



**BAYBURT KENT ATMOSFERİNDEKİ İRİ MOD
PARTİKÜL MADDE (PM10) VE İNCE MOD
PARTİKÜL MADDELERİN (PM2,5)
KONSANTRASYON VE
KARAKTERİZASYONLARININ BELİRLENMESİ**

İbrahim PAMUK

Yüksek Lisans Tezi

İklim Değişikliği ve Politikaları

Ana Bilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALOLUOĞLU

2026

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE POLİTİKALARI ANA BİLİM DALI
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE POLİTİKALARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

BAYBURT KENT ATMOSFERİNDEKİ İRİ MOD PARTİKÜL MADDE (PM10)
VE İNCE MOD PARTİKÜL MADDELERİN (PM2,5) KONSANTRASYON VE
KARAKTERİZASYONLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim PAMUK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALOLUOĞLU

BAYBURT - 2026

KABUL VE ONAY

Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALOLUOĞLU danışmanlığında, İbrahim PAMUK tarafından hazırlanan “Bayburt Kent Atmosferindeki İri Mod Partikül Madde (PM10) ve İnce Mod Partikül Maddelerin (PM2,5) Konsantrasyon ve Karakterizasyonlarının Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, 16.01.2026 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fatih GÜRBÜZ

Üye : Doç. Dr. Serkan BAYAR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALOLUOĞLU

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bünyamin ALİM
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bayburt üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALOLUOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “Bayburt Kent Atmosferindeki İri Mod Partikül Madde (PM10) ve İnce Mod Partikül Maddelerin (PM2,5) Konsantrasyon ve Karakterizasyonlarının Belirlenmesi” başlıklı program seçin tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

10.01.2026

İbrahim PAMUK



ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasının planlanması, takip edilmesi ve tamamlanmasında bilgisini, tecrübesini ve akademik desteği ile her aşamasında samimi desteğini esirgemeyen; ayrıca bilimsel açıdan yol gösterici bilgileri ve motive edici anlayışlı tutumu ile tez çalışmama oldukça önemli destek ve katkı sağlayan danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Cihan PALOLUOĞLU'na en içten gelen samimi duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Örnekleme çalışmalarımın başlangıcından beri örnekleme uygulamalarının planlanması, laboratuvar ortamında yapılan tüm çalışmalar ile gravimetrik analiz yöntemlerinde kullanılan tüm malzemelerin temin edilmesinde, analiz işlemlerinin sağlıklı hesaplanmasında, hatta sonuçların yorumlanmasında bana verdiği oldukça kıymetli bilimsel bilgisi ve tecrübeli katkıları için danışman hocama burdan bir kez daha ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma, “Bayburt İli Baberti Kampüsünde Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi Kullanarak Kaba/İnce Mod Partiküller (TSP ve PM_{2,5}) ve Ağır Metallerin Konsantrasyonları ile Karakterizasyonları Belirlenerek, Meteorolojik Faktörler ile İlişkilendirilmesi” başlıklı, 2024/69008-1 numaralı Katılımlı Araştırma Projesinde (KAP), hem Atatürk üniversitesinden hem de Bayburt üniversitesinden sağlanan maddi destekler ile alınan filtreler, kullanılan cihazları ve diğer malzeme ve ekipmanlar desteği ile gerçekleşmiştir. Tez çalışmamın tamamlanmasına sağladıkları bu kıymetli desteklerinden dolayı Bayburt üniversitesine ve Atatürk üniversitesine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca laboratuvarında birlikte çalıştığım, tüm BUMER birimi Uzman personel ekip arkadaşlarımdan da samimi emek ve özveri ile her konuda sağladıkları yardımlarından dolayı teşekkürlerimi ayrı ayrı herbirine sunarım.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme, eşime, ve çocuğuma en içten teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim PAMUK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAYBURT KENT ATMOSFERİNDEKİ İRİ MOD PARTİKÜL MADDE (PM10) VE İNCE MOD PARTİKÜL MADDELERİN (PM2,5) KONSANTRASYON VE KARAKTERİZASYONLARININ BELİRLENMESİ

İbrahim PAMUK

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İklim Değişikliği ve Politikaları Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALOLUOĞLU

