler her mevsim günlük olarak alınmıştır. Ardından günlük ortalamalar alıp tablolar halinde düzenlenip veriler bölümünde bir araya toplanmıştır. Meteoroloji verileri ölçüm cihazını Şekil 5.7’ de gösterilmiştir. Örnekleme tarihleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.



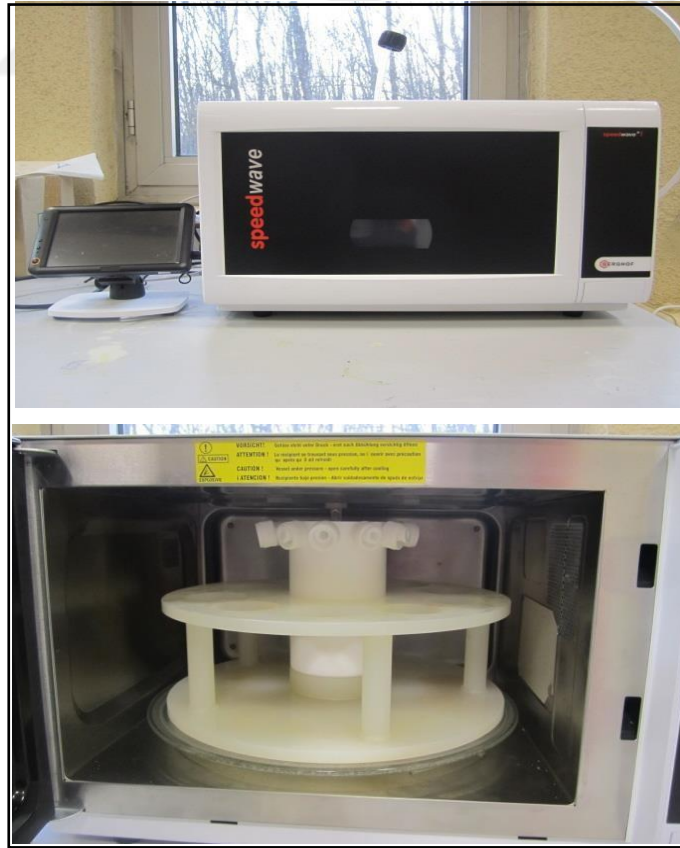
Şekil 5.7: Meteoroloji verileri ölçüm cihazı.

Tablo 5. 1: Mevsimsel örnekleme tarihleri.

Yaz Örnekleme Tarihleri	Sonbahar Örnekleme Tarihleri	Kış Örnekleme Tarihleri	İlkbahar Örnekleme Tarihleri
1.07.2019	21.10.2019	14.01.2020	12.05.2020
2.07.2019	22.10.2019	15.01.2020	13.05.2020
3.07.2019	23.10.2019	16.01.2020	14.05.2020
4.07.2019	24.10.2019	17.01.2020	20.05.2020
5.07.2019	25.10.2019	18.01.2020	21.05.2020
6.07.2019	26.10.2019	19.01.2020	27.05.2020
7.07.2019	27.10.2019	20.01.2020	28.05.2020
8.07.2019	28.10.2019	21.01.2020	1.06.2020
9.07.2019	29.10.2019	22.01.2020	2.06.2020
10.07.2019	30.10.2019	23.01.2020	3.06.2020
12.07.2019	31.10.2019	24.01.2020	4.06.2020
13.07.2019	1.11.2019	25.01.2020	5.06.2020
14.07.2019	2.11.2019	26.01.2020	6.06.2020
15.07.2019	3.11.2019	27.01.2020	7.06.2020
16.07.2019	4.11.2019	28.01.2020	8.06.2020
17.07.2019	5.11.2019	29.01.2020	9.06.2020
18.07.2019	6.11.2019	30.01.2020	10.06.2020
19.07.2019	7.11.2019	31.01.2020	11.06.2020
20.07.2019	8.11.2019	1.02.2020	12.06.2020
21.07.2019	9.11.2019	2.02.2020	13.06.2020
22.07.2019	10.11.2019	3.02.2020	14.06.2020
23.07.2019	11.11.2019	4.02.2020	15.06.2020
24.07.2019	12.11.2019	5.02.2020	16.06.2020
25.07.2019	13.11.2019	6.02.2020	17.06.2020
26.07.2019	14.11.2019	7.02.2020	18.06.2020
27.07.2019	15.11.2019	8.02.2020	19.06.2020
28.07.2019	16.11.2019	9.02.2020	20.06.2020
29.07.2019	17.11.2019	10.02.2020	21.06.2020
30.07.2019	18.11.2019	11.02.2020	22.06.2020
31.07.2019	19.11.2019	12.02.2020	23.06.2020
1.08.2019	20.11.2019	13.02.2020	
2.08.2019		14.02.2020	
3.08.2019			
4.08.2019			

5.2. Ağır Metal Analizi

Metal analizi için bölünmüş filtrelerin bir parçası asitle mikrodalga ve yüksek basınç altında çözündürülmüştür. Çözünürleştirme sırasında 50 ml teflon kaplara alınan örneklerin üzerine 6 ml ultra-saf nitrik asit (HNO_3), 2 ml hidrojen florür (HF), 2 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) ve 2 ml de-iyonize su ilave edilmiştir. Daha sonra teflon kaplar kapakları kapatılarak 10 dakika çeker ocağın altında ön tepkime için tutulmuştur. Bu sürenin sonunda örnekler mikrodalga fırına (Şekil 5.8) yerleştirilerek basınç ve sıcaklığın kontrol edildiği ortamda yaklaşık olarak 50 dakika bekletilip de-iyonize su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Örnekler daha sonra önceden de-iyonize su ile yıkanmış ve etüvde kurutulmuş HDPE şişelere transfer edilerek, analiz anına kadar buzdolabında saklanmıştır. Numuneler Orta Doğu Teknik Üniversitesi laboratuvarında yer alan Perkin Elmer marka DRC II model ICP-MS ve ICP-OES cihazları ile analiz edilmiştir.



Şekil 5.8: Örnek çözünürleştirmede kullanılan mikrodalga fırın ve aparatı.

5.3. Zenginleştirme Faktörü (ZF)

Belirli bir elementin bir referans elemente göre normalleştirilmesine dayanan zenginleştirme faktörleri (ZF), antropojenik kaynak ve doğal kaynak arasında ayırım yapmak için yaygın olarak kullanılmaktadır [Betha et al., 2012], [Y. Li et al., 2016]. Elementlerin kabuksal zenginleştirme faktörleri Eşitlik (5.1) kullanılarak hesaplanır [Barbieri, 2016], [Das et al., 2015].

$$ZF = \frac{\frac{C_X}{C_{R(örnek)}}}{\frac{C_X}{C_{R(ref.)}}} \quad (5.1)$$

Burada, C_X 'ler örnekteki x elementinin ve referans materyaldeki x elementinin konsantrasyonudur. C_R 'ler, örnekteki ve referans materyaldeki referans elementlerin konsantrasyonudur.

Antropojenik faktörlerden etkilenmemesi dışında, bir referans unsurun seçimi için hala net bir kural yoktur. Birçok çalışmada kullanılan referans elementler Al, Fe, Mn, Si, Ti ve Rb'dir [Amil et al., 2016; Barbieri, 2016]. Bu elementler arasında Al ve Fe, referans olarak en çok kullanılan elementlerdir [Hsu et al., 2016].

Hesaplamalar sonucunda zenginleştirme derecelerine göre:

- $ZF < 10$ ise, element zenginleşmemiştir ve doğal kaynaklar baskındır.
- $10 < ZF < 100$ ise, elementler için orta derece zenginleşme söz konusudur ve kaynak hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilir.
- $ZF > 100$ ise, elementler aşırı zenginleşmiştir ve antropojenik kaynaklıdır [Li et al., 2016], [Pekey, 2006].

5.4. Mikroplastik Analizi

Bu çalışmada Nil kırmızısı (NK) boyama tekniği uygulanmış ve floresan mikroskobu ile incelenerek polimer olan/olmayan parçacıkların ayrımı yapılmıştır. Nil kırmızısı boyası öncelikle aseton içinde çözündürülüp sonrasında hekzan (0.05 gr/L) eklenerek stok çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan Nil kırmızısı boyası koyu renkli amber şişeye konularak buzdolabında (4 °C' de) muhafaza edilmiştir. Daha sonra hekzan ile 10 kat kadar seyreltilerek 5 mg/L hazırlanan standart çözelti kullanılmıştır. Nil kırmızısı boyası, filtreler üzerine damlatılarak boyama yapılmıştır. Filtreler 60 °C'de ve karanlıkta 30 dakika kadar süreyle bekletilmiş ve sonrasında filtreler üzerinde Olympus CX41 floresan mikroskobu ile incelemeler yapılmıştır. Rengin solması durumunda boyama işlemi tekrarlanmıştır. Bu yöntem ile LOD'umuz (yani, tutarlı bir şekilde tanımlanabilen en küçük lif veya parça) 1-2 µm olarak belirlenmiştir. Boyama işleminden sonrasında numuneler 1 saat boyunca 75 ° C'de kurutulup floresan mikroskobu ile 470 nm dalga boyunda mikroplastik tanımlaması yapılmıştır.

5.5. Mikroplastiklerin Ağır Metallerle Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada yüksek hacimli örnekleyici ile toplanan filtrelerdeki mikroplastiklerin ağır metallerle olan korelasyonunu incelemek üzere SPSS (versiyon 16.0) yazılımı kullanılmıştır. Mikroplastiklerin diğer hedef kirleticiler ile olan korelasyonları araştırılmıştır. Ayrıca çoklu regresyon analizleri ile filtrelerde toplanan mikroplastiklerin diğer kirleticiler ve meteorolojik parametreler (sıcaklık, nem, rüzgar gibi) ile olan ilişkisi de incelenmiştir. Partiküle adsorblanan ağır metal kirleticilerin olası kaynaklarının MP seviyelerine katkısını değerlendirmek için ağır metallerin reseptör modellemesi ile kaynakları ve katkıları tahmin edilmiştir.

6. BULGULAR ve YORUMLAR

6.1. Meteoroloji Verileri

Örneklemeye paralel olarak sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı ve rüzgar yönü gibi meteorolojik parametrelere bakılmıştır. Yaz mevsiminde ölçülen meteoroloji verileri Tablo 6.1’de Sonbahar mevsiminde ölçülen veriler ise tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Yaz mevsimi meteoroloji verileri.

Örnek	Tarih	Sıcaklık (°C)	Basınç (mBar)	Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Yönü
1	1.07.2019	23,72	1009,85	65,65	2,37	SSW
2	2.07.2019	24,19	1005,7	70,59	2,39	WSW
3	3.07.2019	26,08	1006,97	69,88	2,04	SW
4	4.07.2019	26,64	1008,91	67,35	2,44	SW
5	5.07.2019	24,24	1006,09	70,18	2,55	SW
6	6.07.2019	25,09	1005,34	68,79	1,93	SSW
7	7.07.2019	25,84	1002,39	56,96	1,77	SSW
8	8.07.2019	26,51	1005,06	62,75	2,13	S
9	9.07.2019	26,77	1003,45	66,54	1,69	SSW
10	10.07.2019	22,94	1001,21	77,27	2,56	W
11	12.07.2019	20,73	1005,86	72,17	1,32	S
12	13.07.2019	22,86	1003,27	58,73	1,65	SSW
13	14.07.2019	19,89	1000,3	81,26	1,39	SSW
14	15.07.2019	19,98	1003,5	82,04	1,53	S
15	16.07.2019	23,34	1001,62	70,08	1,96	SSW
16	17.07.2019	21,95	1001,98	79,91	2,26	SSW
17	18.07.2019	23,9	1006,75	69,59	1,91	SSW
18	19.07.2019	25,13	1009,08	67,46	2,39	SSW
19	20.07.2019	24,95	1010,84	71,3	2,66	SW
20	21.07.2019	25	1011,5	66,31	2,84	SSW
21	22.07.2019	25,31	1008,96	68,9	2,51	SSW
22	23.07.2019	24,3	1005,3	72,11	2,41	SW
23	24.07.2019	21,41	1008,4	84,29	2,19	S
24	25.07.2019	23,71	1009,2	73,97	2,47	SSW
25	26.07.2019	24,84	1003,86	67,96	2,49	SSW
26	27.07.2019	25,25	1001,3	70,3	2,37	WSW
27	28.07.2019	25,13	1005,9	74,93	2,29	SW
28	29.07.2019	25,87	1004,8	76	2,11	SSW
29	30.07.2019	25,83	1001,5	77,49	2,32	SW
30	31.07.2019	26,71	1002,9	67,19	2,28	SSW
31	1.08.2019	26,92	1004,16	72,19	2,51	SSW
32	2.08.2019	26,15	1003,07	71,68	2,08	SSW
33	3.08.2019	26,46	1000,1	64,73	1,98	W
34	4.08.2019	23,55	1006,3	65,47	2,96	W

Elde edilen meteoroloji verilerine göre sıcaklık ortalaması 24,5 °C, en yüksek sıcaklık 26,9 °C ve düşük sıcaklık 19,9 °C olarak gözlemlenmiştir. Basınç değeri ortalama 1005,2 mbar' dır. Nem değeri ortalaması ise %70,7' dir. Rüzgar hızı ortalama 2,19 metre/saniye olarak kaydedilmiştir. Tablo 6.1'de de görüldüğü üzere yaz örneklemelerinde hakim rüzgar yönü güney-güneybatı olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.2: Sonbahar mevsimi meteoroloji verileri.

Örnek	Tarih	Sıcaklık (°C)	Basınç(mBar)	Nem (%)	Rüzgar Hızı(m/s)	Rüzgar Yönü
1	21.10.2019	19,04	1023	76,39	2,04	SSW
2	22.10.2019	17,92	1016,16	82,5	2,73	WNW
3	23.10.2019	18,15	1014,83	72,76	2,16	WNW
4	24.10.2019	17,65	1012,69	76,64	1,85	SSW
5	25.10.2019	18,09	1013,86	77,29	1,89	SSE
6	26.10.2019	18,12	1015,63	74,87	2,09	WSW
7	27.10.2019	16,54	1011,18	78,66	1,55	SW
8	28.10.2019	16,53	1009	86,81	1,42	S
9	29.10.2019	16,09	1012	85,44	1,52	SSW
10	30.10.2019	16,77	1013,6	83,89	1,51	SSW
11	31.10.2019	15,58	1011,36	88,67	1,66	SW
12	1.11.2019	12,55	1016,3	76,09	2,35	WNW
13	2.11.2019	13,3	1013,1	68,49	1,37	SE
14	3.11.2019	16,55	1010,6	67,11	1,79	S
15	4.11.2019	20,83	1007,3	61,06	1,85	SE
16	5.11.2019	20,21	1008,5	70,29	1,85	SE
17	6.11.2019	19,48	1007,6	73,89	1,43	SSE
18	7.11.2019	20,78	1007,9	60,05	1,89	SE
19	8.11.2019	19,8	1010,7	59,63	1,3	S
20	9.11.2019	18,11	1010,9	67,55	1,46	SSE
21	10.11.2019	18,12	1011,4	69,73	1,11	S
22	11.11.2019	18,31	1012,9	74,53	1,07	S
23	12.11.2019	17,8	1009,5	70,31	1,38	SSE
24	13.11.2019	18,36	1006,1	74,55	1,34	SE
25	14.11.2019	17,12	1009,1	81,68	1,21	SE
26	15.11.2019	16,34	1015,6	77,48	1,43	S
27	16.11.2019	16,89	1015,4	81,92	1,6	SSW
28	17.11.2019	16,59	1014,5	81,78	1,56	SSE
29	18.11.2019	15,59	1017,5	79,7	1,61	SSW
30	19.11.2019	15,44	1016,8	79,98	1,41	S
31	20.11.2019	14,61	1013,8	70,58	1,46	S

Sonbahar mevsimi meteoroloji verilerine (Tablo 6.2) göre; Sıcaklık ortalaması 17,3 °C, en yüksek sıcaklık 20,83 °C ve düşük sıcaklık 12,55 °C olarak gözlemlenmiştir. Basınç değeri ortalama 1012,5 mbar'dır. Nem değeri ortalaması ise 75,17'dir. Rüzgar hızı ortalama 1,64 m/s ölçülmüştür. Sonbahar örneklemelerinde çoğunlukla güney yönlü rüzgarlar hakimdir.

Kış mevsimi elde edilen meteoroloji verilerine (Tablo 6.3) göre sıcaklık ortalaması 7,9°C, en yüksek sıcaklık 11 °C ve düşük sıcaklık 5 °C olarak gözlemlenmiştir. Basınç değeri ortalama 1001,8 mbar 'dır. Nem değeri ortalaması ise %77,7'dir. Rüzgar hızı ortalama 1,83 m/s olarak kaydedilmiş olup kış örneklemelerinde hakim rüzgar yönü güneydoğu olarak belirlenmiştir.

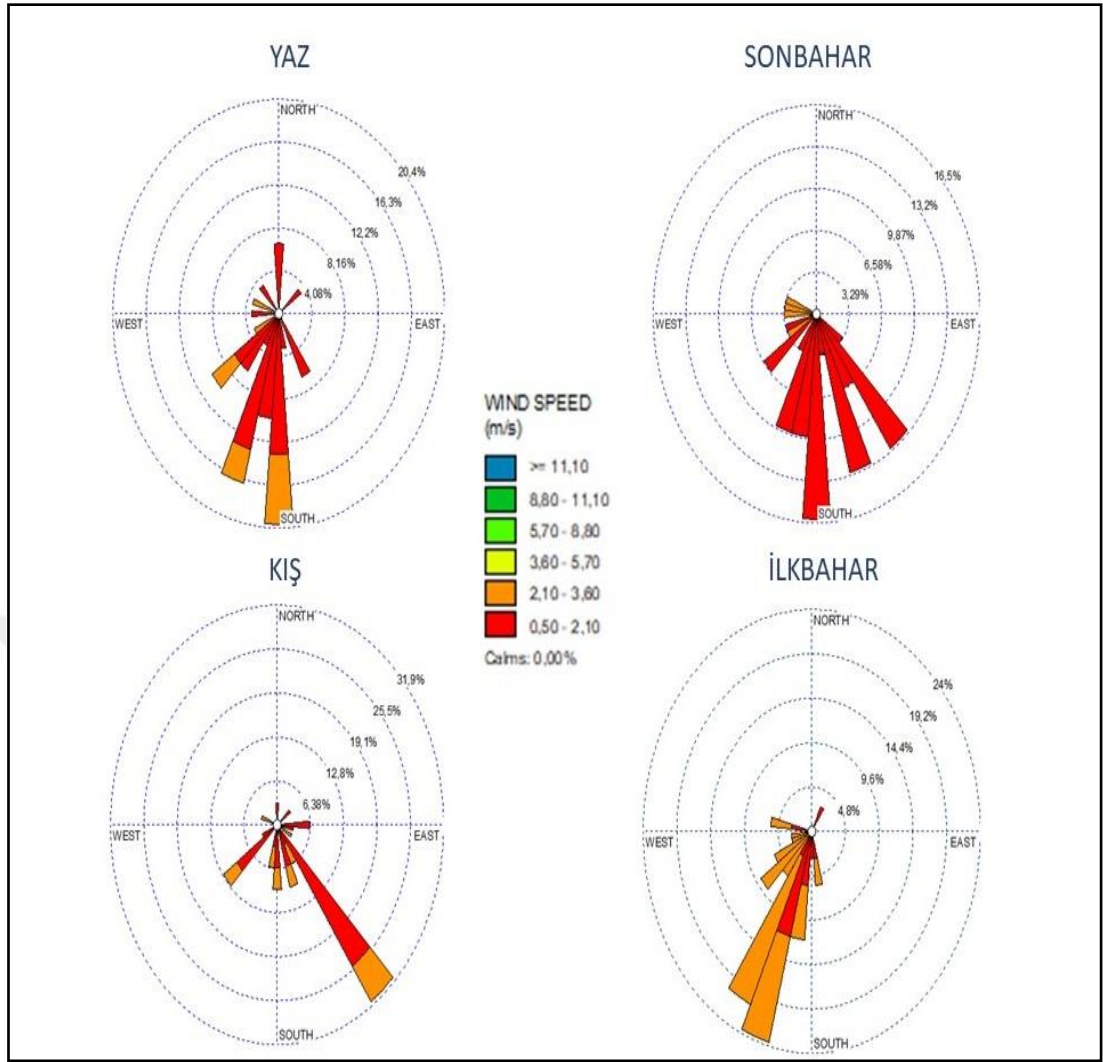
Tablo 6.3: Kış mevsimi meteoroloji verileri.