Bayburt-2026, Sayfa: 109

Bu çalışma, Bayburt ili sınırları içinde yer alan yarı-kentsel bir alanda bulunan Baberti kampüsünde kaba mod toplam askıda partikül maddeler (TSP / PM10) ve ince mod partikül maddelerin (PM2,5) varlıklarının tesbiti, konsantrasyonlarının hesaplanması ve karakterizasyonlarının detaylandırması amaçlanmıştır. Bayburt ilinde yapılan bu çalışmada iki adet Techora marka High-Volume cihaz (yüksek hacimli hava örnekleyicisi: YHHÖ) kullanılarak aktif örnekleme yöntemi yapılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda Baberti atmosferindeki iri mod partikül maddeleri (PM'ler) tutmak için TSP / PM10 başlıklı YHHÖ kullanılmıştır. İnce mod PM'lerin tutulması içinde PM2,5 başlıklı YHHÖ kullanılmıştır. Örnekleme çalışması aynı noktada ve eş zamanlı olarak zamansal ve mevsimsel yapılmıştır. Ayrıca çalışmada günlük olarak 24 saatte bir PM'leri üzerinde tutan cam fiber filtreler (GFF) kullanılmıştır. Mevsimsel olarak iki ay yaz ve ardından da iki ay kış sezonlarında örnekleme yapılmıştır. Örnekleme çalışmalarından toplanan filtreler laboratuvar ortamına getirilerek muhafaza edilmiştir. Daha sonra uygun laboratuvar çalışmaları, gravimetrik analiz yöntemleri ile PM'lerin konsantrasyon hesaplamaları yapılmıştır. Aynı zamanda PM'lerin karakterizasyonlarının belirlenmesinde, ayrı ayrı Meteorolojik faktörlerle etkileşimli ilişkileri istatistiksel ve bunları gösteren grafiksel yöntemler ile açıklanmıştır. Böylece PM'lerin varlığı, konsantrasyonları ve karakterizasyonlarının tesbiti başarılı bir şekilde yapılmıştır. Sonuç olarak, Bayburt kent atmosferinde PM2,5 ve PM10 açısından, benzer literatür çalışmaları ile kıyaslanıp, yorumlarla tartışılıp, genel sonuçlara varılmıştır.

Bu çalışmada Baberti kampüsünden elde edilen verilere göre; kış aylarında atmosferik partikül fazdaki PM2,5'lerin ortalama konsantrasyonu $28,80 \pm 30,48 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Yaz aylarında ise $54,18 \pm 36,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Mevsimsel ve zamansal ortalamalar değerlendirildiğinde PM2,5 için genel yıllık ortalama konsantrasyonun $41,74 \pm 35,69 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu görülmüştür. Benzer şekilde PM10'ların kış aylarında $36,03 \pm 29,95 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenirken, yaz aylarında ise $61,87 \pm 38,91 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak ortalama konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Yıl boyunca PM10'ların genel ortalaması ise $48,75 \pm 36,86 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak tespit edilmiştir. Meteorolojik parametreler, özellikle sıcaklık, yağış miktarı ve rüzgâr hızının, PM2,5

ve PM10 konsantrasyonları üzerinde pozitif veya negatif yönde anlamlı etkiler oluşturduğu saptanmıştır.

Araştırma sonuçları, Baberti kampüsü atmosferinin PM2,5 ve PM10'lar açısından birçok büyük kentsel alana kıyasla daha düşük, benzer alanlara göre yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda belirlenen bu değerler ile temiz hava kalitesi sınırlarında yer aldığını göstermektedir. Bu kapsamda elde edilen bulgular, bölgenin mevcut atmosferik yapısının izlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Aynı zamanda bu verilerin eldesi ile gelecekteki karşılaştırmalı çalışmalar ve hava kalitesi politikalarına ışık tutması açısından önemli bir ilk başlangıç basamağı şeklinde katkı sağladığına inanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: TSP, PM10, PM2,5, partitikül madde, gravimetrik analiz, aktif örnekleme, meteorolojik etki, Bayburt.