Örnek	Tarih	Sıcaklık (°C)	Basınç(mBar)	Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Yönü
1	14.01.2020	8	1029,80	87,20	0,88	SE
2	15.01.2020	8	1029,80	78,10	2,23	S
3	16.01.2020	8	976,00	78,00	1,33	SE
4	17.01.2020	8	978,00	82,00	1,47	SE
5	18.01.2020	8	976,00	77,00	1,25	SE
6	19.01.2020	7	978,00	77,00	1,55	SW
7	20.01.2020	8	1033,20	84,30	3,31	WNW
8	21.01.2020	10	1031,50	85,03	1,36	SW
9	22.01.2020	9	1020,00	81,29	1,42	S
10	23.01.2020	10	1026,50	73,14	2,89	SW
11	24.01.2020	7	1025,60	75,84	1,25	SE
12	25.01.2020	7	1021,30	69,36	2,14	SSE
13	26.01.2020	6	1018,50	72,20	1,96	E
14	27.01.2020	5	1010,00	57,45	1,83	E
15	28.01.2020	5	1008,7	92,08	1,83	SSE
16	29.01.2020	6	1006,90	78,33	2,29	SSE
17	30.01.2020	5	1013,56	88,62	1,75	SW
18	31.01.2020	6	1011,41	63,67	1,79	S
19	1.02.2020	7	1013,10	77,90	1,93	SSE
20	2.02.2020	7	1012,30	76,67	2,18	SSW
21	3.02.2020	10	1007,67	82,20	1,70	SW
22	4.02.2020	11	995,20	70,20	1,87	SSE
23	5.02.2020	10	992,00	78,45	2,68	SE
24	6.02.2020	10	1010,40	85,59	2,15	SE
25	7.02.2020	10	974,00	74,00	1,25	SE
26	8.02.2020	9	972,00	76,00	1,52	S
27	9.02.2020	7	974,00	81,00	1,47	N
28	10.02.2020	7	975,00	83,00	1,72	NE
29	11.02.2020	8	975,00	78,00	1,77	E
30	12.02.2020	9	975,00	77,00	1,55	SE
31	13.02.2020	9	974,00	78,00	1,41	SE
32	14.02.2020	8	1020,00	67,70	2,84	SE

Tablo 6.4: İlkbahar mevsimi meteoroloji verileri.

Örnek	Tarih	Sıcaklık (°C)	Basınç(mBar)	Nem (%)	Rüzgar Hızı(m/s)	Rüzgar Yönü	Örnek
1	12.05.2020	22	972	60	1,25	270	W
2	13.05.2020	22	971	61	1,25	225	SW
3	14.05.2020	22	972	55	1,5	225	SW
4	20.05.2020	22,6	1000,4	73,68	1,54	192,9	SSW
5	21.05.2020	16,28	1004,9	87,22	3,11	288,3	WNW
6	27.05.2020	21	1011	88,05	1,58	179,6	S
7	28.05.2020	22	1009,7	84,89	1,4	220	SW
8	01.06.2020	16,74	1004,23	82,19	1,32	214,6	SW
9	02.06.2020	16,75	1002,6	78,7	1,37	179,5	S
10	03.06.2020	23	972	60	1,22	45	NE
11	04.06.2020	23	972	62	1,19	315	NW
12	05.06.2020	23	972	64	1,13	0	N
13	06.06.2020	23	972	63	1,16	0	N
14	07.06.2020	20,97	1003	69,02	1,79	199,7	SSW
15	08.06.2020	21,6	1003,5	74,6	1,78	200,2	SSW
16	09.06.2020	24,43	1002,6	58,39	1,55	180,6	S
17	10.06.2020	23,59	1001,7	73,07	2,08	236,2	WSW
18	11.06.2020	23,083	1001	72,39	1,6	200	SSW
19	12.06.2020	21,46	1001,3	69,76	2,36	177,8	S
20	13.06.2020	21,67	1000,3	76,38	2,08	202,6	SSW
21	14.06.2020	22,71	1001,4	76,44	1,6	181,5	S
22	15.06.2020	23,95	1002,3	73,23	1,7	200,1	SSW
23	16.06.2020	25,36	1001,3	69,3	1,65	213,8	SSW
24	17.06.2020	24,04	1001,3	73,44	1,66	187,6	S
25	18.06.2020	21,82	1003,7	77,94	1,61	153,9	SSE
26	19.06.2020	20,8	1004,5	89,5	1,57	146,4	SSE
27	20.06.2020	24,18	1001,6	69,3	1,99	192,5	SSW
28	21.06.2020	22,25	1000,6	75,58	2,52	181,3	S
29	22.06.2020	23,7	1002,2	76,02	1,99	167,3	SSE
30	23.06.2020	21,86	1006,9	79,84	2,53	232,6	SW

İlkbahar mevsimi meteoroloji verilerine (Tablo 6,4) göre ise sıcaklık ortalaması 22 °C, en yüksek sıcaklık 25,4 °C ve düşük sıcaklık 16,3 °C olarak gözlemlenmiştir. Basınç değeri ortalama 995,8 mbar' dır. Nem değeri ortalaması ise %72,5'dir. Rüzgar hızı ortalama 1,7 m/s olarak ölçülmüştür. İlkbahar örneklemelerinde çoğunlukla güneybatı yönlü rüzgarlar hakimdir



Şekil 6.1: Rüzgar gülü.

Atmosferik metal konsantrasyonu kaynaklara uzaklıkları ve yerel kaynaklara bağlı olarak mekânsal çeşitlilik gösterir. Mevsimsel olarak da sıcaklık ile ve soğuk iklim bölgelerinde farklılıklar gösterir. Fakat esas olarak konsantrasyonları rüzgar yönü ve hızı gibi meteorolojik faktörlerden etkilenir [Gharaibeh AA et al., 2010].

Mevsimsel olarak rüzgarın hangi yönden estiğini gösteren rüzgar güllerini şekil 6.1’de gösterilmiştir. Mevsimsel rüzgar yönleri incelendiğinde; yaz mevsiminde güney ve güney-batı; sonbahar mevsiminde güney, güney-doğu ve güney-batı; kış mevsiminde güney doğu; ilkbahar mevsiminde ise güney-batı yönünde olduğu gözlemlenmiştir.

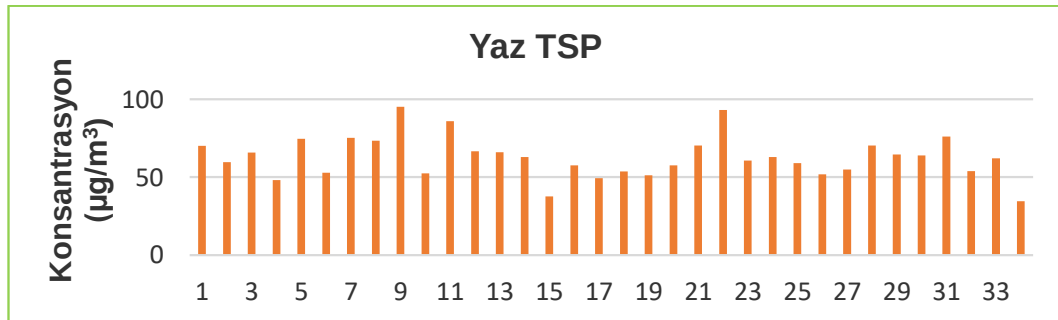
6.2. Toplam Asılı Parçacık (TSP) Verileri

Havadaki toplam asılı parçacıklar (TSP), geniş bir yelpazede meydana gelen, havada asılı herhangi bir parçacığı içeren terimdir. Daha küçük partiküller ikincil olarak oluşturulmuş aerosoller (gazdan partiküle dönüşüm), yanma partikülleri ve yeniden yoğunlaştırılmış organik ve metal buharları içerirken, daha büyük partiküller genellikle Dünya kabuğu malzemeleri ve yollardan ya da endüstrilerden gelen tozları içerir.

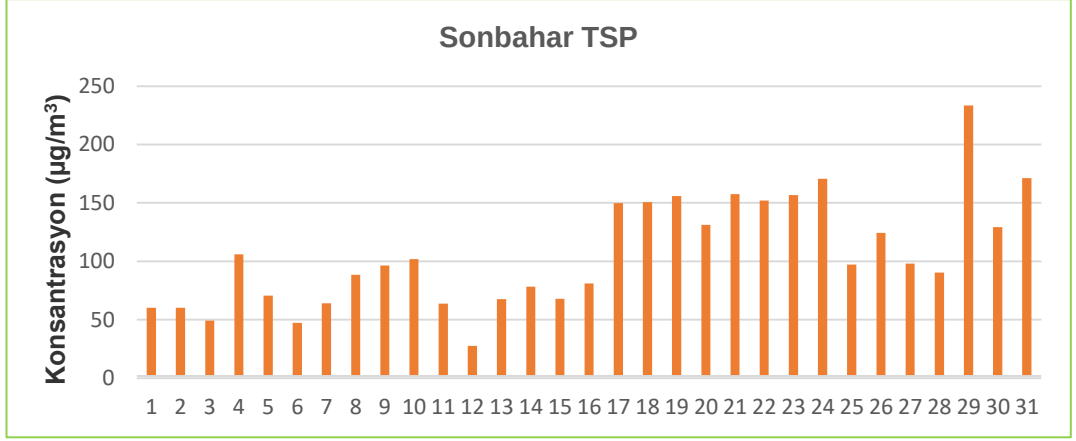
GTÜ kampüsünde yüksek hacimli örnekleyici yardımıyla farklı zamanlarda toplanan TSP numunelerinin mevsimlere göre dağılımı şekil 6.2; 6.3; 6.4 ve 6.5'te verilmiştir.

- Yaz mevsimindeki TSP konsantrasyonu 35 ile 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmektedir (ORT $\pm$ SS; $63 \pm 13,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$),
- Sonbahar mevsimindeki TSP konsantrasyonu 28 ile 233 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (ORT $\pm$ SS; $106 \pm 47,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$),
- Kış mevsimindeki TSP konsantrasyonu 23 ile 139 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (ORT $\pm$ SS; $60 \pm 34,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$),
- İlkbahar mevsimindeki TSP konsantrasyonu ise 29 ile 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında (ORT $\pm$ SS; $77 \pm 28,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$) değişmektedir.

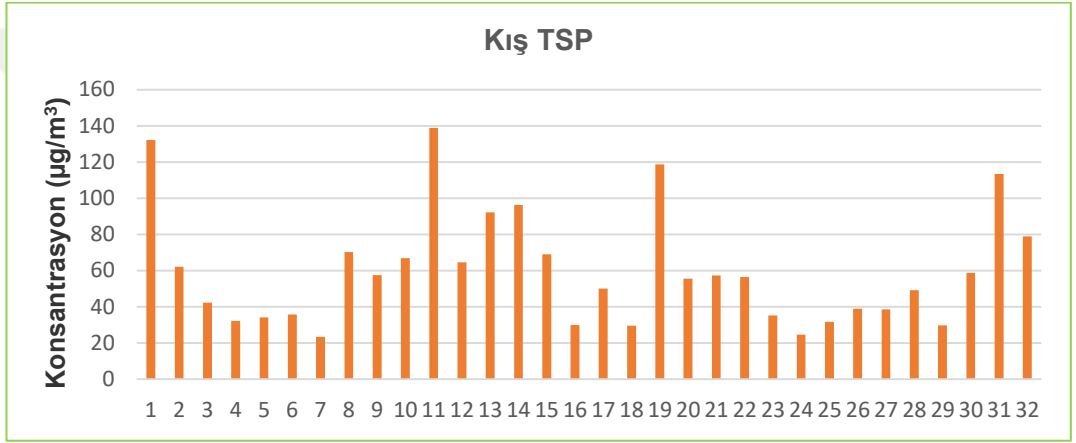
Verilere bakıldığında geçiş mevsimlerinde TSP konsantrasyonunda artış olduğu gözlenmektedir. Kış ve yaz mevsimleri birbirleri ile benzerlik göstermektedir.



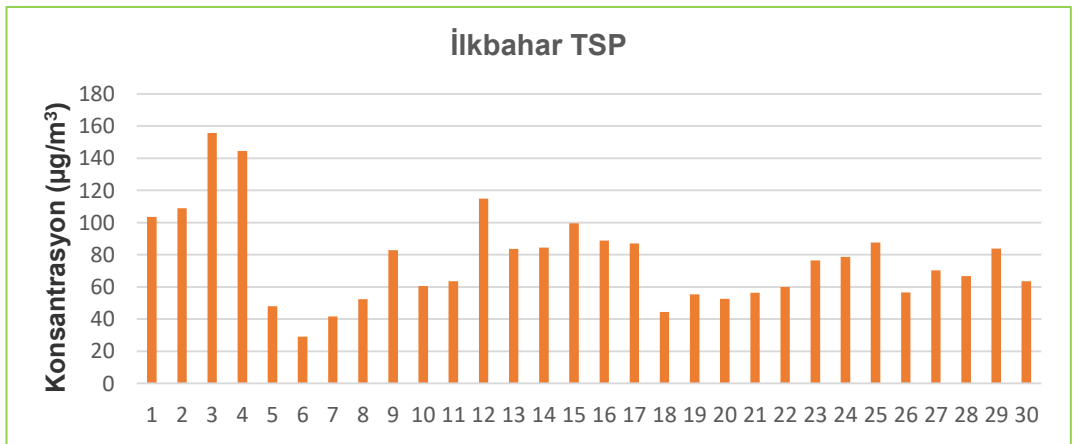
Şekil 6.2: Yaz mevsimi TSP konsantrasyonları.



Şekil 6.3: Sonbahar mevsimi TSP konsantrasyonları.



Şekil 6.4: Kış mevsimi TSP konsantrasyonları.



Şekil 6.5: İlkbahar mevsimi TSP konsantrasyonları.

6.3. Ağır Metal Verileri

Bazı metaller ölçüm değerlerinin altında kaldığı için ND şeklinde ifade edilmiştir. Konsantrasyon çevirimi yapılırken yüksek hacimli örnekleyici cihazda günlük toplanan hava miktarı hesaplanarak $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cinsinden ve TSP miktarı ile $\mu\text{g}/\text{g}$ cinsinden değerleri tablo 6.5 ve 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.5: Mevsimsel ağır metal konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{g}$).

Element	Yaz		Sonbahar		Kış		İlkbahar	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
	($\mu\text{g}/\text{g}$)		($\mu\text{g}/\text{g}$)		($\mu\text{g}/\text{g}$)		($\mu\text{g}/\text{g}$)	
Al	13544	7,5	15392	6,8	13462	5,8	13281	8,75
As	ND	ND	26,0	15,4	34,3	22,3	27,16	13,04
Ba	724	335	856	392	978	385	1118	446
Bi	11,8	7,3	14,7	15,2	11,6	6,2	11,81	7,7
Ca	229170	132	218630	132	265730	165	254218	144
Cd	6,8	4,9	11,8	6,4	11,8	7,8	12,8	10,5
Ce	36,3	93,1	80,5	341	10,8	5244	ND	ND
Co	6,5	3,7	37,1	31,3	36,9	71,7	17,6	10,8
Cr	149	107	250	125	156	91	355	219
Cs	4,1	2,7	4,9	2,4	5,8	3,2	6,5	3
Cu	395	250	891	521	659	518	808	610
Eu	0,4	0,1	0,5	0,2	0,5	0,1	0,5	0,2
Fe	26550	8,4	39844	24,1	26431	12,7	33094	18,4
Ge	37,1	38,3	7,1	4,0	4,1	2,6	36,4	15,7
Ho	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
K	31216	21,9	27094	17,8	38507	28,5	41805	25,9
La	10,9	4,1	22,3	73,9	6,0	3,5	79,6	374
Li	52,7	43,6	46,1	29,9	72,5	51,6	90,1	65,5
Lu	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Mg	90388	56,5	71737	54,0	113119	78,9	114598	69,6
Mn	787	314	1184	465	800	341	1432	546
Mo	25,6	17,5	26,1	11,5	20,0	12,9	29,3	14,9
Na	752791	624	535413	436	1002647	766	734420	486
Ni	78,1	61,9	119	81,9	72,8	29,4	132	146
P	11258	8,3	3342	4134	7168	6541	5942	4029
Pb	217	167	411	268	314	245	293	361
Pt	0,5	0,2	5,6	23,3	10,8	47,0	0,7	0,4
Rb	66,3	45,9	63,2	37,8	85,3	56,2	150	71
Rh	0,3	0,1	0,1	0,1	ND	ND	ND	ND
Sb	35,2	32,0	59,2	18,5	52,1	31,3	28,0	12,1
Se	ND	ND	171	175	690	515	1931,0	771,0
Si	24579	26,7	16243	12,4	25804	21,2	22140,0	14,2
Sn	35,8	28,7	87,3	38,6	88,4	55,5	62,6	31,7
Ta	11,9	12,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tb	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
Ti	413	185	389	156	286	112	555	255
Tl	1,4	0,8	1,1	0,4	1,2	0,3	0,9	0,7
V	73,2	28,0	109	65,0	42,5	15,3	86,3	19,5
Y	6,0	1,5	6,2	2,6	4,0	1,8	9,3	5,4
Zn	5269	3,0	7522	6790	5137	5243	6217	4673

Tablo.6.6: Mevsimsel ağır metal konsantrasyonları (ng/ m³).

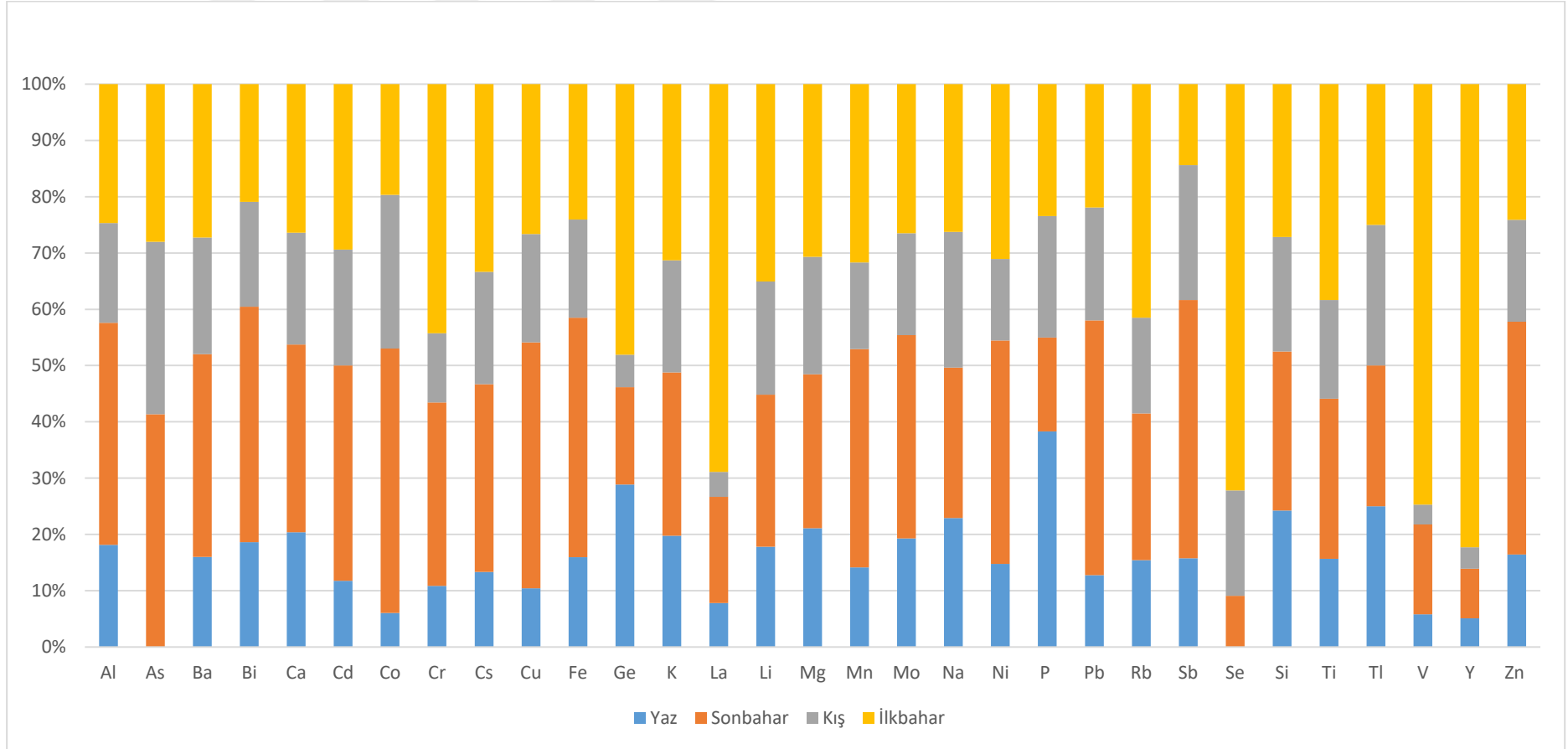
Element	Yaz		Sonbahar		Kış		İlkbahar	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
	(ng/m ³)		(ng/m ³)		(ng/m ³)		(ng/m ³)	
Al	822	0,38	1790	1,22	805	0,54	1119	1,1
As	ND	ND	3,10	2,30	2,30	1,90	2,1	1,2
Ba	43,4	17,9	97,7	65,0	56,3	34,2	73,9	33,6
Be	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bi	0,8	0,5	1,8	2,2	0,8	0,9	0,9	0,8
Ca	13805	6,49	22574	12,78	13473	6,87	17873	9,2
Cd	0,4	0,4	1,3	1,0	0,7	0,7	1,0	0,9
Ce	2,1	6,0	6,6	24,0	0,8	295,9	ND	ND
Co	0,4	0,2	3,1	1,8	1,8	3,2	1,3	0,6
Cr	9,2	6,3	27,6	18,0	10,4	8,7	37,5	18,3
Cs	0,2	0,1	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,2
Cu	25,0	16,2	105,0	87,5	46,2	48,2	64,0	61,7
Eu	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	1669	0,7	4454	3,0	1824	1,7	2517	1,5
Ge	1,5	1,4	0,9	0,6	0,3	0,3	2,5	0,6
Ho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K	1851	1,0	2714	1,6	1868	1,1	2929	1,7
La	0,7	0,3	1,7	3,5	0,4	0,4	6,2	29,5
Li	3,1	2,0	4,7	2,9	3,5	1,9	6,1	3,1
Lu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg	5380	2,6	6972	4,1	5324	2,7	7823	3,8
Mn	49,6	23,8	136	95,4	54,0	48,6	111	61,5
Mo	1,6	1,2	3,0	2,0	1,5	1,4	2,2	1,2
Na	44026	28,0	51508	32,9	46337	26,4	50509	29,1
Ni	4,8	2,2	12,9	8,5	4,7	3,7	10,1	12,1
P	686	0,5	299	225	386	294	420	284
Pb	14,0	10,9	49,6	42,4	22,0	25,2	24,0	28,4
Pt	0,0	0,0	0,5	2,3	0,4	2,0	0,0	0,0
Rb	3,9	2,1	6,6	4,1	4,3	2,3	10,5	4,4
Rh	0,0	0,0	0,0	0,0	ND	ND	ND	ND
Sb	2,3	2,6	6,7	4,4	3,5	3,3	2,1	1,2
Se	ND	ND	16,4	15,9	33,7	21,3	130	34,4
Si	1434	1,2	1669	1,2	1203	0,8	1606	1,1
Sn	2,4	2,3	10,1	7,3	5,9	5,7	4,8	3,2
Ta	0,7	0,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ti	25,3	9,7	45,9	32,6	28,3	16,6	61,9	31,3
Tl	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
V	4,6	1,9	12,7	11,7	2,8	2,1	59,4	0,0
Y	0,4	0,1	0,7	0,5	0,3	0,2	6,5	2,8
Zn	332	0,2	835	814	365	536	487	455