ABSTRACT

M. SC. THESIS

DETERMINATION OF THE CONCENTRATION AND CHARACTERIZATION OF LARGE MODE PARTICLE MATTER (PM10) AND FINE MODE PARTICLE MATTER (PM2,5) IN THE ATMOSPHERE OF BAYBURT CITY

İbrahim PAMUK

Bayburt University

Institute of Graduate Studies

Department of Climate Change and Policies

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Cihan PALOLUOĞLU

Bayburt-2026, Pages: 109

This study aimed to detect the presence of coarse mode total suspended particulate matter (TSP/PM10) and fine mode particulate matter (PM2,5) in the Baberti campus, located in a semi-urban area within the boundaries of Bayburt province, to calculate their concentrations, and to detail their characterization. In this study conducted in Bayburt province, active sampling was performed using two Techora brand High-Volume devices (high-volume air samplers: HVAS). To this end, HVAS with TSP/PM10 heads were used to capture coarse particulate matter (PM) in the Baberti atmosphere. A YHHÖ labeled PM2,5 was used to capture fine-mode PM. The sampling study was conducted at the same point and simultaneously on a temporal and seasonal basis. In addition, glass fiber filters (GFF) that capture PM were used daily, once every 24 hours. Sampling was conducted seasonally for two months in summer and then for two months in winter. After sampling, the collected filters were brought to the laboratory environment and stored. Subsequently, appropriate laboratory studies and gravimetric analysis methods were used to calculate PM concentrations. At the same time, the characterization of PMs was determined by explaining their interactive relationships with separate meteorological factors using statistical and graphical methods. Thus, the presence, concentrations, and characterization of PM were successfully determined. As a result, the Bayburt city atmosphere was compared with similar literature studies in terms of PM2,5 and PM10, the findings were discussed, and general conclusions were reached.

In this study, based on data obtained from the Baberti campus, the average concentration of PM2,5 atmospheric particulate matter during the winter months was determined to be $28.80 \pm 30.48 \mu\text{g m}^{-3}$. In the summer months, it was found to be $54.18 \pm 36.25 \mu\text{g m}^{-3}$. When seasonal and temporal averages were evaluated, the general annual average concentration for PM2,5 was found to be $41.74 \pm 35.69 \mu\text{g m}^{-3}$. Similarly, the average concentration values for PM10 were measured as $36.03 \pm 29.95 \mu\text{g m}^{-3}$ in winter and $61.87 \pm 38.91 \mu\text{g m}^{-3}$ in summer. The overall average for PM10 throughout the year was determined to be $48.75 \pm 36.86 \mu\text{g m}^{-3}$.

Meteorological parameters, particularly temperature, precipitation, and wind speed, were found to have significant positive or negative effects on PM_{2,5} and PM₁₀ concentrations.

Research results show that the Baberti campus atmosphere has lower PM_{2,5} and PM₁₀ levels compared to many large urban areas, but higher levels than similar areas. At the same time, these determined values indicate that the air quality is within clean air quality limits. The findings obtained in this context reveal the need to monitor the region's current atmospheric structure. Furthermore, it is believed that the acquisition of these data provides an important first step in contributing to future comparative studies and informing air quality policies.

Keywords: TSP, PM₁₀, PM_{2,5}, particulate matter, gravimetric analysis, active sampling, meteorological effect, Bayburt.