Analiz sonuçları incelendiğinde Alüminyum (Al), Kalsiyum (Ca), Demir (Fe), Potasyum (K), Magnezyum (Mg), Sodyum (Na), Fosfor (P), Silisyum (Si) ve Çinko

(Zn) elementlerinin konsantrasyonlarının diğer elementlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ağır metal konsantrasyonları 48095 ng/ m³ (Na) ile 0,01 ng/ m³ (Tl) aralığında değişmiştir.

Tablo 6.6’da ağır metallerin mevsimsel olarak ng/m³ cinsinden karşılaştırılmasını; şekil 6.6’ da ise her bir ağır metalin mevsimsel olarak yüzdelik değişimini göstermektedir. Her ikisi de incelendiğinde sonbahar mevsiminde ağır metal konsantrasyonlarının diğer mevsimlere göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Sıcaklık olarak büyük değişiklikler gözlemlenmemiştir. Mevsimsel olarak karşılaştırma yapıldığında ise en yüksek ağır metal konsantrasyonunun sonbahar mevsiminde elde edildiği gözlemlenmiştir. Sonbahar mevsiminde rüzgar hızı diğer mevsimlere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sonbahar örnekleme yapıldığı günlerde hakim rüzgar yönü güneydoğu olarak belirlenmiştir. GTÜ kampüsün güneydoğusunda, sanayinin yoğunlukta bulunduğu Dilovası bölgesi yer almaktadır. Sonbahar mevsimindeki ağır metal düzeylerindeki bu artışın nedeni sanayi bölgesinden rüzgarla taşınım olarak yorumlanmıştır. Metal elementlerinin konsantrasyonunu etkileyen bilinen üç kaynak trafik, endüstri ve yıpranmış malzemelerdir. Trafik, yoğun emisyon kaynaklarından biridir; Pb, Ni, Cd, Zn, Mn, Cu, Co ve Cr gibi metaller [Mittal ve Goyal, 1995]. GTÜ Kampüsü’nün karayolunu yakınlığı trafik kökenli ağır metallerin yüksek çıkmasının nedeni olduğu düşünülmektedir. Kış mevsimindeki artışın sebebi ısınma kaynaklı olduğu düşünülmektedir. .

Şekil 6.6’ya bakıldığında; Ge ve P elementleri yaz mevsiminde; La, Se, V ve Y elementlerinin ise ilkbahar mevsiminde; diğer elementler ise sonbahar mevsiminde yüzdelik olarak diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. V, Y ve Se elementleri trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır [Morawska and Zhang, 2002]. Bu ağır metallerinin ilkbahar dönemindeki artışının nedeni olarak; pandemi döneminde birkaç ay trafik emisyonları azalmış ve mayıs sonu-haziran başı trafik yoğunluğunun artışından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.6: Ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel karşılaştırılması.

Tablo 6.7'ye göre yaz mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 39737,7 ng/m³ (Na) ile 0,3 ng/m³ (Eu, Pt ve Rh) arasında gözlemlenmiştir. Toplamda 34 örnek toplanmıştır. Maksimum ve minimumu arasındaki oran incelendiğinde en yüksek değerin Cs' de (182) ve en düşük değerin Y'de (2,85) olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6.7: Ağır metallerin yaz mevsimi veri analizi (ng/m³)

	Aritmetik Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Ranj (Genişlik)	Maksimum	Minimum	maks/min	N
Al	790,99	670,44	383,19	1959	2076	117,35	17,70	34
Ba	45,88	40,93	15,90	71,30	93,88	22,58	4,16	34
Bi	0,75	0,76	0,5	2,21	2,33	0,10	21,33	34
Ca	13805	11955	6041	27481	29507	2025	14,57	34
Cd	0,45	0,39	0,41	2,19	2,23	0,05	48,60	34
Ce	0,62	0,46	0,81	4,56	4,62	0,06	80,67	34
Co	0,41	0,39	0,17	0,71	0,87	0,16	5,35	34
Cr	9,10	7,37	5,95	22,87	24,47	1,60	15,28	34
Cs	0,24	0,22	0,11	0,54	0,54	0,00	182,81	34
Cu	24,96	21,20	15,94	75,31	82,92	7,61	10,90	34
Eu	0,03	0,02	0,01	0,03	0,04	0,01	2,94	34
Fe	1669	1604	674,82	3417	4327	909,62	4,76	34
Ho	0,01	0,01	0,003	0,01	0,02	0,01	3,01	34
K	1900	1616	930,99	4041	4702	661,07	7,11	34
La	0,68	0,60	0,32	1,70	2,06	0,37	5,61	34
Li	3,20	2,66	1,91	8,47	9,32	0,85	10,98	34
Lu	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	14,62	34
Mg	5380	4611	2455	11132	11872	739,85	16,05	34
Mn	49,57	43,68	23,48	108,02	131,78	23,76	5,55	34
Mo	1,61	1,33	1,13	4,64	4,96	0,32	15,62	34
Na	44026	35938	26928	125271	132503	7232	18,32	34
Ni	4,81	4,30	2,16	8,28	10,45	2,16	4,83	34
P	686,91	586,34	426,70	1592	1718	126,06	13,63	34
Pb	14,40	11,06	10,69	40,69	41,37	0,69	60,35	34
Pt	0,02	0,02	0,02	0,07	0,07	0,001	63,69	34
Rb	3,94	3,40	2,00	9,43	9,78	0,35	27,87	34
Rh	0,01	0,004	0,01	0,03	0,03	0,001	43,25	34
Sb	2,40	1,76	2,61	14,96	15,27	0,31	49,28	34
Si	1434	1186	1129	4977	5113	136,34	37,51	34
Sn	2,46	1,82	2,56	11,49	12,09	0,61	19,90	34
Ta	0,75	0,30	0,81	3,03	3,14	0,11	29,72	34
Ti	25,26	23,35	9,59	51,40	58,79	7,39	7,96	34
Tl	0,08	0,07	0,06	0,29	0,29	0,001753	166,5	34
V	4,60	5,10	1,90	7,38	8,92	1,54	5,80	34
Y	0,37	0,34	0,10	0,42	0,64	0,23	2,85	34
Zn	332,84	255,38	202,83	810,44	908,96	98,53	9,23	34

Tablo 6.8'e göre sonbahar mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 48244,1 ng/m³ (Na) ile 0,3 ng/m³ (Lu, Mo, Rh veTa) arasında gözlemlenmiştir. Toplamda 31 örnek toplanmıştır. Maksimum ve minimumu arasındaki oran incelendiğinde en yüksek değerin Bi'de (140) ve en düşük değerin Co'da (5,37) olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6.8: Ağır metallerin sonbahar mevsimi veri analizi (ng/m³).

	Aritmetik Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Ranj (Genişlik)	Maksimum	Minimum	maks/min	N
Al	1790	1641	1184	3932	4258	325,55	13,08	31
As	3,25	2,78	2,11	9,02	9,38	0,36	26,11	31
Ba	97,39	83,16	62,51	264,91	267,45	2,54	105,40	31
Bi	1,82	1,16	2,20	11,68	11,77	0,08	140,12	31
Ca	29177	24415	37469	218035	220117	2082	105,71	31
Cd	1,32	1,16	0,99	4,43	4,68	0,25	19,05	31
Ce	2,14	1,65	1,49	4,97	5,03	0,06	84	31
Co	3,14	2,60	1,75	6,90	8,48	1,58	5,37	31
Cr	27,60	26,81	17,73	70,03	74,29	4,25	17,47	31
Cs	0,53	0,55	0,29	1,04	1,11	0,07	16,58	31
Cu	105,05	71,74	86,06	363,92	374,08	10,16	36,81	31
Eu	0,05	0,04	0,03	0,12	0,13	0,01	10,38	31
Fe	4454	3692	2944	10456	11212	756,30	14,83	31
Ho	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,002	36,16	31
K	2714	2456	1498	5275	5432	157,14	34,57	31
La	1,06	0,77	1,74	2,62	2,65	0,036	73,54	31
Li	4,72	4,60	2,73	9,53	10,09	0,56	18,09	31
Lu	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	28,71	31
Mg	6972	6653	3854	13340	13565	225,19	60,24	31
Mn	136,35	92,05	93,81	393,55	420,57	27,02	15,57	31
Mo	2,95	2,66	1,98	8,09	8,18	0,09	90,14	31
Na	52329	46949	31750	117564	119146	1581,8	75,32	31
Ni	12,58	9,25	8,85	30,80	31,79	0,99	32,18	31
P	299,16	193,09	221,74	779,74	818,97	39,23	20,88	31
Pb	49,57	41,53	41,71	191,43	195,25	3,82	51,16	31
Pt	0,034	0,02	0,04	0,226	0,0228	0,002	112	31
Rb	6,63	6,15	3,87	12,67	13,32	0,658	20,28	31
Rh	0,01	0,004	0,01	0,03	0,03	0,001	39,24	31
Sb	6,69	5,49	4,36	20,10	21,79	1,68	12,96	31
Se	3,94	3,03	2,70	7,53	7,97	0,44	17,93	31
Si	1669	1474	1135	4218	4280	62,21	68,81	31
Sn	10,07	9,03	7,18	27,77	29,25	1,48	19,77	31
Tb	0,03	0,02	0,02	0,06	0,06	0,00	19,08	31
Ti	45,83	36,23	31,25	107,55	110,44	2,89	38,15	31
Tl	0,12	0,12	0,07	0,29	0,31	0,02	18,39	31
V	12,71	9,72	11,49	61,78	62,87	1,09	57,46	31
Y	0,71	0,58	0,48	1,71	1,82	0,10	16,92	31
Zn	886,93	721,89	859,99	4205	4277	71,24	60,04	31

Tablo 6.9'a göre kış mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 39737,7 ng/m³ (Na) ile 0,3 ng/m³ (Eu ve Ho) arasında gözlemlenmiştir. Toplamda 31 örnek toplanmıştır. Maksimum ve minimumu arasındaki oran incelendiğinde en yüksek değerin Mo'da (211) ve en düşük değerin K'da (6,98) olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6.9: Ağır metallerin kış mevsimi veri analizi (ng/ m³).

	Aritmetik Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Ranaj (Genişlik)	Maksimum	Minimum	Maks/min	N
Al	805,94	685,02	529,50	2490	2608	117,41	22,22	32
As	2,43	1,65	1,85	6,28	6,35	0,07	89,01	32
Ba	55,99	48,69	33,43	164,79	175,11	10,32	16,97	32
Bi	0,77	0,55	0,86	4,71	4,82	0,11	42,96	32
Ca	13473	14691	6439	26733	28928	2195	13,18	32
Cd	0,75	0,49	0,67	2,76	2,87	0,11	25,98	32
Ce	0,71	0,53	0,74	2,80	2,84	0,05	62,83	32
Co	1,82	0,90	3,13	16,25	16,54	0,30	56,04	32
Cr	10,71	7,52	8,40	28,98	30,84	1,85	16,82	32
Cs	0,30	0,31	0,15	0,70	0,72	0,02	35,54	32
Cu	47,42	35,43	47,77	186,01	187,20	1,20	156,32	32
Eu	0,03	0,02	0,02	0,09	0,09	0,00	35,55	32
Fe	1824	1283	1629	6180	6290	109,79	57,30	32
Ge	0,12	0,09	0,08	0,30	0,31	0,02	20,43	32
Ho	0,01	0,005	0,01	0,03	0,03	0,0003	105,42	32
K	1928	2167	1007	3331	3888	557,01	6,98	32
La	0,43	0,31	0,39	1,46	1,47	0,01	111,82	32
Li	3,46	3,36	1,87	6,31	6,94	0,63	11,07	32
Lu	0,003	0,002	0,0028	0,01	0,01	0,0001	89,47	32
Mg	5324	6631	2550	8605	9185	579,83	15,84	32
Mn	54,00	36,89	47,82	187,53	193,64	6,11	31,70	32
Mo	1,40	0,96	1,28	4,71	4,73	0,02	211,90	32
Na	46337	53527	25047	83781	87658	3876	22,61	32
Ni	4,74	3,93	3,61	13,25	13,65	0,40	34,29	32
P	411,08	340,3	281,4	1010	1087	77,20	14,08	32
Pb	21,76	12,15	24,67	116,53	117,75	1,22	96,38	32
Pt	0,06	0,02	0,16	0,70	0,70	0,004	145,37	32
Rb	4,29	4,05	2,28	9,92	10,07	0,16	64,63	32
Sb	3,45	1,93	3,23	12,88	13,42	0,54	24,94	32
Si	1243	1170	699,94	3027	3071	44,77	68,62	32
Se	33,74	32,24	16,71	63,09	67,75	4,66	14,55	32
Sn	5,93	4,83	5,57	25,31	25,72	0,41	62,74	32
Tb	0,01	0,01	0,01	0,07	0,07	0,000735	97,83	32
Ti	29,23	27,86	15,78	64,55	69,58	5,02	13,84	32
Tl	0,07	0,06	0,04	0,16	0,17	0,01	17,63	32
V	29,23	27,86	15,78	64,55	69,58	5,02	13,84	32
Y	0,27	0,20	0,22	0,87	0,91	0,0308	29,43	32
Zn	420,27	267,27	552,43	2996,59	3025	29,23	103,51	32

Tablo 6.10'a göre ilkbahar mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 52249 ng/ m³ (Na) ile 0,01 ng/ m³ (Eu, Ho, Lu, Pt veTb) arasında gözlemlenmiştir. Toplamda 34 örnek toplanmıştır. Maksimum ve minimumu arasındaki oranı incelendiğinde en yüksek değerin Ho' da (183) ve en düşük değerin Y'de (2,98) olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6.10: Ağır metallerin ilkbahar mevsimi veri analizi (ng/ m³).

	Aritmetik Ortalama	Medyan	Standart Sapma	Ranj (Genişlik)	Maksimum	Minimum	maks/min	N
Al	1158	855,01	1071	4193	4324	130,93	33,03	30
As	2,13	2,07	1,17	4,85	5,20	0,36	14,52	30
Ba	73,93	72,82	33,00	156,68	170,32	13,64	12,49	30
Bi	0,94	0,73	0,84	4,11	4,26	0,15	28,47	30
Ca	17873	18246	9055	35599	36327	728,35	49,88	30
Cd	1,01	0,64	0,91	3,92	4,09	0,17	24,65	30
Co	1,28	1,00	0,62	2,35	2,88	0,53	5,42	30
Cr	37,54	33,27	17,99	90,80	105,40	14,60	7,22	30
Cs	0,47	0,44	0,22	0,77	0,96	0,19	4,93	30
Cu	64,00	52,31	60,65	305,69	312,72	7,03	44,49	30
Eu	0,05	0,04	0,03	0,12	0,13	0,01	12,23	30
Fe	2517	2215	1427	5655	6163	507,71	12,14	30
Ge	2,45	2,43	0,56	2,38	3,56	1,18	3,03	30
Ho	0,02	0,01	0,01	0,06	0,06	0,0004	183,25	30
K	3029	2956	1585	5311	5905	593	9,95	30
La	0,86	0,59	0,83	4,01	4,05	0,04	93,25	30
Li	6,05	5,99	3,05	13,01	14,23	1,22	11,63	30
Lu	0,01	0,004	0,01	0,02	0,02	0,001	18,38	30
Mg	8,09	8,52	3,53	11,75	13,51	1,76	7,66	30
Mn	110,51	97,52	60,43	265,13	287,58	22,45	12,81	30
Mo	2,17	1,95	1,22	4,71	5,13	0,42	12,33	30
Na	52249	50484	27411	84631	94411	9779	9,65	30
Ni	10,07	7,19	11,88	68,50	69,86	1,36	51,38	30
Pb	24,86	15,15	28,02	106,96	108,04	1,08	100,20	30
Pt	0,04	0,04	0,02	0,06	0,07	0,01	5,89	30
Rb	10,58	10,42	4,31	14,09	18,71	4,62	4,05	30
Sb	2,13	2,02	1,15	5,26	5,69	0,43	13,36	30
Si	1661	1462	1091	4219	4287	68,27	62,81	30
Sn	4,83	4,21	3,14	15,19	16,11	0,91	17,61	30
Tb	0,02	0,01	0,01	0,06	0,06	0,00	21,87	30
Ti	61,91	53,43	30,79	123,82	141,41	17,59	8,04	30
V	6,70	6,18	3,03	14,79	16,60	1,81	9,18	30
Y	6,53	8,04	2,75	6,68	10,05	3,37	2,98	30
Zn	354,31	274,57	342,43	1814	1883	69,04	27,28	30

6.4. Ağır Metal -Literatür Karşılaştırılması

Tablo 6.11: Ağır metallerin diğer çalışmalarla karşılaştırılması (µg/g).

	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	Mn	Ni	Referans
Adapazarı	5,7-33	7,2-63	0,2-2,2	98-245	0,4-15	ND	2,2-56	Dündar vd.(2003)
Kayseri	12-315	49-381	1-45	ND	31-96	84-532	23-85	Divrikli vd.(2003)
İstanbul	45-1359	106-555	0,8-6,7	ND	ND	304-657	10-66	Sezgin vd.(2003)
Tokat	29	149	3	63	30	285	65	Tüzen vd.(2003)
GTÜ	395	217	6,8	5264	149	787	78	Yaz
GTÜ	891	411	11,8	7522	250	1184	119	Sonbahar
GTÜ	659	314	11,8	5137	156	800	72,8	Kış
GTÜ	808	298	12,8	6217	355	1432	132	İlkbahar

Ülkemizdeki çeşitli illerde yapılmış çalışmalardan elde edilen ağır metal analizi sonuçları incelenmiştir. Üniversitemizin bulunduğu gibi sanayi bölgeleri ve civarında ağır metal konsantrasyonlarının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Trafik yoğunluğu ve sanayiye yakınlığın ağır metal konsantrasyonlarının artışında etkili olduğu düşünülmektedir.

Gharaibeh ve diğerlerinin 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada kentsel ve kırsal alanlar karşılaştırılmış. Kentsel alanda çok sayıda araba ve daha fazla kaynağın olması sebebiyle kırsal alana göre metal konsantrasyonu daha fazla olduğu görülmüştür. Tablo 6.11’de görüldüğü üzere endüstri ve trafiğin yoğun olduğu İstanbul ve GTÜ kampüsünde değerler diğer illere göre daha yüksek ve birbiriyle benzerlik göstermektedir.

Metal elementlerinin konsantrasyonunu etkileyen bilinen üç kaynak trafik, endüstri ve yıpranmış malzemelerdir. Pb, Ni, Cd, Zn, Mn, Cu, Co ve Cr gibi metaller trafik ve yoğun emisyon kaynaklarından biridir [Mittal and Goyal, 1995].

6.5. Mevsimsel Zenginleştirme Faktörleri Karşılaştırmaları

Bu çalışmada Al, çoğu antropojenik kirletici maddeye karşı kararlılığı nedeniyle referans element olarak seçilmiştir Zenginleştirme faktörünü hesaplamak için referans toprak kaynağı olarak Mason'un toprak bileşimi kullanılmıştır [Mason and Moore, 1982]. Aşağıda sırasıyla mevsimsel olarak zenginleştirme faktörü sonuçları verilmiştir.

Yaz mevsimindeki zenginleştirme faktörü sonucuna göre (Şekil 6.7):

- Ti, Ho, Y, Tb, Lu, Co, Eu, La, Fe, V, Ce, Rb, Mn, Ni, K, Cs, Cr ve Ba için ZF faktörü 10' dan küçük hesaplanmıştır. Bu elementler zenginleşmemiştir ve doğal kaynaklar baskındır.
- Li, Tl, Mg, Ta, Ca, Cu, P, Ge, Mo ve Pb için ZF faktörü 10 ile 100 arasında hesaplanmıştır. Bu elementler için orta derece zenginleşme söz konusudur ve kaynak hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilir.
- Sn, Na, Cd, Pt, Rh, Bi, Zn, Si ve Sb için ise ZF faktörü 100'den büyük olarak hesaplanmıştır.

Sonbahar mevsimindeki zenginleştirme faktörü sonucuna göre (Şekil 6.8):

- Ti, Lu, Ho, Y, Tb, Eu, La, Fe, V, K, Ce, Rb, Co, Mn, Ni, Cs, Li, Tl ve Ba için ZF faktörü 10' dan küçük hesaplanmıştır. Bu elementler zenginleşmemiştir ve doğal kaynaklar baskındır.
- Cr, P, Mg, Ca, Ge, As, Na, Cu ve Mo için ZF faktörü 10 ile 100 arasında hesaplanmıştır. Bu elementler için orta derece zenginleşme söz konusudur ve kaynak hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilir.
- Pb, Rh, Si, Cd, Bi, Zn, Sn, Sb, Pt ve Se için ise ZF faktörü 100'den büyük olarak hesaplanmıştır.

Kış mevsimindeki zenginleştirme faktörü sonucuna göre (Şekil 6.9):

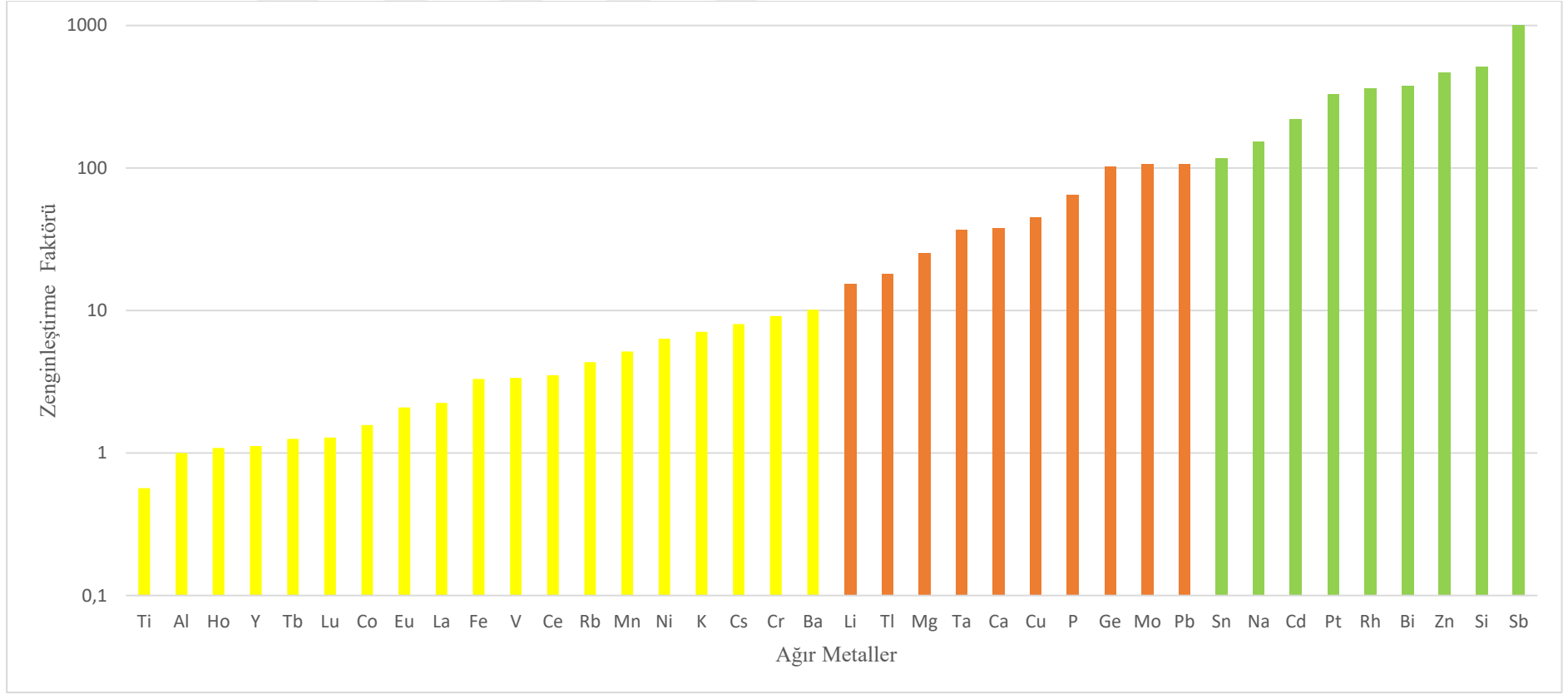
- Ti, Y, Ho, Ce, La, Lu, Tb, V, Eu, Fe, Rb, Mn, Ni, K, Co, Cs ve Cr için ZF faktörü 10' dan küçük hesaplanmıştır. Bu elementler zenginleşmemiştir ve doğal kaynaklar baskındır.
- Ba, Tl, Li, Ge, Mg, P, Ca, Cu ve Mo için ZF faktörü 10 ile 100 arasında hesaplanmıştır. Bu elementler için orta derece zenginleşme söz konusudur ve kaynak hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilir.
- As, Na, Pb, Sn, Cd, Bi, Si, Zn, Sb, Pt ve Se için ise ZF faktörü 100'den büyük olarak hesaplanmıştır.

İlkbahar mevsimindeki zenginleştirme faktörü sonucuna göre (Şekil 6.10):

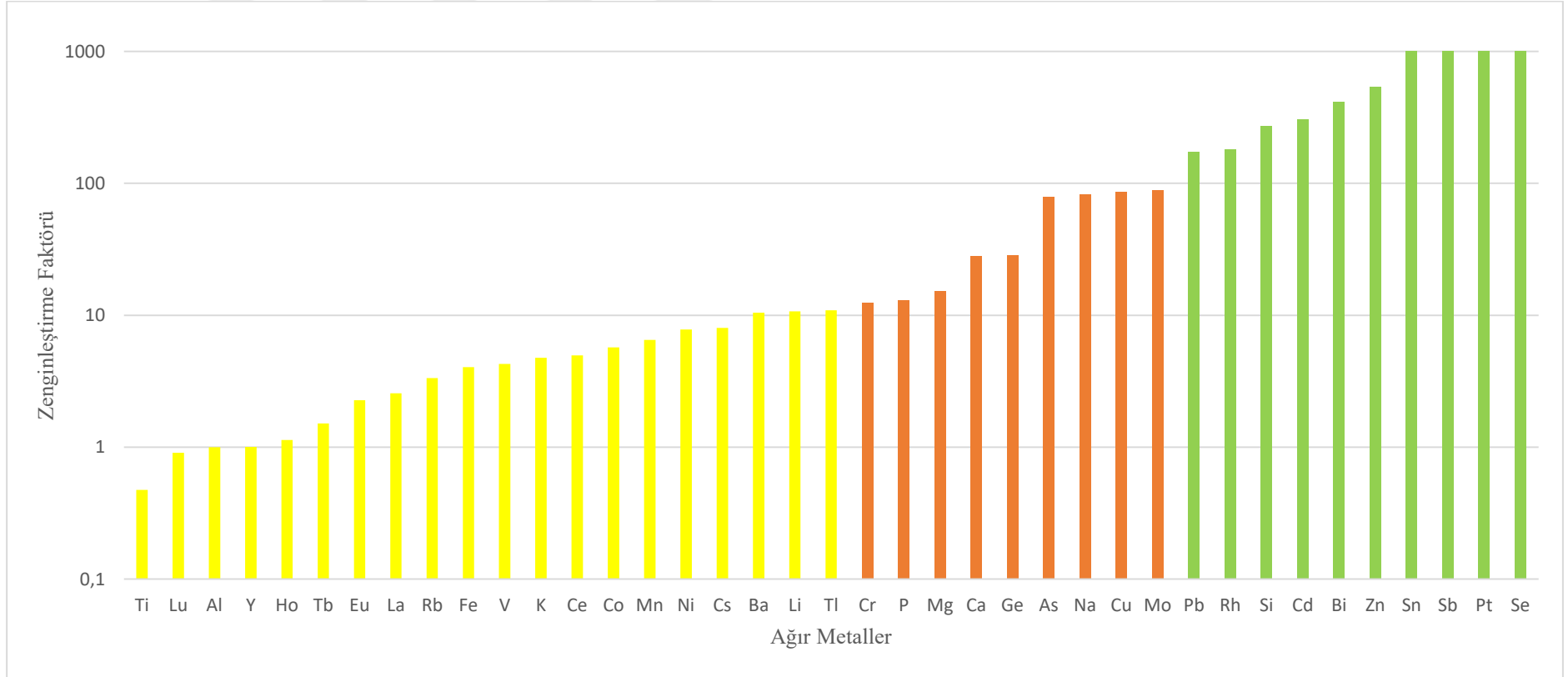
- Ti, Ho, Eu, Tb, Lu, Fe, Co, K, Mn, Rb, ve Ni için ZF faktörü 10' dan küçük hesaplanmıştır. Bu elementler zenginleşmemiştir ve doğal kaynaklar baskındır.
- Tl, Cs, Ba, Y, La, Li, Mg, Cr, P, V, Ca, Cu, As ve Mo için ZF faktörü 10 ile 100 arasında hesaplanmıştır. Bu elementler için orta derece zenginleşme söz konusudur ve kaynak hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilir.
- Ge, Pt, Na, Pb, Sn, Bi, Cd, Si, Zn, Sb ve Se için ise ZF faktörü 100'den büyük olarak hesaplanmıştır.

Mevsimler karşılaştırma yapıldığında dört mevsimde de; Ce, Co, Eu, Fe, Ho, K, Lu, Mn, Ni, Tb ve Ti elementleri toprak kökenli; Ca, Cu, Mg, Mo ve P hem toprak kökenli hem de antropojenik kaynaklı; Cd, Pt, Sb, Se, Si, Sn, Zn, Bi antropojenik kaynaklı olduğu görülmektedir. Buna karşın; As, Ba, La, Cr, Ge, Li, Na, Pb, V, Y ve Cs elementleri mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Arsenik kömür yanmasının iz elementidir bu yüzden kış mevsiminde zenginleştirme faktörü antropojenik kaynak kategorisinde çıkmıştır [Salma, 2006]. Antropojenik kökenli çıkan Zn, Pb, Sb ve Cd metalleri sırasıyla; Zn metal işletmeleri ve trafik emisyonlarından, Pb ve Sb trafik emisyonlarından, Cd ise endüstriyel emisyonlardan kaynaklanmaktadır [Gonzalez et al., 2017].

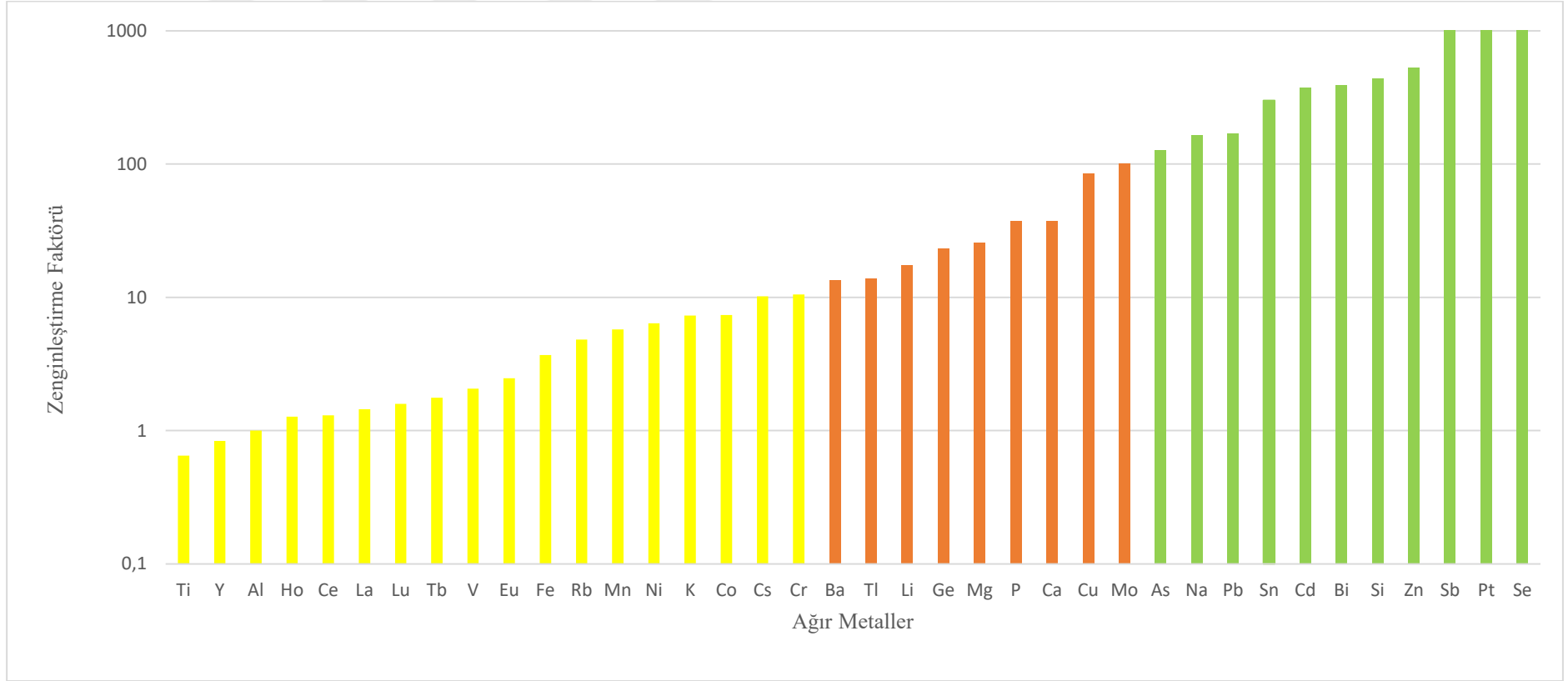
Yaz mevsimi için ZF değerleri Şekil 6.7'de; Sonbahar mevsimi Şekil 6.8'de; Kış mevsimi Şekil 6.9'da; İlkbahar mevsimi ise Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



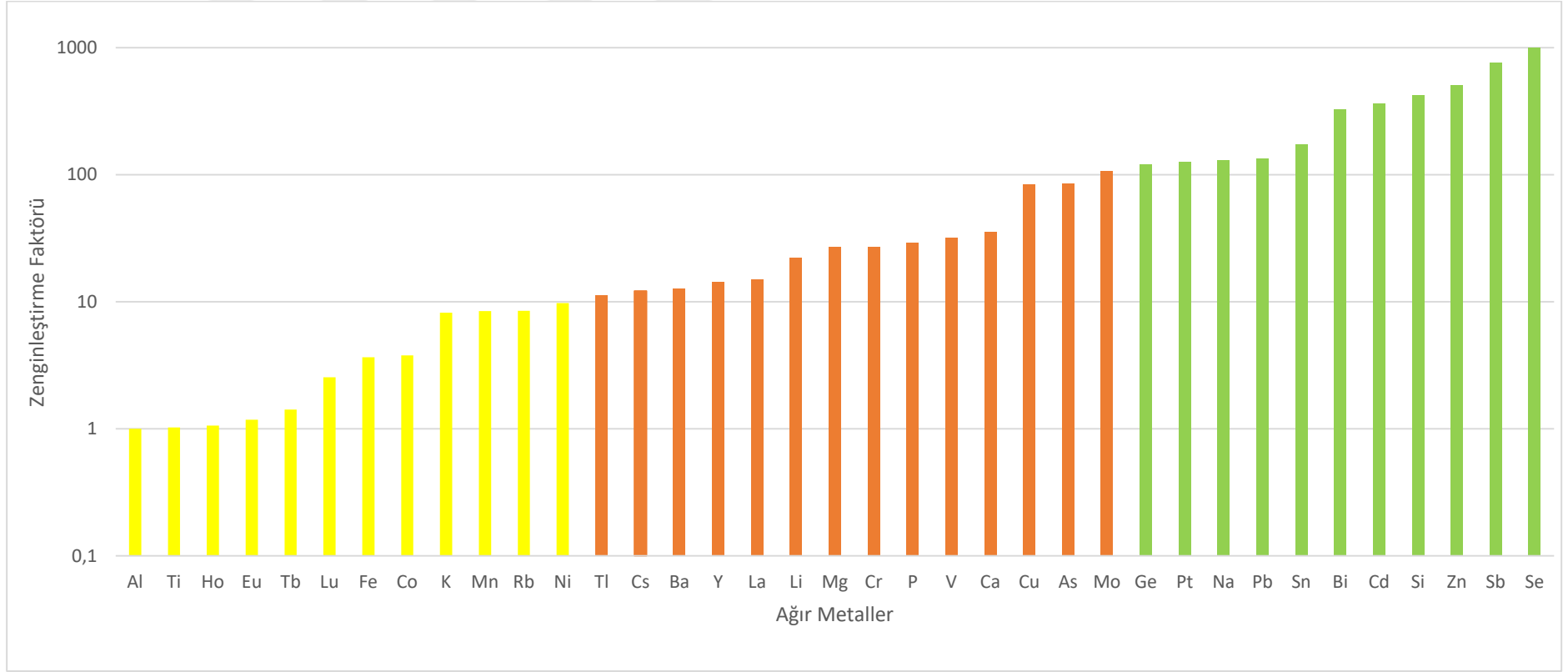
Şekil 6.7: Yaz mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları.



Şekil 6.8: Sonbahar mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları.



Şekil 6.9: Kış mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları.