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	II
BEYANNAME	III
ÖN SÖZ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
İÇİNDEKİLER	IX
TABLOLAR	XII
ŞEKİLLER	XIII
KISALTMALAR	XIV
SİMGELER	XV
GİRİŞ	1
Araştırmanın Konusu ve Problemi	6
Araştırmanın Amacı	7
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi	8
Araştırmanın Sınırlılıkları	8
Varsayımlar	9
Terim ve Tanımları	9
BİRİNCİ BÖLÜM	11
1. KURAMSAL ÇERÇEVE	11
1.1. HAVA KİRLİLİĞİ VE TARİHSEL GELİŞİMLERİ	11
1.2. HAVA KİRLİLİĞİNE SEBEP OLAN BAŞLICA TEMEL HAVA KİRLİTİCİLERİ	13
1.2.1. Gaz Fazındaki Kirleticiler	13
1.2.1.1. Karbon monoksit (CO)	13
1.2.1.2. Karbon dioksit (CO ₂)	14
1.2.1.3. Azot oksitler (NO _x : NO / NO ₂)	14
1.2.1.4. Kükürt oksitler (SO _x ; SO ₂)	14
1.2.1.5. Ozon (O ₃)	14
1.2.1.6. Uçucu organik bileşikler (VOC'ler)	14
1.2.2 Partikül Maddeler (PM'ler)	15
1.2.2.1. PM'lerin aerosol kavramı	15
1.2.2.2. PM'lerin fiziksel özellikleri (Boyutları)	15
1.2.2.3. PM'lerin kaynakları ve oluşumları	16
1.2.2.4. PM'lerin taşınimleri ve kimyasal yapıları	17
1.3. PARTİKÜL MADDELERE BAĞLI AĞIR METALLER	18
1.3.1. PM'lere Bağlı Ağır Metaller ve Atmosferik Koşullardaki Davranışları	18
1.3.2. PM'lere Bağlı Ağır Metallerin Sağlık Üzerine Etkileri	19
1.4. METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN PARTİKÜL MADDELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	21
1.4.1. Sıcaklık	21
1.4.2. Bağıl Nem	21
1.4.3. Rüzgar Hızı ve Rüzgar Yönü	22
1.4.4. Yağışlar	22

1.5. HAVA KALİTESİNİN İZLENMESİ VE BELİRLEYİCİ KÜRESEL STANDARTLAR	23
1.5.1. WHO (Dünya Sağlık Örgütü) Sınır Değerleri	23
1.5.2. Avrupa birliği (AB) Sınır Değerleri	23
1.5.3. Türkiye için Hava Kalitesi Sınır Dğerleri	24
1.5.4. Hava Kalitesi İndeksi (AQI).....	24
1.6. TÜRKİYE ATMOSFERİNDEKİ HAVA KİRLİLİĞİ VE UYGULANAN YASAL DÜZENLEMELER.....	25
1.7. BAYBURT İLİNİN ATMOSFERİK YAPISI VE BÖLGESEL KİRLİLİK DAĞILIMLARI.....	27
1.7.1. Baberti Kampüsü'nün Atmosferik Yapısı ve Coğrafik Konumu.....	28
1.7.2. Çalışma Konusunun Bilimsel Açıdan Literatüre Katkısı	28
İKİNCİ BÖLÜM	30
2. YÖNTEM	30
2.1. ÖRNEKLEME ÇALIŞMA PROGRAMI	30
2.1.1. Bayburt İlının Demografik Yapısı.....	30
2.1.2. Bayburt İlının Meteorolojik Yapısı	32
2.1.3. Bayburt İlının Karakteristik Hava Kirliliği ve Özellikleri.....	33
2.1.4. Örneklem Çalışmaları, Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar	34
2.1.5. Örneklem Yöntemi ve Kullanılan Cihazlar	38
2.1.6. YHHÖ (Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi).....	39
2.1.7. Örneklem Çalışmaları ve Meteorolojik Veriler	39
2.1.8. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Hazırlanma Şekilleri	44
2.2. LABORATUVAR BASAMAKLARI.....	44
2.2.1. Laboratuvar Çalışmaları	44
2.3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	45
2.4. ÇALIŞMA GRUBU / KATILIMCILARI.....	46
2.5. VERİ TOPLAMA TEKNİKLERİ.....	47
2.5.1. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi (YHHÖ).....	47
2.6. VERİLERİN ANALİZİ	47
2.6.1. Partikül Madde (PM) Konsantrasyonlarının Hesaplanması	48
2.6.2. Meteorolojik Parametrelerle İlişki Analizleri.....	48
2.7. ÖRNEKLEME SONUÇLARININ VE ANALİZLEMELERİN GEÇERLİLİĞİ VE GÜVENİRLİĞİ.....	49
2.7.1. Cihazların Kalibrasyon Ayarı ve Debi Kontrolleri.....	49
2.7.2. Hassas Terazide Tartım Çalışmalarının Güvenirliği	49
2.7.3. Meteorolojik Verilerin Doğrulanması	49
2.7.4. Etik kurallarına ve Bilimsel Güvenilirliğe Bağlılık.....	49
2.8. ARAŞTIRMACININ ROLÜ	50
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	51
3. BULGULAR	51
3.1. PM'LERİN KONSANTRASYONLARININ HESAPLANMASINDA YAPILAN İŞLEMLER	52
3.1.1. PM10 ve PM2,5'ların Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	52
3.1.2. Aktif Örneklem Yöntemi ile Atmosferik Örneklem, Baberti Bölgesi	52
3.1.3. Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi (Kış Mevsimi)	53