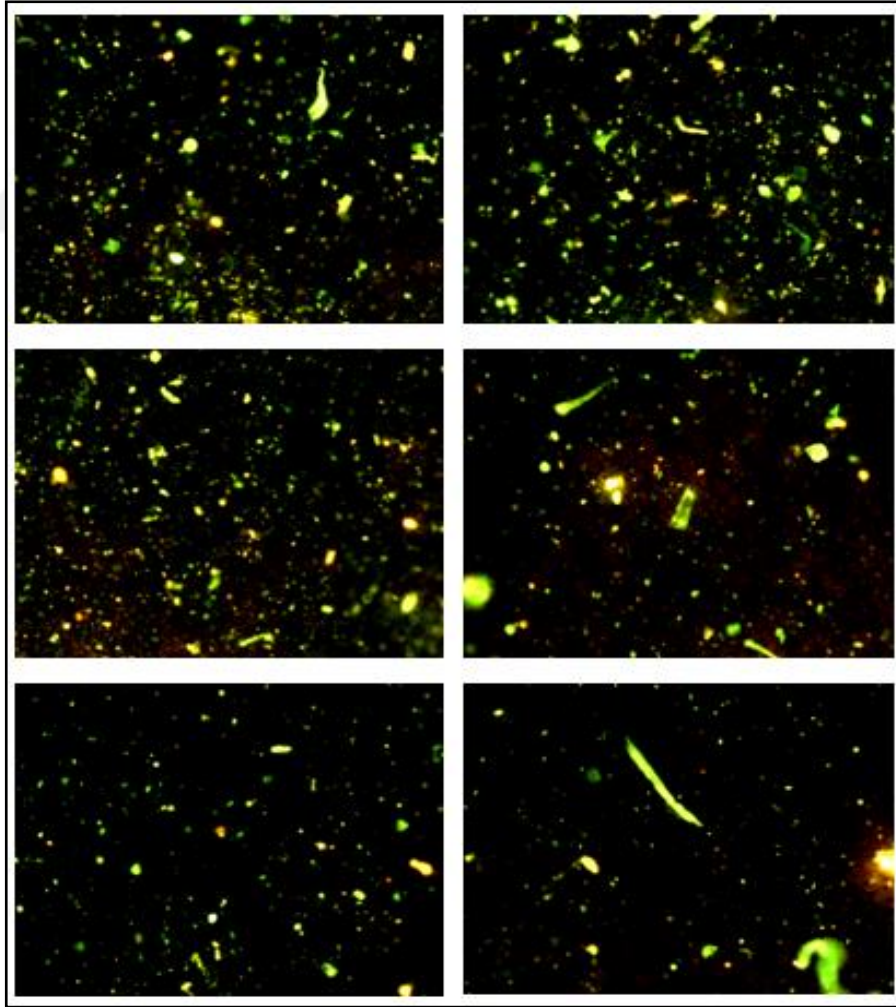


Şekil 6.10: İlkbahar mevsimi zenginleştirme faktörü sonuçları

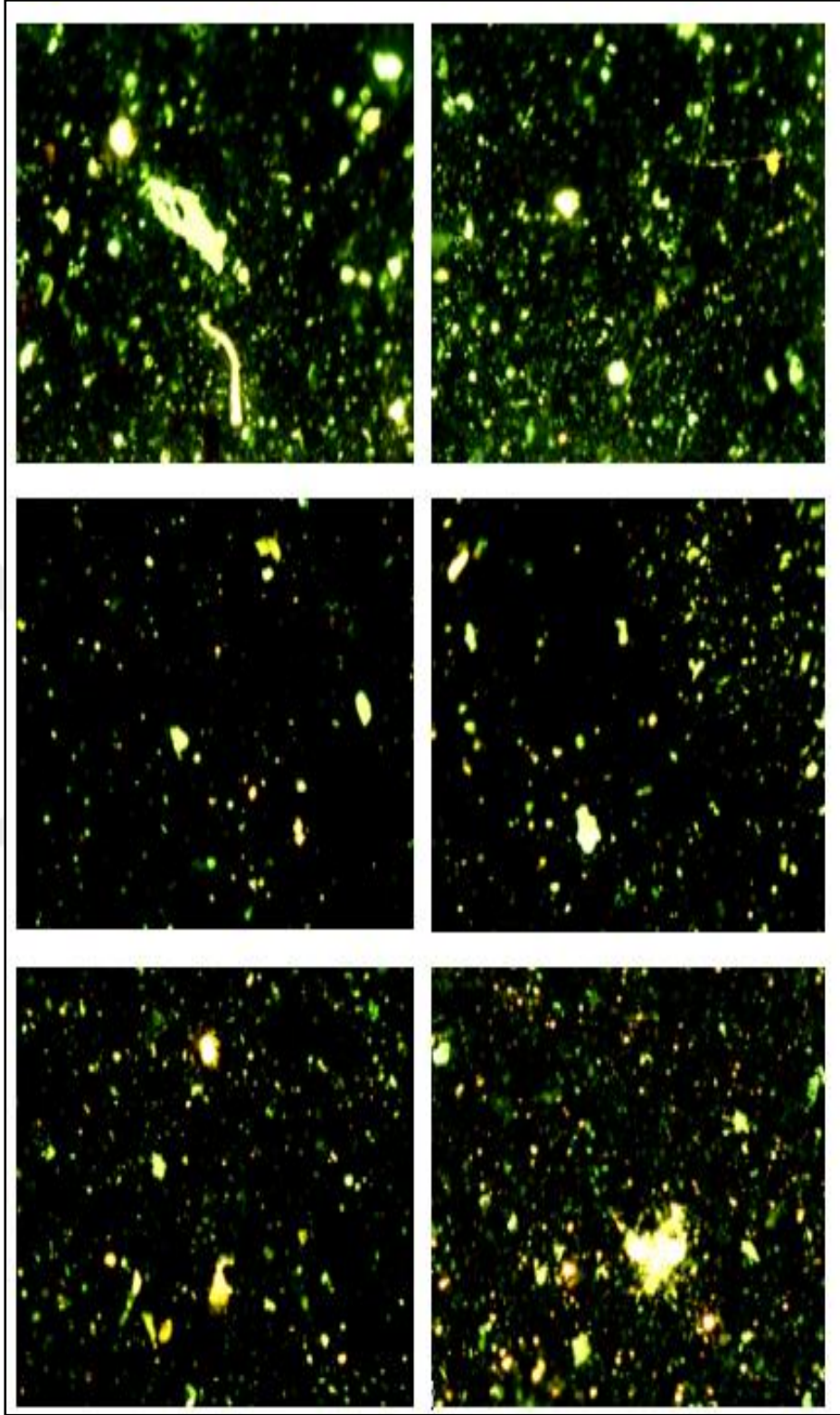
6.6. Mikroplastik Verileri

Nil Kırmızısı ile boyama yapılan numuneler floresan mikroskobu altında farklı filtreler kullanılarak incelenmiş ve kamera aracılığıyla görüntüleri alınmıştır. Floresan mikroskobu ile incelenerek tespit edilen mikroplastiklere ait bazı görüntüler aşağıda gösterilmiştir. Görüntüler incelendiğinde oldukça yoğun mikroplastik mevcut olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Her bir sezon için ortalama yoğunlukta olan bir numunenin elde edilmiş farklı görüntüleri verilmiştir

Mikroplastiklerin yaz mevsimindeki floresan mikroskobu görüntüleri Şekil 6.11’de; Sonbahar mevsimindeki görüntüleri ise Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

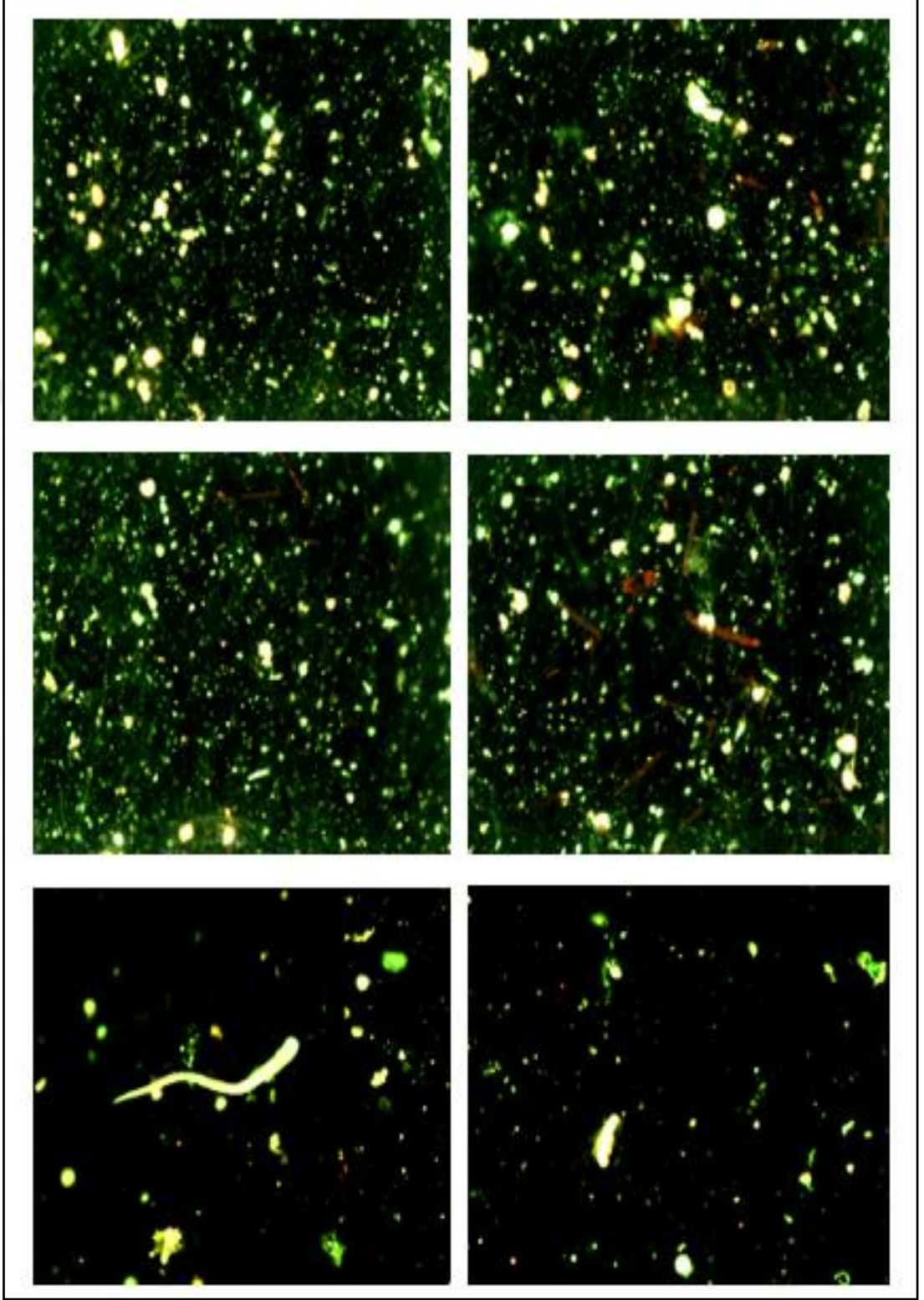


Şekil 6.11: Seçili yaz örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.

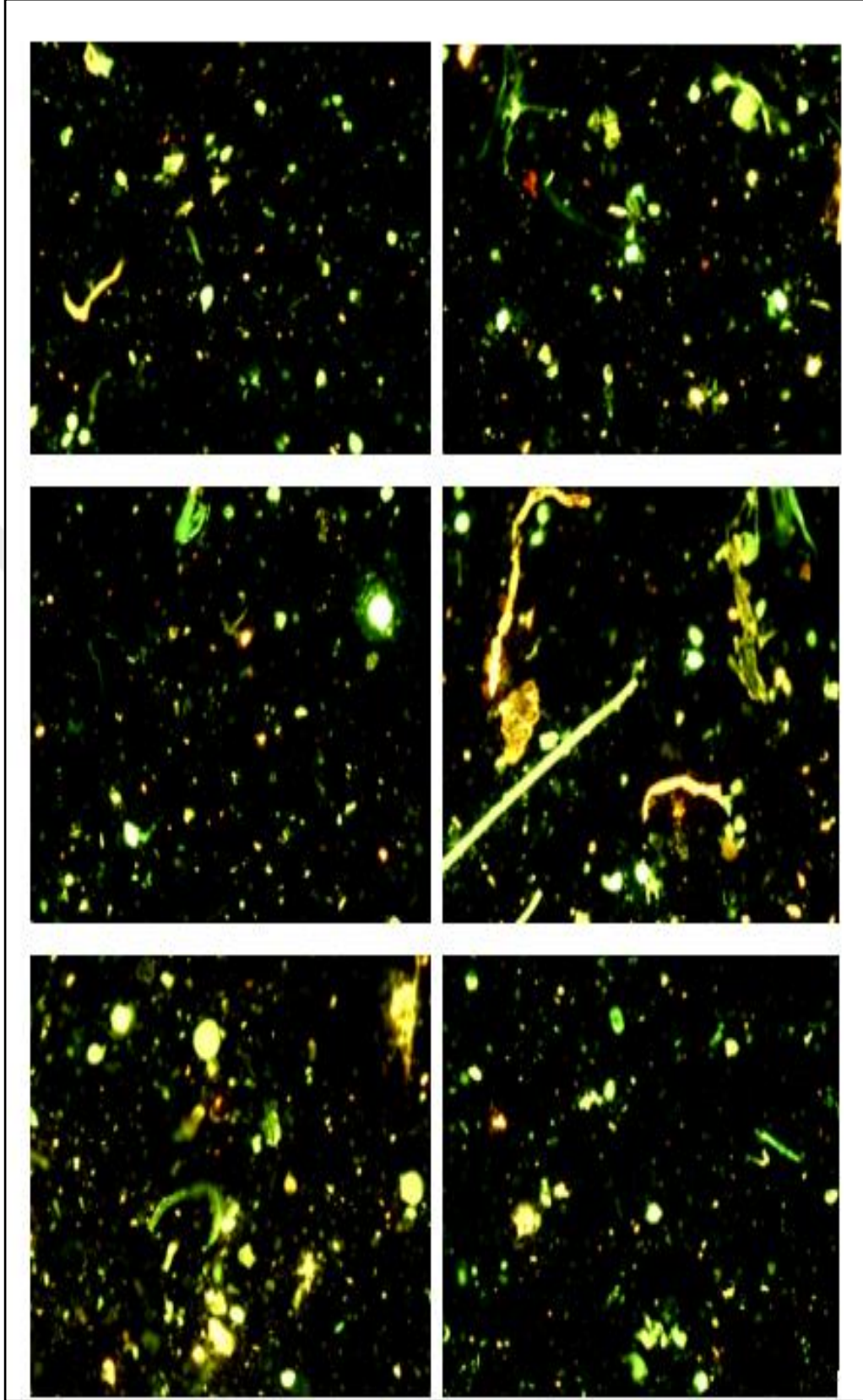


Şekil 6.12: Seçili sonbahar örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.

Mikroplastiklerin kış mevsimindeki florasın mikroskobu görüntüleri Şekil 6.13'te ilkbahar mevsimindeki görüntüleri ise Şekil 6.14'te gösterilmiştir.



Şekil 6.13: Seçili kış örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.



Şekil 6.14: İlkbahar örnekleri için NK mikroskop görüntüleri.

Toplanan örneklerin mikroplastik sayımı yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar filtre üzerinden geçen hava miktarına bölünüp mikroplastiklerin havadaki konsantrasyonuna ulaşmaya çalışılmıştır. Ayrıca mikroskop altında yapılan sayımda belli bir alan tarandığından toplanan numune filtrelerinin tüm alanına oranı bulunarak hesap düzeltmeleri yapılmıştır.

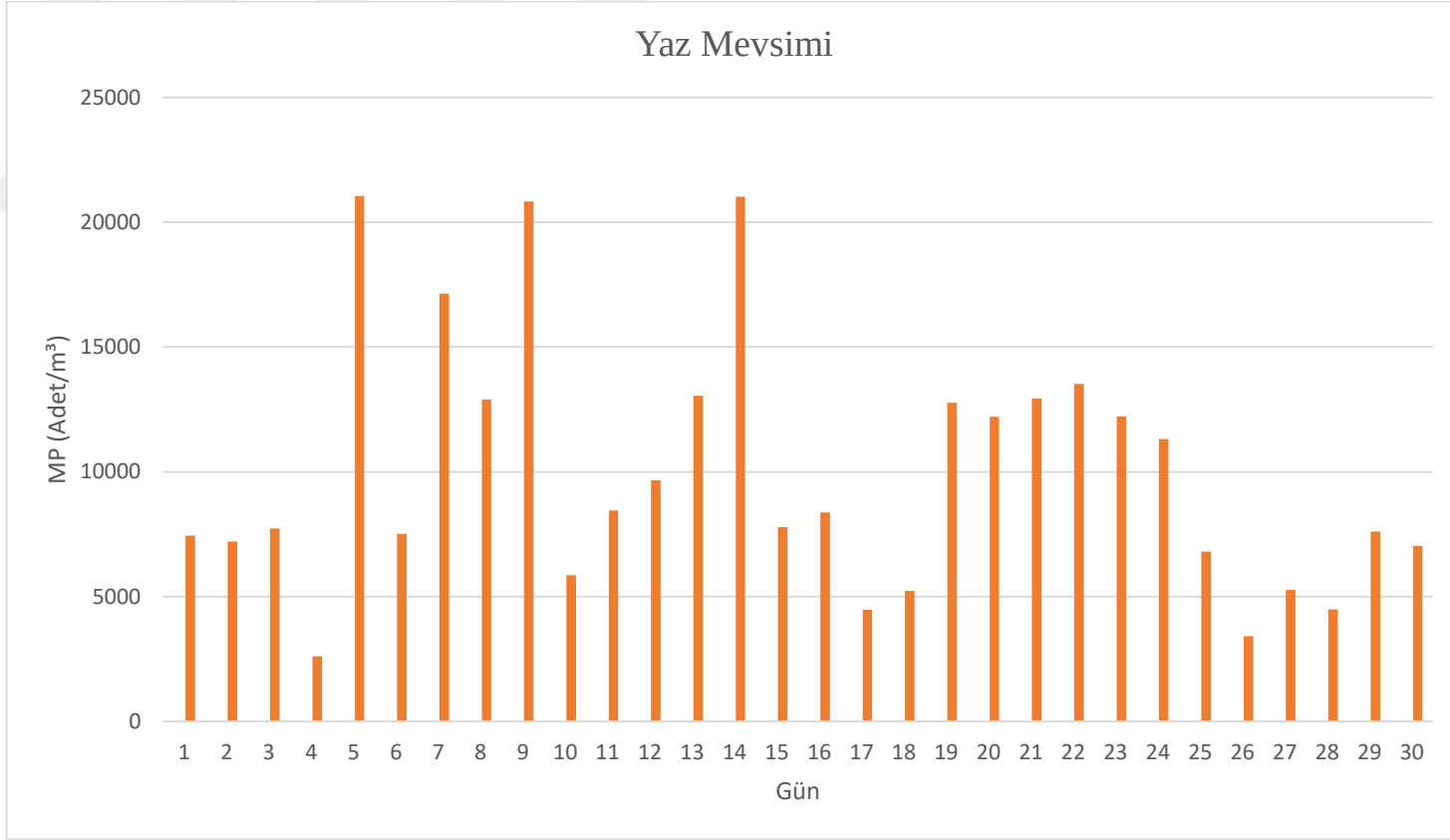
Mikroplastiklerin konsantrasyonu yaz sezonunda en az 2602 MP/m³ en fazla ise 21042 MP/m³ bulunmuş, sonbahar sezonunda en az 7245 MP/m³ en fazla 32950 MP/m³, kış sezonunda en az 3299 MP/m³ en fazla 58270 MP/m³, ilkbahar en az 7275 MP/m³ en fazla 37094 MP/m³ olarak değişiklik göstermiştir. Blank sayımız 39095 MP/m³'dir.

Genel olarak yüksek değerlerin kış mevsimindeki numune toplanan günlerde elde edildiği gözlemlenmiştir. Yaz mevsiminde de MP'lerin parçalanmasından dolayı daha düşük partikül konsantrasyonlarının elde edildiği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra kış mevsiminde yüksek MP değerlerinin bu mevsimde yağışın fazla olması sonucu MP birikiminin artması ve plastik maddelerin ısınmada yanacak malzeme olarak kullanıldığı için yüksek çıktığı ön görülmektedir.

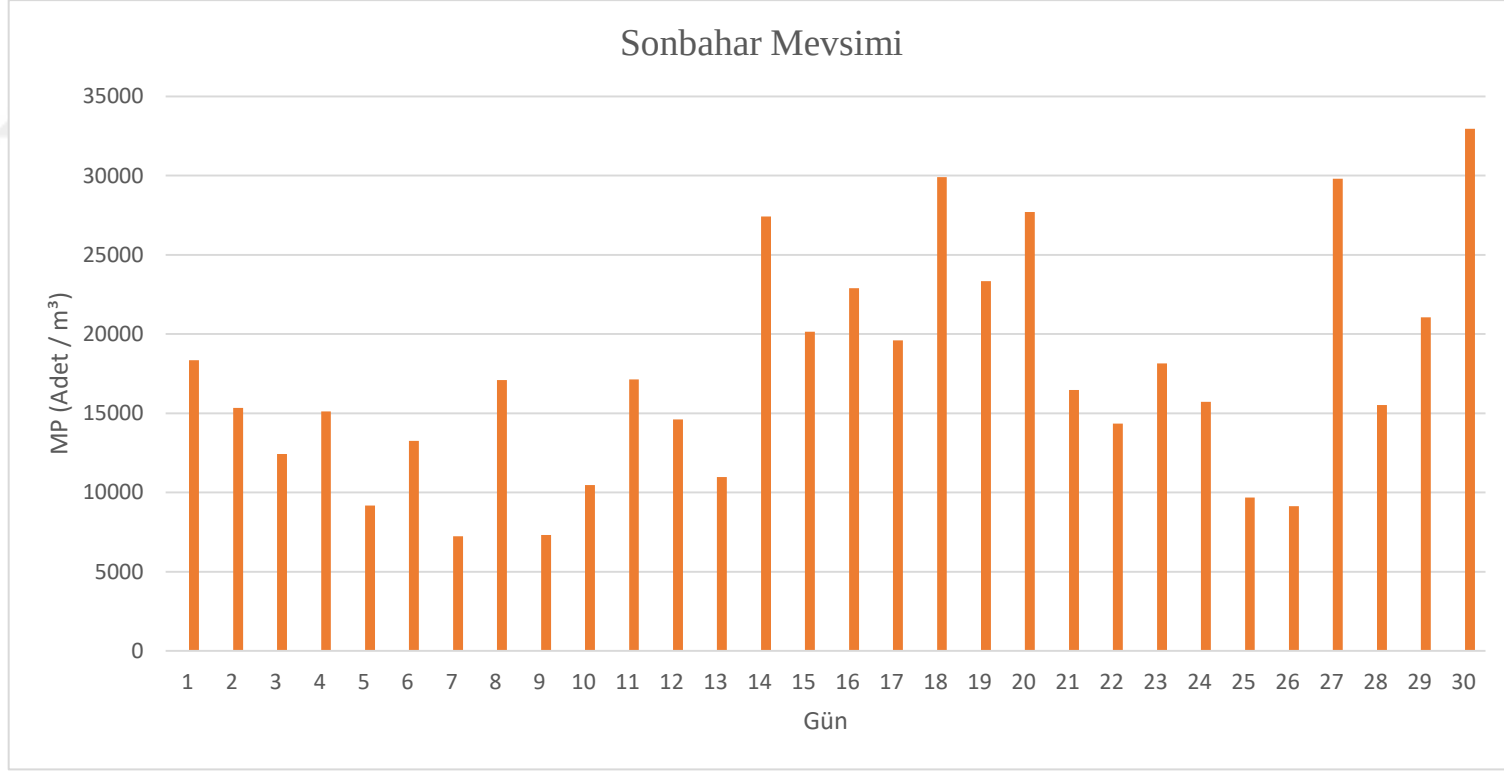
Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de GTÜ kampüsünde yüksek hacimli hava örnekleyici ile toplanan numunelerde elde edilen mikroplastik sonuçlarının mevsimsel karşılaştırması verilmiştir. Çok büyük farklar olmamakla birlikte sonbahar-kış sezonlarından ilkbahar-yaz sezonuna göre daha yüksek sonuçlar alındığı gözlenmiştir.

Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21, Şekil 6.22'de mikroplastik konsantrasyonlarının numune toplanan günlerdeki sıcaklık verilerine göre oranı verilmiştir. Görece sıcaklığın daha düşük olduğu kış günlerinde mikroplastik seviyelerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

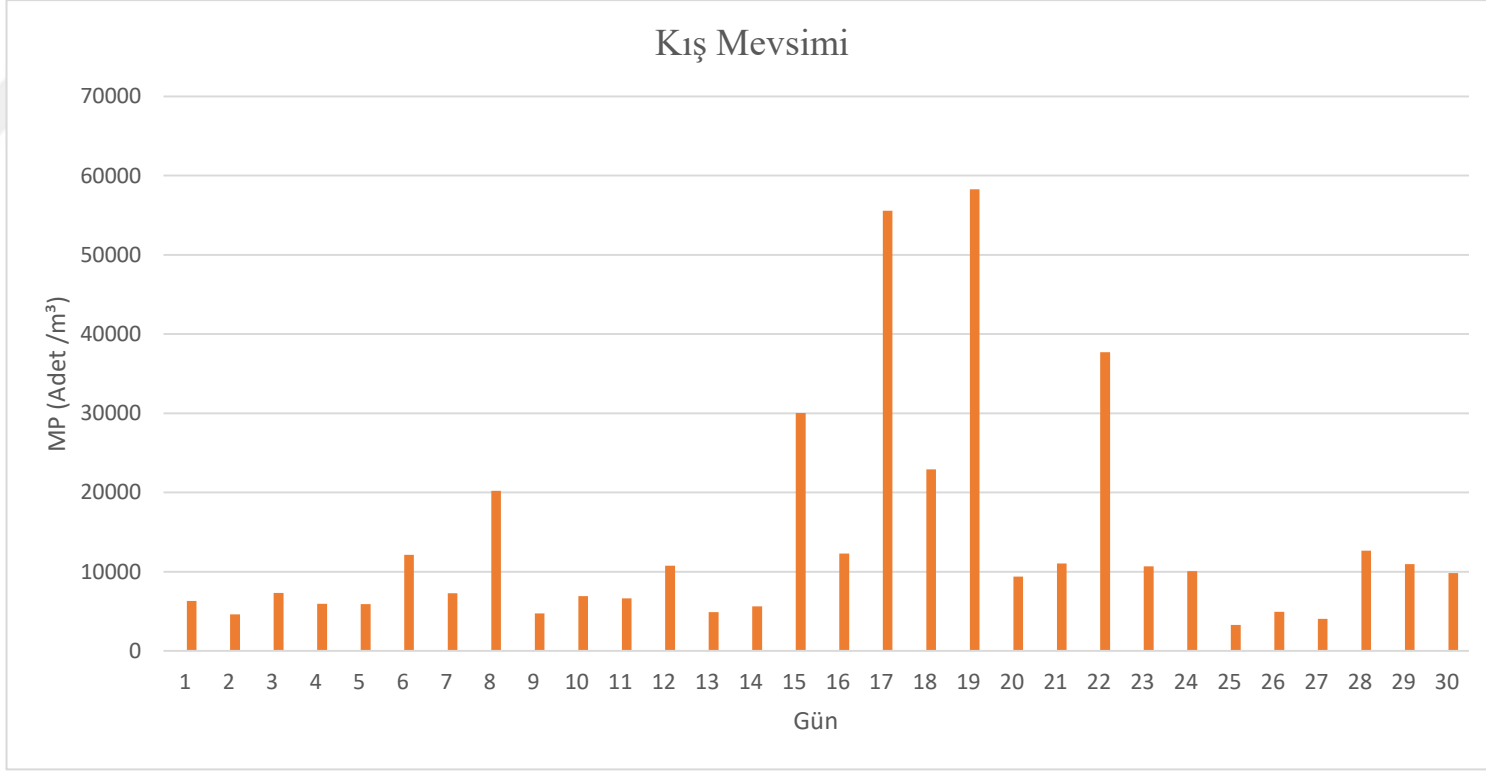
Allen ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada, Kasım ve Aralık aylarında atmosferde daha yüksek bir MP yüzdesi gözlemlerken, Şubat ve Mart aylarında ise MP'lerin dağılımını daha düşük bulmuşlardır. GTÜ kampüsünde toplanan örneklerde bu çalışma sonuçlarıyla mevsimsel olarak karşılaştırıldığında benzerlik göstermektedir.



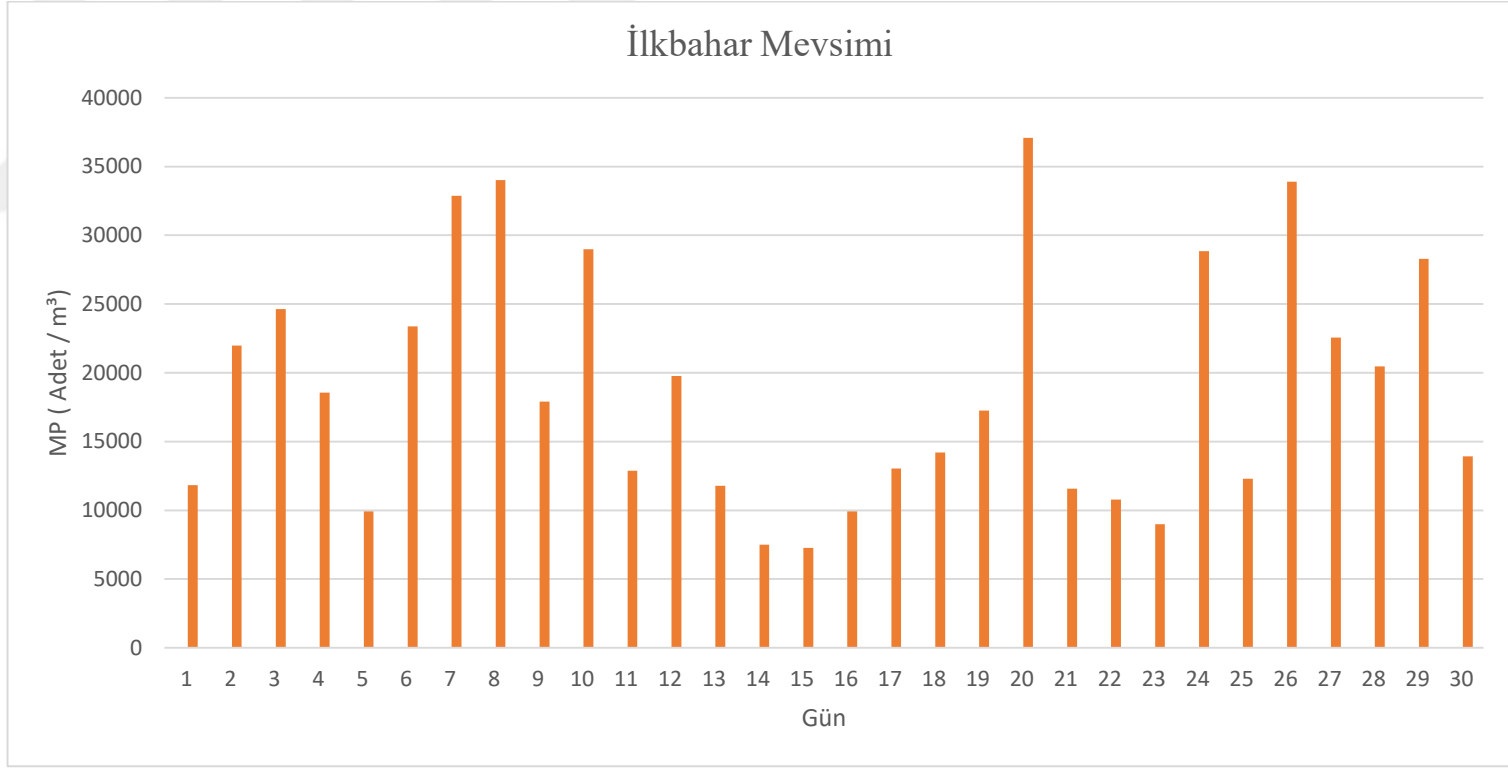
Şekil 6.15: Mikroplastiklerin yaz mevsimi konsantrasyonları.



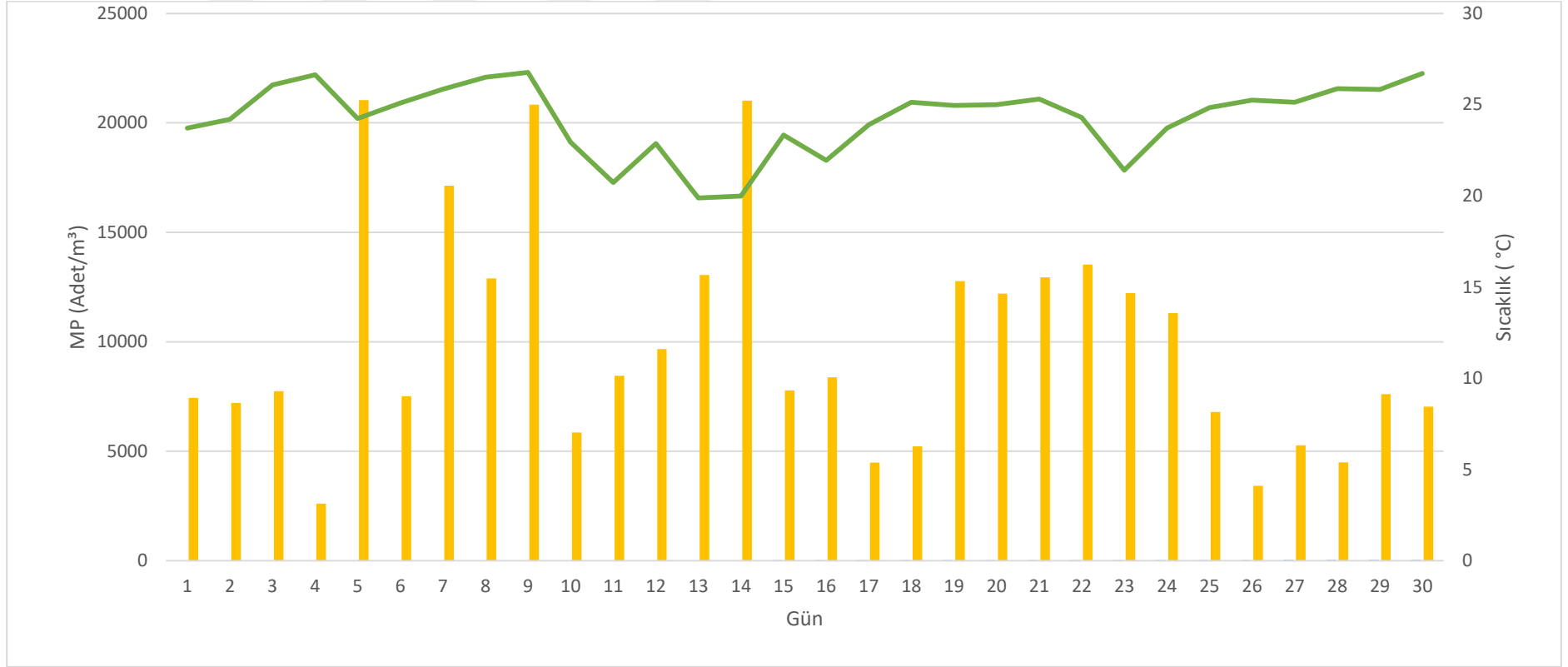
Şekil 6.16: Mikroplastiklerin sonbahar mevsimi konsantrasyonları.



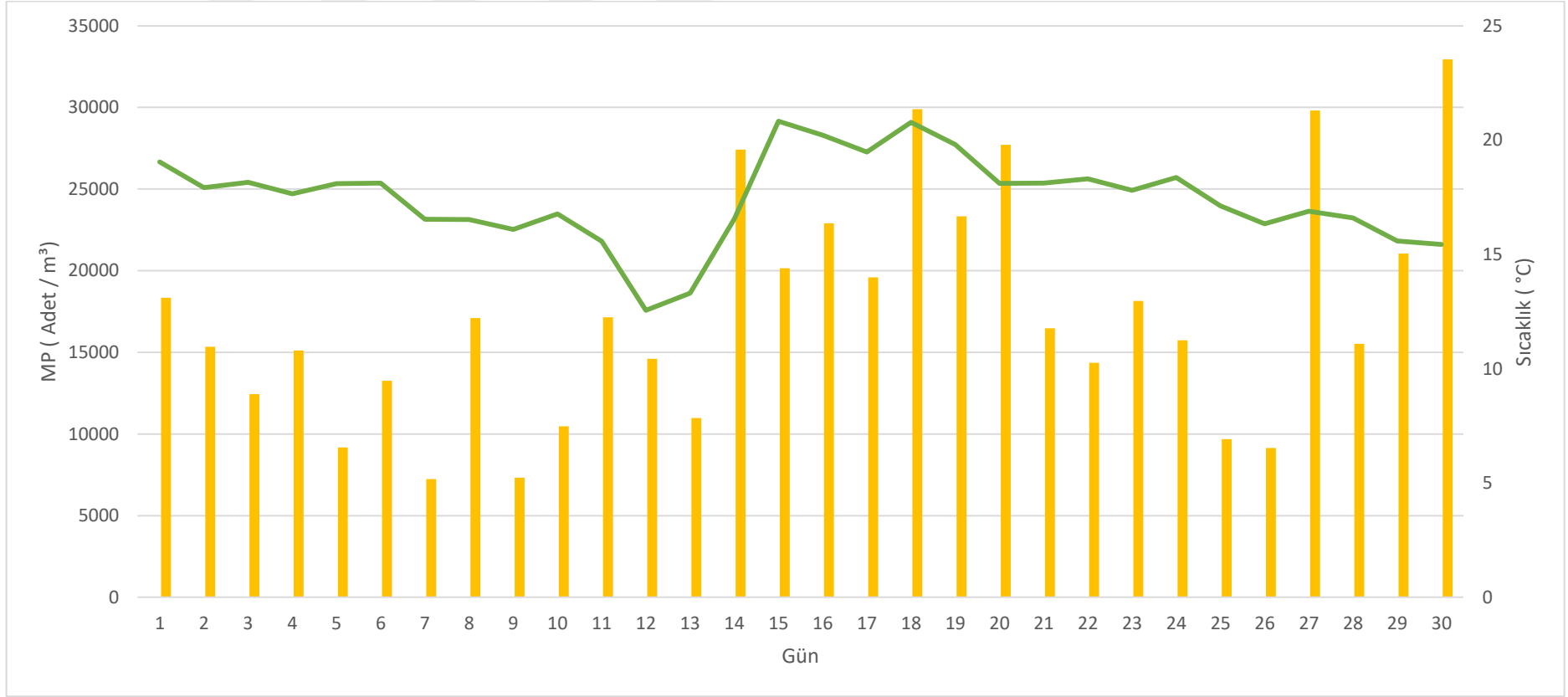
Şekil 6.17: Mikroplastiklerin kış mevsimi konsantrasyonları.



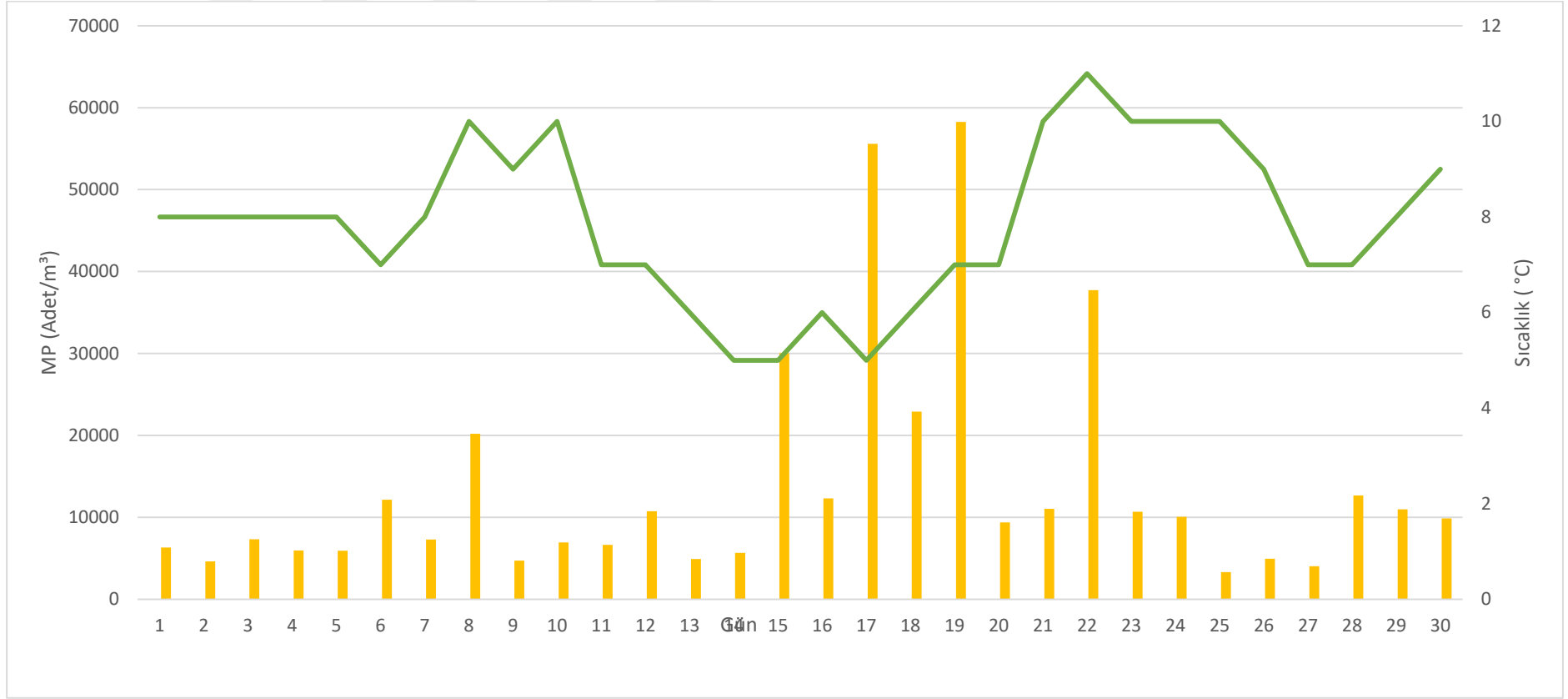
Şekil 6.18: Mikroplastiklerin ilkbahar mevsimi konsantrasyonları.