3.1.5. Atmosferik PM Konsantrasyonları (Yaz Mevsimi: PM _{2,5} ve PM ₁₀)	68
3.1.6. Kış ve Yaz Mevsimine Ait PM _{2,5} ve PM ₁₀ Konsantrasyonlarının Bilimsel Açıdan Karşılaştırılarak Değerlendirmesi	70
3.2. PM'LERİN KONSANTRASYONLARINA METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN ETKİSİ	72
3.2.1. PM _{2,5} ve PM ₁₀ 'lara Meteorolojik Faktörlerin Etkisi; Kış Mevsimi.....	72
3.2.2. Kış Ayları için PM _{2,5} ve PM ₁₀ 'ların Konsantrasyonlarına Etki Eden Meteorolojik Faktörlerin Etkisilerinin Ortak Değerlendirmesi (Sıcaklık, Yağış ve Rüzgar Hızı Bak.)	79
3.2.2.1. Sıcaklığın PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi.....	79
3.2.2.2. Yağışların PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi	79
3.2.2.3. Rüzgâr Hızının PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi	80
3.2.3. PM _{2,5} ve PM ₁₀ 'ların Konsantrasyonlarına Meteorolojik Faktörlerin Etkisi, Yaz Mevsimi	81
3.2.3.1. Sıcaklığın PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi (yaz)	82
3.2.3.2. Yağışların PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi (yaz)	86
3.2.3.3. Rüzgar hızının PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi (yaz)	88
3.2.4. Yaz Ayları için PM _{2,5} ve PM ₁₀ 'ların Konsantrasyonlarına Etki Eden Meteorolojik Faktörlerin Etkilerinin Ortak Değerlendirmesi (Sıcaklık, Yağış ve Rüzgar Hızı Bak.)	91
3.2.4.1. Sıcaklığın PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi.....	92
3.2.4.2. Yağışların PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi	92
3.2.4.3. Rüzgar hızının PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi	93
3.2.5. Kış ve Yaz Mevsimlerinde PM _{2,5} ve PM ₁₀ Konsantrasyonlarının Meteorolojik Faktörlerle Olan İlişkilerinin Ortak Değerlendirilmesi.....	94
SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	98
KAYNAKÇA.....	104
ÖZ GEÇMİŞ	109

TABLÖLAR

Tablo 1: PM'lerin Boyut ve Özellikleri.....	16
Tablo 2: Bazı Ağır Metallerin Sağlık Üzerine Etkileri ve Riskleri	19
Tablo 3: PM'lere Ait Çalışma Takvimi ve Meteorolojik Veriler (Kış Mevsimi)	40
Tablo 4: PM'lere Ait Çalışma Takvimi ve Meteorolojik Veriler (Yaz Mevsimi).....	42
Tablo 5: Kış Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM _{2,5} Konsantrasyonları.....	53
Tablo 6: Kış Mevsimine ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM ₁₀ 'ların Konsantrasyonları	55
Tablo 7: Yaz Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM _{2,5} Konsantrasyonları.....	58
Tablo 8: Yaz Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM ₁₀ 'ların Konsantrasyonları	60
Tablo 9: Kışın Meteorolojik Faktörlerin PM'lerin Konsantrasyonlarına Etkisinin Özet Durumu	81
Tablo 10: PM _{2,5} ve PM ₁₀ 'lara Meteorolojik Faktörlerin Etkisinin Özet Gösterimi	96