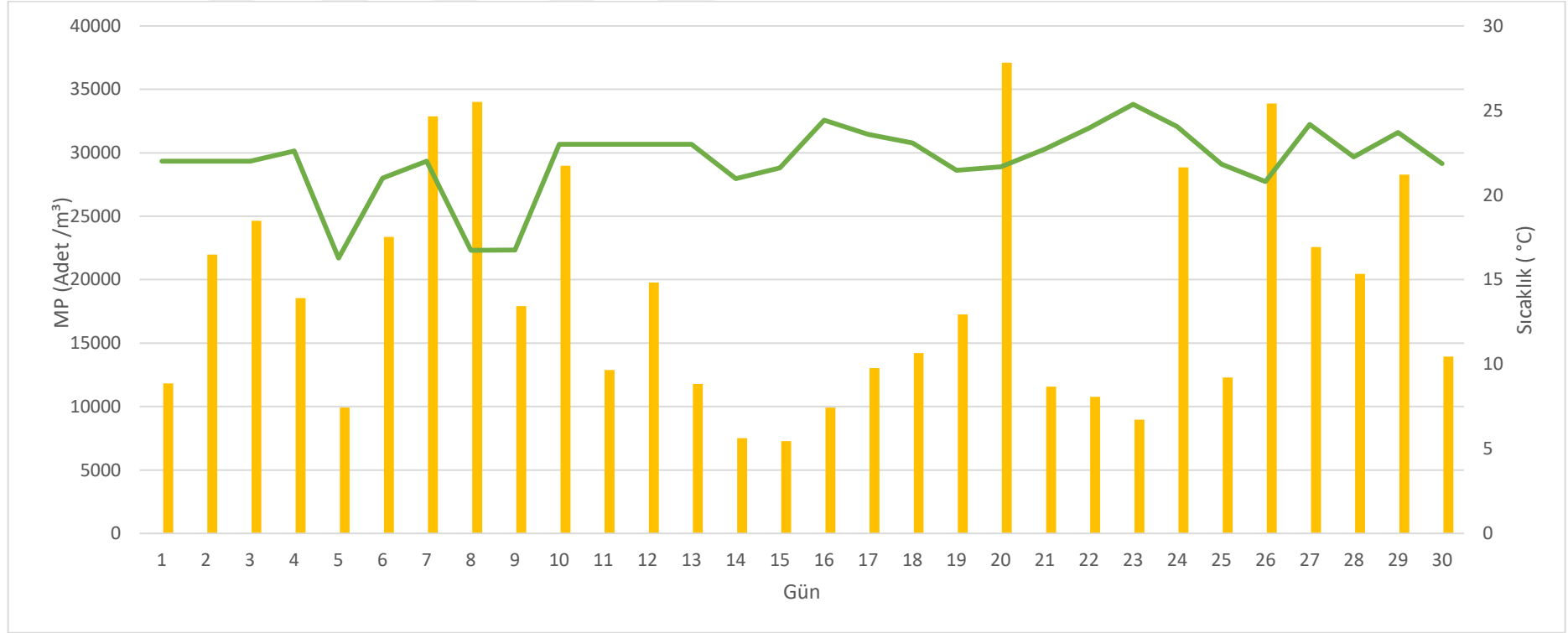
Şekil 6.19: Yaz mevsimi MP-konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.



Şekil 6.20: Sonbahar mevsimi MP- konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.



Şekil 6.21: Kış mevsimi MP- konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.



Şekil 6.22: İlkbahar mevsimi MP- konsantrasyon-sıcaklık karşılaştırması.

6.7. Mikroplastiklerin Ağır Metallerle Korelasyonu

Ağır metaller ile MP'lerin korelasyonuna bakıldığında ise sadece Platin (Pt) ile korelasyonu olduğu görülmektedir (Tablo 6.9). Mevsimsel olarak incelendiğinde ise sonbahar mevsiminde platine ek olarak krom (Cr), ve az da olsa İtiryum (Y) ve çinko (Zn) ile korelasyonlarının olduğu gözlenmiştir. Ağır metallerin MP'lerle ortak kaynağı olup olmadığını incelemek amacıyla yapılan Faktör Analizi yapılmıştır. Ağır metallerin kendi aralarında korelasyonları incelendiğinde; birbirleri ile olumlu yönde bir ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Faktör analizi, değişkenler arasında birbiri ile korelasyonlu olanları bir kategoriye toplayarak, daha az sayıda faktör elde ederek böylelikle değişken sayısını azaltıp yorumlama kolaylığı sağlanmasıdır. Faktör analizinin amacı değişkenler arasındaki karşılıklı korelasyonunun kökenini araştırmaktır.

Faktör analizinde bulunan terimlerden faktör yükü; kirletici bileşenlerden her biri için emisyon kaynağı ile korelasyonunu bulmada kullanılan bir değer, faktör skoru ise; emisyon kaynağının toplam derişime katkısını belirten diğer bir değerdir [Harrison and Smith, 1996]. Faktör yüklerinin 0,5 üstünde olması bileşenin o faktörü tanımlamada büyük katkısının olduğunu gösterir.

Ağır metallerin kaynaklarını belirlemek ve MP'lerle ortak kaynağı olup olmadığını incelemek amacıyla SPSS 16.0 versiyonu kullanılarak data setine Faktör Analizi uygulanmıştır. Eigenvalue değerleri 1'den büyük olan değerler alınmıştır. Faktör analizine göre 6 farklı faktör tespit edilmiş olup, toplam varyansın %80'i açıklanmıştır. Sırasıyla açıklanan varyans oranları birinci faktör için %49, 2, ikinci faktör için %14,4, üçüncü faktör için %6,3, dördüncü faktör için %4,9, beşinci faktör için %3,8 ve son faktör içinse %3,5 olarak belirlenmiştir.

Birinci faktör toplam varyansın %49,2' sini açıklamaktadır. Al, Ba, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Cd, Eu, Fe, Ho, La, Lu, Mn, Pb, Sb, Sn, Tb, Ti, Tl ve Mo elementlerin faktör yükleri 0,49' dan daha büyüktür. As, Ca, K, Li, Si ve Zn elementlerinin faktör yükleri 0,49'dan daha küçüktür. Cu, Cd, Cr, Fe, Mn ve Pb elementleri endüstriyel faaliyetleri sonucu oluşan emisyon kaynağının belirleyici elementleridir [Ledoux et al., 2017], [Soleimani et al., 2018], [Ventura et al, 2017]. Örnekleme bölgesinin yakınlarında bulunan Dilova bölgesinde demir-çelik endüstrisinin varlığı ve o

bölgede birçok metalurjik faaliyetlerin gerçekleşmesi birinci faktör analizi sonuçlarını doğrulamaktadır.

İkinci faktör toplam varyansın %14,4'ünü açıklamaktadır. Al, Cs, K, Li, Mg, Na, Si ve Ti elementlerin faktör yükleri 0,49' dan daha büyüktür. As, Ba, Ca, Cr, Eu, Ho, La, Lu, Pb ve Tb elementlerinin faktör yükleri 0,49'dan daha küçüktür. As, Pb ve K elemntleri odun-kömür yanması sonucu oluşan emisyonun belirleyici elementleridir [Hsu et al., 2018], [Öztürk vd., 2011].

Üçüncü faktör toplam varyansın %6,3'ünü açıklamaktadır. As, Cu, Pb, Sn, Ti ve Zn elementlerin faktör yükleri 0,49' dan daha büyüktür. Al, Bi, Ca, Cd, Eu, Mo, P, Pt, Sb ve Sn elementlerinin faktör yükleri 0,49'dan daha küçüktür. Cu, Pb, Ca ve Zn elementleri kirliliğin trafik sonucu oluşan emisyon kaynaklı olduğunu gösteren belirleyici elementlerdir [Onat vd., 2013], [Salameh et al., 2015]. GTÜ kampüsünün Kocaeli- İstanbul yönlerindeki E-5 karayoluna çok yakın olması üçüncü faktör analizi sonuçlarını doğrulamaktadır.

Dördüncü faktör toplam varyansın %4,9 'unu açıklamaktadır. Ce ve Y elementlerin faktör yükleri 0,49' dan daha büyüktür. Cr, Ho, La, Lu ve Tb elementlerinin faktör yükleri 0,49'dan daha küçüktür. La, Ce ve Y nadir toprak elementleridir. Bu elementler toprak kökenli olduğunu gösteren belirleyici elementlerdir [Onat vd., 2013], [Öztürk vd., 2016].

Beşinci faktör toplam varyansın %3,8 'ini açıklamaktadır. P ve V elementlerin faktör yükleri 0,49' dan daha büyüktür. Cd, Cr, Mg, Mn ve Y elementlerinin faktör yükleri 0,49'dan daha küçüktür. V ve Mn elementleri yanma emisyon kaynağının belirleyici elementidir [Salameh et al., 2015]. Karayoluna yakınlık yakıt yanmasının yüksek çıkmasını sebep olmaktadır.

Son faktör ise toplam varyansın %3,5'ini açıklamaktadır. Pt elementinin ve MP'nin faktör yükleri 0,49' dan daha büyüktür. Cr, Y ve Zn elementlerinin faktör yükleri 0,49'dan daha küçüktür. Literatürde Pt ve Zn elementlerinin trafik aktivitelerinden kaynaklandığı rapor edilmiştir. Özellikle hava kirliliğini azaltma girişimi olarak egzoz sistemine uygulanan katalitik konvertörlerde kullanılması dolayısıyla, bu sistemler havada Pt varlığına sebebiyet vermiştir [Ek et al., 2004], [Fly et al., 2001], [Jarvis et al., 2001]. Mikroplastiklerin en büyük kaynaklarından birinin araba lastiklerinin ufalanması olduğu ve yol kenarlarında yüksek çıktığı bilinmektedir. Faktör analizi sonucu Tablo 6.12' de verilmiştir.

Tablo 6.12: Faktör analizi.

	Faktör					
	1	2	3	4	5	6
MP						0,714
Al	0,662	0,638	0,206			
As	0,465	0,284	0,639			
Ba	0,799	0,470				
Bi	0,838		0,269			
Ca	0,470	0,443	0,373			
Cd	0,640		0,379		0,239	
Ce				0,748		
Co	0,692					
Cr	0,558	0,281		0,238	0,465	0,335
Cs	0,538	0,795				
Cu	0,629		0,660			
Eu	0,844	0,367	0,244			
Fe	0,917					
Ho	0,816	0,429		0,265		
K	0,139	0,969				
La	0,793	0,386		0,333		
Li	0,163	0,941				
Lu	0,789	0,428		0,354		
Mg		0,968			0,092	
Mn	0,883				0,265	
Mo	0,840		0,329			
Na		0,969				
P			0,300		0,665	
Pb	0,625		0,699			
Pt		0,204	0,052			0,815
Sb	0,809		0,207			
Si	0,314	0,827				
Sn	0,745		0,586			
Tb	0,802	0,403		0,328		
Ti	0,573	0,568		0,464		
Tl	0,789					
V					0,514	
Y				0,776	0,329	0,250
Zn	0,375		0,708			0,151
Varyans (%)	49,2	14,4	6,3	4,9	3,8	3,5
Olası kaynak	Endüstriyel faaliyet	Kömür yanması	Trafik emisyonu	Toprak kaynağı	Yanma emisyonu	Lastik aşınması

Ağır metallerin hem kendi içinde hem de mikroplastiklerle olan korelasyonu Tablo 6.13'te gösterilmiştir.

Tablo 6. 13: Ağır metallerin mikroplastiklerle korelasyonu.

	MP	Al	Ba	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Pb	Pt	Sb	Sn	Tb	Tl	V	Y	Zn
MP	1																										
Al	0,037	1																									
Ba	0,157	0,848**	1																								
Bi	0,130	0,565**	0,616**	1																							
Ca	0,074	0,679**	0,637**	0,441**	1																						
Cd	0,018	0,556**	0,649**	0,469**	0,334**	1																					
Co	0,072	0,414**	0,370**	0,276*	0,382**	0,305**	1																				
Cr	0,137	0,568**	0,691**	0,494**	0,260*	0,583**	0,256*	1																			
Cs	0,058	0,892**	0,883**	0,465**	0,619**	0,479**	0,318**	0,638**	1																		
Cu	0,144	0,668**	0,717**	0,513**	0,560**	0,690**	0,386**	0,576**	0,561**	1																	
Fe	0,157	0,689**	0,783**	0,642**	0,525**	0,679**	0,616**	0,629**	0,592**	0,768**	1																
K	-0,032	0,736**	0,657**	0,265**	0,485**	0,313**	0,120	0,498**	0,890**	0,308**	0,262*	1															
La	0,122	0,850**	0,759**	0,561**	0,524**	0,495**	0,339**	0,577**	0,728**	0,606**	0,676**	0,519**	1														
Li	0,075	0,618**	0,605**	0,253**	0,463**	0,255**	0,176	0,547**	0,786**	0,303**	0,299**	0,874**	0,452**	1													
Lu	0,059	0,870**	0,816**	0,613**	0,494**	0,569**	0,379**	0,626**	0,791**	0,622**	0,717**	0,580**	0,882**	0,509**	1												
Mg	0,016	0,651**	0,605**	0,222**	0,463**	0,216	0,064	0,452**	0,845**	0,234*	0,176	0,984**	0,445**	0,876**	0,503**	1											
Mn	0,172	0,734**	0,862**	0,644**	0,476**	0,727**	0,394**	0,809**	0,699**	0,754**	0,858**	0,411**	0,742**	0,412**	0,800**	0,342**	1										
Mo	0,151	0,630**	0,792**	0,575**	0,409**	0,703**	0,300**	0,665**	0,568**	0,774**	0,802**	0,284*	0,659**	0,274*	0,664**	0,214	0,832**	1									
Pb	0,126	0,611**	0,645**	0,524**	0,477**	0,768**	0,352**	0,519**	0,486**	0,863**	0,724**	0,238*	0,543**	0,205	0,562**	0,151	0,734**	0,782**	1								
Pt	0,489**	0,049	0,067	0,004	0,018	0,048	0,042	0,090	0,013	0,053	0,096	0,002	0,031	-0,041	0,059	0,005	0,079	0,104	0,044	1							
Sb	0,137	0,602**	0,793**	0,585**	0,545**	0,603**	0,410**	0,391**	0,541**	0,657**	0,794**	0,208	0,567**	0,153	0,586**	0,136	0,719**	0,776**	0,650**	0,063	1						
Sn	0,149	0,691**	0,793**	0,587**	0,583**	0,737**	0,451**	0,554**	0,584**	0,917**	0,832**	0,301**	0,622**	0,267*	0,663**	0,216	0,804**	0,808**	0,888**	0,096	0,801**	1					
Tb	0,204	0,834**	0,745**	0,553**	0,555**	0,501**	0,363**	0,557**	0,727**	0,604**	0,672**	0,487**	0,826**	0,425**	0,800**	0,419**	0,724**	0,616**	0,555**	0,084	0,573**	0,633**	1				
Tl	0,060	0,633**	0,638**	0,563**	0,414**	0,653**	0,330**	0,500**	0,484**	0,630**	0,724**	0,252*	0,652**	0,182	0,647**	0,165	0,731**	0,748**	0,686**	0,026	0,674**	0,675**	0,627**	1			
V	0,032	-0,019	0,033	-0,060	-0,193	-0,013	-0,086	0,139	0,061	-0,055	-0,049	0,134	-0,048	0,115	-0,054	0,153	0,104	0,029	-0,071	0,019	-0,122	-0,077	-0,052	-0,146			
Y	0,100	0,112	0,138	0,027	-0,090	0,080	-0,078	0,493**	0,219*	0,064	0,052	0,252*	0,281*	0,392**	0,283*	0,266*	0,233*	0,110	-0,058	0,002	0,221*	-0,060	0,168	0,035	1		
Zn	0,084	0,560**	0,482**	0,399**	0,441**	0,483**	0,359**	0,489**	0,443**	0,684**	0,529**	0,296**	0,440**	0,251*	0,401**	0,246*	0,541**	0,536**	0,701**	0,089	0,366**	0,665**	0,492**	0,468**	0,117	1	

*: Korelasyon %95 güven aralığında anlamlıdır **: Korelasyon %99 güven aralığında anlamlıdır.

Ağır metallerin kendi aralarında korelasyonu incelendiğinde olumlu ve pozitif yönde olduğu gözlenmiştir. Tablo 6.12: Faktör analizi tablosu ile Tablo 6.13: Mikroplastiklerin ağır metallerle korelasyonu tablosunu karşılaştırdığımızda verilerin birbirini desteklediğini görmekteyiz.

Pt'nin Mikroplastik haricinde hiçbir metal ile korelasyonunun olmadığı gözlemlenmiştir. Al, Ba, Bi, Ca, Cr, Cs, Cu'nun Pt, V ve Y hariç diğer tüm matallerle korelasyonu olduğu görülmektedir. Cd ve Fe'in Pt, V, Y ve Mg ile bir korelasyonunun olmadığı görülmektedir. Co'nın K, Li, Mg, Pt, V ve Y ile korelasyonu bulunmamaktadır. Cs'nin Y ile bir korelasyonu olduğu görülmektedir. Cd, As, Cu, Cr, Pb, Zn, Co, Ba, K, Mn, Rb, Pb, Fe, As, Se metalleri endüstriyel faaliyetler sonucunda havaya salınırlar [Ledoux et al., 2017], [Soleimani ve diğ., 2018], [Ventura et al, 2017]. As, Pb Zn, Sb, Ni, Cu, K, V ve Cd yanmadan kaynaklı emisyon kökenlidir [Salameh ve diğ., 2015]. Cu, Zn, Sb, Ba, Fe, Ni, V, Pb, Zn, Cd, Pb, Sb ise trafik emisyonu kökenlidir [Onat ve diğ., 2013], [Salameh ve diğ., 2015].

Alüminyum'un en yüksek korelasyonu Baryum ($r=0,848$) ile olduğu gözlemlenmiştir. Al genellikle yol kenarı tozundan [Onat ve diğ., 2013], Ba ise motorlu taşıt emisyonlarından kaynaklanmaktadır [Morawska and Zhang, 2002].

Baryum'un Mn ($r =0,862$) ve Sb ($r =0,793$) ile yüksek korelasyonu olduğu gözlenmiştir. Ba, Mn ve Sb trafik emisyonundan kaynaklanmaktadır [Aldabe et al., 2011]. Kadmiyum'un Pb ($r= 0,763$) ve Mn ($r= 0,727$) ile korelasyonunun yüksek olduğu gözlenmiştir. Cd, Pb ve Mn' trafik emisyonlarından kaynaklandığı bilinmektedir [Onat ve diğ., 2013], [Aldabe et al., 2011]. Kobalt'ın demir ile ($r=0,616$) korelasyonu olduğu gözlenmiştir. Bu iki element de toprak kökenlidir. Bakır'ın kurşun ile ($r= 0,863$) yüksek bir korelasyon olduğu gözlenmiştir. Cu ve Pb' nin trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır [Onat ve diğ., 2013].

Faktör analizinde de anlatıldığı üzere ağır metallerin kaynaklarının ortak olması korelasyonun oluşmasında önemli bir role sahiptir.

7. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Gebze Teknik Üniversite kampüsünde örnekleme istasyonu kurularak yüksek hacimli örnekleyici ile toplam askıda katı madde örnekleme yapılmıştır. Yüksek hacimli örnekleyici ile dört mevsim örnekleme yapılmıştır. Yaz mevsiminde 34, sonbahar mevsiminde 31, kış mevsiminde 32 ve ilkbahar mevsiminde 30 olmak üzere toplamda 127 örnek toplanmıştır.

Örnekle dönemine paralel olarak meteoroloji verileri toplanmıştır. Yaz mevsiminde, rüzgar hızı ortalama 2,19 metre/saniye olarak kaydedilmiştir. Hakim rüzgar yönü güney-güneybatı olarak belirlenmiştir. Sonbahar mevsiminde, rüzgar hızı ortalama 1,64 m/s ölçülmüştür. Sonbahar örnekleme döneminde çoğunlukla güney yönlü rüzgarlar hakimdir. Kış mevsiminde, rüzgar hızı ortalama 1,83 m/s olarak kaydedilmiş olup kış örnekleme döneminde hakim rüzgar yönü güneydoğu olarak belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde rüzgar hızı ortalama 1,7 m/s olarak ölçülmüştür. İlkbahar örnekleme döneminde çoğunlukla güneybatı yönlü rüzgarlar hakimdir.

Mikroplastiklerin konsantrasyonu yaz sezonunda en az 2602 MP/m³ en fazla ise 21042 MP/m³ bulunmuş, sonbahar sezonunda en az 7245 MP/m³ en fazla 32950 MP/m³, kış sezonunda en az 3299 MP/m³ en fazla 58270 MP/m³, ilkbahar en az 7275 MP/m³ en fazla 37094 MP/m³ olarak değişiklik göstermiştir. Genel olarak yüksek değerlerin kış mevsimindeki numune toplanan günlerde elde edildiği gözlemlenmiştir. Yağışın fazla olması nedeniyle mikroplastiklerin yaş çökme ile yüzeyde birikmeye neden olduğu düşünülmektedir.

Ağır metal konsantrasyonları mevsimsel olarak incelendiğinde; yaz mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 39737,7 ng/ m³ (Na) ile 0,3 ng/ m³ (Eu, Pt ve Rh) arasında, Sonbahar mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 48244,1ng/ m³ (Na) ile 0,3 ng/ m³ (Lu, Mo, Rh ve Ta) arasında, kış mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 39737,7 ng/ m³ (Na) ile 0,3 ng/ m³ (Eu ve Ho) arasında ve ilkbahar mevsiminde ağır metal konsantrasyonu 52249 ng/ m³ (Na) ile 0,01 ng/ m³ (Eu, Ho, Lu, Pt veTb) arasında gözlemlenmiştir.

Zenginleştirme faktörü hesaplandığında; Pb, Sn, Si, Zn, Sb, Cd, Se, Bi, ve Pt gibi bazı elementlerin aşırı zenginleşmiş ve antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir. Mevsimler karşılaştırma yapıldığında ise dört mevsimde de; Ce, Co, Eu, Fe, Ho, K, Lu, Mn, Ni, Tb ve Ti elementleri toprak kökenli; Ca, Cu, Mg, Mo ve

P hem toprak kökenli hem de antropojenik kaynaklı; Cd, Pt, Sb, Se, Si, Sn, Zn, Bi antropojenik kaynaklı olduğu görülmektedir. Buna karşın; As, Ba, La, Cr, Ge, Li, Na, Pb, V, Y ve Cs elementleri mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir.

Faktör Analizi yapılmıştır. Faktör analizine göre 6 farklı faktör tespit edilmiş olup, toplam varyansın %80'i açıklanmıştır. Sırasıyla açıklanan varyans oranları birinci faktör için %49, 2, ikinci faktör için %14,4, üçüncü faktör için %6,3, dördüncü faktör için %4,9, beşinci faktör için %3,8 ve son faktör içinse %3,5 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre birinci kaynak demir-çelik fabrikaları ve metalürjik prosesler gibi endüstriyel faaliyetler, ikinci kaynak odun-kömür yanması, üçüncü kaynak trafik emisyonu, dördüncü kaynak toprak kökenli, beşinci kaynak yanma emisyonu ve son kaynak ise lastik aşınmaları olarak belirlenmiştir.

Pt'nin Mikroplastik haricinde hiçbir metal ile korelasyonunun olmadığı gözlemlenmiştir. Al, Ba, Bi, Ca, Cr, Cs, Cu'nun Pt, V ve Y hariç diğer tüm matallerle korelasyonu olduğu görülmektedir. Cd ve Fe'in Pt, V, Y ve Mg ile bir korelasyonunun olmadığı görülmektedir. Co'nun K, Li, Mg, Pt, V ve Y ile korelasyonu bulunmamaktadır. Cs'nin Y ile bir korelasyonu olduğu görülmektedir. Cd, As, Cu, Cr, Pb, Zn, Co, Ba, K, Mn, Rb, Pb, Fe, As, Se metalleri endüstriyel faaliyetler sonucunda havaya salınırlar. As, Pb, Zn, Sb, Ni, Cu, K, V ve Cd yanmadan kaynaklı emisyon kökenlidir. Cu, Zn, Sb, Ba, Fe, Ni, V, Pb, Zn, Cd, Pb, Sb ise trafik emisyonu kökenlidir. Alüminyum'un en yüksek korelasyonu Baryum ($r=0,848$) ile olduğu gözlemlenmiştir. Al genellikle yol kenarı tozundan, Ba ise motorlu taşıt emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Baryum'un Mn ($r=0,862$) ve Sb ($r=0,793$) ile yüksek korelasyonu olduğu gözlenmiştir. Ba, Mn ve Sb trafik emisyonundan kaynaklanmaktadır. Kadminyum'un Pb ($r=0,763$) ve Mn ($r=0,727$) ile korelasyonunun yüksek olduğu gözlenmiştir. Cd, Pb ve Mn' trafik emisyonlarından kaynaklandığı bilinmektedir. Kobalt'ın demir ile ($r=0,616$) korelasyonu olduğu gözlenmiştir. Bu iki element de toprak kökenlidir. Bakır'ın kurşun ile ($r=0,863$) yüksek bir korelasyon olduğu gözlenmiştir. Cu ve Pb' nin trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

Yönetmeliklerdeki sınır değerler incelendiğinde ağır metallerin sınır değerlerini almadığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Aksoy Ö., (2012), “Sulu Çözeltilerden Bazı Boyarmaddelerin ve Bakır Metalinin Uzaklaştırılmasında Yeni Bir Adsorplayıcı Olarak Nar Posasının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi.

Abbasi S., Keshavarzi B., Moore F., Turner A., Kelly F.J., Dominguez A.O., Jaafarzadeh N., (2019), “Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran”, *Environment Pollutant*, 244, 153–164.

Aldabe J., Elustondo D., Santamaría C., Lasheras E., Pandolfi M., Alastuey A., Querol X., Santamaría, J. M., (2011), “Chemical characterisation and source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain)”, *Atmospheric Research*, 102 (1–2), 191–205.

Allen S., Allen D., Phoenix V.R., Le Roux G., Durañtez Jimenez P., Simonneau A., Binet S., Galop D., (2019), “Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment”, *Nat. Geosci.*, 12, 339–344.

Amil N., Latif M. T., Khan M. F., Mohamad M., (2016), “Seasonal variability of PM_{2.5} composition and sources in the Klang Valley urban-industrial environment”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16 (8), 5357–5381.

Andrady A. L., (2011), “Microplastics in the marine environment”, *Marine Pollution Bulletin*, 62 (8), 1596–1605.

Apaydın A., (2005), “Sanayiden Kaynaklanan Toprak Kirliliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.

Araujo C.F., Nolasco M.M., Ribeiro A.M., Ribeiro-Claro P.J., (2018), “Identification of microplastics using raman spectroscopy: Latest developments and future prospects”, *Water Research*, 142, 426–440.

Bakir A., Rowland S.J., Thompson R.C., (2012), “Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment”, *Marine Pollutant Bulletin*, 64, 2782–2789.

Barbieri M., (2016), “The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination”, *Journal of Geology Geophysics*, 5 (1), 1–4.

Betha R., Pavagadhi S., Sethu S., Hande M. P., Balasubramanian R., (2012), “Comparative in vitro cytotoxicity assessment of airborne particulate matter emitted from stationary engine fuelled with diesel and waste cooking oil-derived biodiesel”, *Atmospheric Environment*, 61, 23–29.

Bolognin S., Messori L., Zatta P., (2009), “Metal ion physiopathology in neurodegenerative disorders”, *Neuromolecular Medicine*, 11 (4), 223–238.

Cai L., Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Zhan, Z., Tan, X., Chen, Q., (2017), “Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence”, *Environment Science Pollutant Res.*, 24, 24928–24935.

Das R., Khezri B., Srivastava B., Datta S., Sikdar P. K., Webster R. D., Wang X., (2015), “Trace element composition of PM_{2.5} and PM₁₀ from Kolkata–A heavily polluted Indian metropolis”, *Atmospheric Pollution Research*, 6 (5), 742–750.

Divrikli U., Soylak M., Elci L., Dogan M., (2003), “The investigation of trace heavy metal concentrations in the street dust samples collected from Kayseri, Turkey”, *J Trace Microprobe Tech*, 21, 713–20.

Dobaradaran S., Soleimani F., Nabipour I., Saeedi R., Mohammadi M. J., (2018), “Heavy metal levels of ballast waters in commercial ships entering bushehr Port along the persian gulf”, *Marine Pollution Bulletin*, 126, 74–76.

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Tassin, B., (2017), “A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments”, *Environment Pollutant*, 221, 453–458.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B., (2016), “Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment”, *Marine Pollutant Bulletin*, 104, 290–293.

Dündar M.S., Pala M.F., (2003), “Monitoring of lead, zinc, cadmium, nickel, chromium and copper in street dust samples in Adapazari, Turkey after earthquake”, *Trace Elem Electrolytes*, 20, 104–107.

Ek K.H., Morrison G.M., Rauch S., (2004), “Environmental routes for platinum group elements biological materials – A review”, *Science of the Total Environment* 334-335, 21-38

Elert A.M., Becker R., Duemichen E., Eisentraut P, Falkenhagen J., Sturm H., Braun U., (2017), “Comparison of different methods for MP detection: What can we learn from them, and why asking the right question before measurements matters?”, *Environmental Pollution*, 231, 1256-1264.

Ely J.C., Neal C.R., Kulpa C.F., Schneegurt M.A., Seidler J.A., Jain J.C., (2001), “Implication of platinum-group element accumulation along U.S. roads from catalytic converter attritions”, *Environmental Science and Technology*, 35, 3816-3822.

Faraji Ghasemi F., Dobaradaran S., Saeedi R., Nabipour I., Nazmara S., Ranjbar Vakil Abadi D., Arfaeinia H., Ramavandi B., Spitz J., Mohammadi M. J., Keshtkar M., (2020), "Levels and ecological and health risk assessment of PM_{2.5}-bound heavy metals in the Northern part of the Persian Gulf", *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (5), 5305–5313.

Fries E.L, Dekiff J.H, Willmeyer J., Nuelle M.T., Ebert M., Remy D., (2013), "Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy", *Environment Science Process Impacts*, 15, 1949-1956.

Fu D., Chen C. M., Qi H., Fan Z., Wang, Z., Peng, L., Li, B., (2020), "Occurrences and distribution of microplastic pollution and the control measures in China" *Marine Pollution Bulletin*, 153.

Gasperi, J., Dris, R., Mandin, C., Tassin, B., (2015), "First overview of microplastics in indoor and outdoor air", 15th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment, 2–4 September.

Gharaibeh A.A., El-Rjoob A.W.O., Harb M.K., (2010), "Determination of selected heavy metals in air samples from the northern part of Jordan' *Environ. Monit. Assessment*, 160, 425–429.

González L.T., Longoria Rodríguez F.E., Sánchez-Domínguez M., Cavazos A., Leyva-Porras C., Silva-Vidaurre L.G., Askard K.A., Kharissova B.I., Villarreal Chiue J.F., Alfaro Barbosa J.M., (2017), "Determination of trace metals in TSP and PM_{2.5} materials collected in the metropolitan area of Monterrey, Mexico: a characterization study by XPS, ICP-AES and SEM-EDS", *Atmospheric Research*, 196, 8–22.

Graca B., BeLdowska M., Wrzesień P., Zgrundo A., (2014), "Styrofoam debris as a potential carrier of mercury within ecosystems", *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 21 (3), 2263–2271.

Harrison R.M., Yin J., Mark D., Stedman J., Appleby R.S., Booker J., Moorcroft, S., (2001), "Studies of the coarse particle (2.5-10 μ m) component in UK urban atmospheres", *Atmospheric Environment*, 35, 3667-3679.

Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R. C., Thiel, M. (2012), "Microplastics in the marine environment a review of the methods used for identification and quantification", *Environmental Science and Technology*, 46 (6), 3060–3075.

Hsu C.Y., Chiang H.C., Lin S.L., Chen M.J., Lin T.Y., Chen Y.C., (2016), "Elemental characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the western coastal area of central Taiwan", *Science of the Total Environment*, 541, 1139– 1150.

Hussain N., Jaitley V, Florence A.T., (2001), "Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 50, 107-142.

Jarvis K.E., Parry S.J., Piper J.M., (2001), "Temporal and spatial studies of autocatalyst-derived trace elements in the environment", *Environmental Science and Technology*, 35, 1031-1036.

John H. Duffus, Howard G.J. Worth, (1996), "Fundamental toxicology for chemists", Royal Society of Chemistry Information Services, Cambridge University.

Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S, (2003) "Metallerin çevresel etkileri", *İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü dergisi*, 136.

Kappler A., Fischer M., Scholz-Bottcher B.M., Oberbeckmann S., Labrenz M., Fischer D., Eichhorn K.J., Voit B., (2018), "Comparison of μ -ATR-FTIR spectroscopy and py-GCMS as identification tools for microplastic particles and fibers isolated from river sediments", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410 (29), 5313–5327.

Kappler A., Fischer D., Oberbeckmann S., Schernewski G., Labrenz M., Eichhorn K.J., Voit B., (2016), "Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both?", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 408 (29), 8377–8391.

Karaca, F., 2005, "Büyükçekmece Bölgesine Taşınan Aerosollerdeki Metal Konsantrasyonlarının İncelenmesi ve Modellenmesi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Karaçağıl D., (2013), "İstanbul'da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi.

Kim K.H., Jahan S.A., Kabir E., Brown R.J.C., (2013), "A Review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects", *Environment International*, 60, 71–80.

Klein, M., Fischer, E.K., (2019), "Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg Germany", *Science Total Environment* 685, 96–103.

Ledoux F., Kfoury A., Delmaire G., Roussel G., El Zein A., Courcot D., (2017), "Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM2.5 at an urban site in northern France", *Chemosphere*, 181, 713–724.

Lee, H., Shim, W.J., Kwon, J.-H.H., (2014), "Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals", *Science Total Environment* 470-471, 1545–1552.

Li H., Wang Q., Yang M., Li F., Wang J., Sun Y., Wang C., Wu H., Qian X., (2016), "Chemical characterization and source apportionment of PM2.5 aerosols in a megacity of southeast China", *Atmospheric Research*, 181, 288–299.

Li, J., Liu, H., Chen, P., (2018), "Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection", *Water Research*, 362-374.

Liu C., Li J., Zhang Y., Wang L., Deng J., Gao Y., Yu L., Zhang J., Sun H., (2019), “Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure”, *Environ. Int.*, 128, 116–124.

Löder M., Gerdt G., (2015), “Methodology used for the detection and identification of microplastics—a critical appraisal”, *Marine Anthropogenic Litter*, 201-227.

Mason B., Moore C. B., (1982), “Principles Of Geochemistry”, 4th ed., John Wiley & Sons

Morawska L., Zhang J., (2002), “Combustion sources of particles. 1. health relevance and source signatures”, *Chemosphere*, 49(9), 1045–1058.

Nuelle M.T., Dekiff J.H., Remy D, Fries E., (2014), “A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments”, *Environmental Pollution*, 184, 161-169.

Okcu M., Tozlu E., Kumlay A., Pehlivan M., (2009), “Ağır Metallerin Bitkiler Üzerinde Etkileri”, *Iğdır Üniversitesi Alinteri Dergisi* 17, 14-16.

Okuda, T., Kato, J., Mori, J., Tenmoku, M., Suda, Y., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Yang, F., Yu, X., Duan, F., Le Y., (2004), “Daily concentrations of trace metals in aerosols in Beijing, China, determined by using inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with laser ablation analysis, and source identification of aerosols” *Science of The Total Environment*, 330 (1-33), 145-158.

Onat B., Sahin U. A., Akyuz T., (2013), “Elemental characterization of PM2.5 and PM1 in dense traffic area in Istanbul, Turkey”, *Atmospheric Pollution Research*, 4(1), 101–105.

Önder S., (2012), “Atıksular ile Sulanan Zirai Alanlardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.*

Özkan G., (2009), “Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi ve Muallimköy’de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği”, *Yüksek Lisans Tezi, GYTE.*

Öztürk F., Keleş M., (2016), “Wintertime chemical compositions of coarse and fine fractions of particulate matter in Bolu, Turkey”, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(14), 14157–14172.

Pekey H., (2006), “The distribution and sources of heavy metals in Izmit by surface sediments affected by a polluted stream”, *Marine Pollution Bulletin*, 52(10), 1197–1208.

R. D. R. Harter, R. Naidu, (1995), “Role of metal–organic complexation in metal sorption by soils”, *Adv. Agron.*, 55, 219 – 264.

Rether A., (2002), “Entwicklung und Charakterisierung wasserlöslicher Benzoylthioharnstofffunktionalisierter Polymere zur selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwässern und Prozesslösungen”, Doktora Tezi, Münih Teknik Üniversitesi.

Rizki, N., Asrin, N., Dipareza, A., (2019), “Microplastics in ambient air (Case Study: urip sumoharjo street and mayjend Sungkono street of Surabaya city, Indonesia)”, *Laetsd. J. Adv. Res. Appl. Sci.* 54–57.

Rose M.T., Cavagnaro T.R., Scanlan C.A., Rose T.J., Vancov T., Kimber S., Kennedy I.R, Kookana R.S, Van Zwieten L, (2016), “Impact of herbicides on Soil Biology and Function”, *Advances in Agronomy*, 136, 133-220.

Royer, S. J., Ferrón, S., Wilson, S. T., Karl, D. M., (2018), “Production of methane and ethylene from plastic in the environment ”, *PLoS ONE*, 13(8), 1–14.

S. L. McGowen, N. T. Basta, G. O. Brown, (2001), “Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal solubility and transport in smelter-contaminated soil”, *J. Environ. Qual.*, 30, 493 – 500.

Salameh D., Detournay A., Pey J., Pérez N., Liguori F., Saraga D., Bove M. C., Brotto P., Cassola F., Massabò D., Latella A., Pillon S., Formenton G., Patti S., Armengaud A., Piga D., Jaffrezo L., Bartzis J., Tolis E., Prati P., Querol X., Wortham H., Marchand N., (2015), “PM2.5 Chemical composition in five European Mediterranean cities: A 1-Year Study”, *Atmospheric Research*, 155, 102–117.

Salma L., Maenhaut W., Zaray G., (2002) “Comperative study of elemental mass size distributions in urban atmospheric aerosols”, *Aerosol Science*, 33, 339-356.

Sezgin N., Ozcan H.K., Demir G., Nemlioglu S., Bayat C., (2003), “Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway”, *Environ Int*, 29, 979–85.

Silva A.B., Ana S.B., Celine I.J., Costa J.P., Duarte A.C., Rocha-Santos T.A., (2018), “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry”, *Analytica Chimica Acta*, 1017, 1-19.

Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. A. P., (2018), “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review”, *Analytica Chimica Acta*, 1017, 1–19.

Soleimani M., Amini N., Sadeghian B., Wang D., Fang L., (2018), “Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM2.5) in Isfahan city, Iran”, *Journal of Environmental Sciences*, 72, 166–175.

Song Y.K., Hong S.H., Jang M., Han G.M., Rania M., Lee J., Shim W.J., (2015), “A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples”, *Marine Pollution Bulletin*, 202-209.

Soydemir E., (2013), “Katı Örneklemeli Yüksek Çözünürlüklü Elektrotermal Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi İle 2,5 PM Hava Partiküllerinde Civa Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Tagg A.S., Sapp M., Harrison J.P., Ojeda J.J., (2015), “Identification and quantification of microplastics in wastewater using focal plane array-based reflectance micro-FT-IR imaging”, *Analytical Chemistry*, 87, 6032-6040.

Tuğrul D., (2004), “Kerpe Araştırma Ormanı Radiata Çamı (*Pinus radiata* D. Don) İbrelerinde Bazı Ağır Elementlerin Tespiti”, Çevre ve Orman Bakanlığı, Yayın No: 214.

Tunahan Kaya, A., Yurtsever, M., Çiftçi Bayraktar, S., (2018). “Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air”, *Eur. Phys. J.*, 133.

Tüzen M., (2003), Investigation of heavy metal levels in street dust samples in Tokat, Turkey. *J Trace Microprobe Tech*, 21, 513–21.

Ventura L.M.B., Mateus V.L., De Almeida A. C.S.L., Wanderley K.B., Taira F.T., Saint’Pierre T.D., Gioda A., (2017), “Chemical composition of fine particles (PM_{2.5}): Water-soluble organic fraction and trace metals”, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 10(7), 845–852.

Wang W., Ndungu A.W., Li Z., Wang J., (2017), “Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China.”, *Science of the Total Environment*, 575, 1369-1374.

Wright S.L., Ulke, J., Font, A., Chan, K.L.A., Kelly, F.J., (2020), “Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport”, *Environ. Int.*, 136, 105411

Yurtsever M., (2015), “Mikroplastiklere genel bir B-bakış (Microplastics: an Overview)” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* , 17(50), 68–83.

Zhang K., Su J., Xiong X., Wu X., Wu C., Liu J., (2016), “Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet plateau, China”, *Environmental Pollution*, vol. 219, pp. 450-455.

Zhang Y.L., Cao F., (2015), “Fine particulate matter (PM_{2.5}) in China at a city level”, *Scientific Reports*, 5, 1–12

ÖZGEÇMİŞ

2012 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü 2018 yılında tamamladı. 2018-2019 Bahar döneminde yüksek lisans eğitime Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında başladı.