ŞEKİLLER

Şekil 1: Hava Kirliliği ve Hava Kirleticileri	13
Şekil 2: Doğal ve Antropojenik Kaynaklardan Atılan Bazı Hava Kirleticileri.....	15
Şekil 4: PM’lerin Kaynak Görüntüleri.....	17
Şekil 5: Boyutlarına göre PM’lerin Etkileri.....	18
Şekil 6: Bazı Önemli Ağır Metaller	19
Şekil 7: PM’ler Bağlanabilen Ağır Metallerin Sağlık Üzerine Bazı Zararları.....	20
Şekil 8: Türkiye’de İllere Göre PM _{2,5} Hava Kirliliğini Gösteren Örnek Hava Kalitesi Endeksi (AQI)	25
Şekil 9: Bayburt Fiziki İl Haritası	32
Şekil 10: Bayburt Kent Merkezine Ait Son 65 (1959-2024) Yıllık Ortalama Meteorolojik Parametreler.....	33
Şekil 11: Çalışmanın Yapıldığı Bölge ve Örnekleme Noktası	36
Şekil 12: Örnekleme Noktasında Kullanılan PM ₁₀ ve PM _{2,5} Başlıklı YHHÖ Cihazları	36
Şekil 13: Çalışmada Kullanılan PM ₁₀ ve PM _{2,5} Başlıklı YHHÖ Cihazların Örnekleme Noktasındaki Mevsimsel Görüntüleri.....	38
Şekil 14: YHHÖ İç ve Dış Kısma ait Detaylı Kesiti	39
Şekil 15: GFF’lerin Saklandığı Desikatör Kab Ortamı.....	44
Şekil 16: Analiz İşlemleri İçin Laboratuvar Çalışması ve Kullanılan Cihaz	45
Şekil 17: PM _{2,5} Konsantrasyonları (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	66
Şekil 18: PM ₁₀ Konsantrasyonları (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	66
Şekil 19: PM _{2,5} Konsantrasyonları (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	69
Şekil 20: PM ₁₀ Konsantrasyonları (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	70
Şekil 21: Sıcaklık - PM _{2,5} Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri) ..	74
Şekil 22: Sıcaklık – PM ₁₀ Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)...	74
Şekil 23: Yağış - PM _{2,5} Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	76
Şekil 24: Yağış - PM ₁₀ Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	76
Şekil 25: Rüzgâr Hızı - PM _{2,5} Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	78
Şekil 26: Rüzgâr Hızı - PM ₁₀ Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	78
Şekil 27: Sıcaklık - PM _{2,5} Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri) ..	85
Şekil 28: Sıcaklık - PM ₁₀ Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri) ..	86
Şekil 29: Yağış - PM _{2,5} Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	88
Şekil 30: Yağış - PM ₁₀ Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	88
Şekil 31: Rüzgar Hızı - PM _{2,5} Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	91
Şekil 32: Rüzgar Hızı - PM ₁₀ Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)	91
Şekil 33: PM _{2,5} Konsantrasyonları (Zamansal ve Mevsimsel: Kış + Yaz)	96
Şekil 34: PM ₁₀ Konsantrasyonları (Zamansal ve Mevsimsel: Kış + Yaz)	97

KISALTMALAR

AQI	: Air Quality Index (Hava Kalitesi İndeksi)
BUMER	: Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektroskopisi
GFF	: Cam Fiber Filtre
GC-MS	: Gaz Kromatografisi–Kütle Spektrometresi
ICP-MS	: Endüktif Eşleşmiş Plazma–Kütle Spektrometresi
NO_x	: Azot oksitler (NO ve NO ₂)
IAQ	: Hava Kalitesi İndeksi
O₃	: Ozon
PAH	: Poliaromatik Hidrokarbon
PM	: Partikül Madde
PM_{2,5}	: 2,5 µm’den Küçük Aerodinamik Çapa Sahip Partikül Madde
PM₁₀	: 10 µm’den Küçük Aerodinamik Çapa Sahip Partikül Madde
QA/QC	: Quality Assurance / Quality Control (Kalite Güvence / Kalite Kontrol)
SO₂	: Kükürt Dioksit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
TSP	: Total Suspended Particulate (Toplam Askıda Partikül)
THHKY	: Türkiye Hava Kalitesini Kontrol Yönetmeliği
TÜPRAŞ	: Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
UVS	: Uzun Vadeli Sınır Değeri
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
YHHÖ	: Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi

SİMGELER

° C	: derece Celsius
%	: yüzde
µg m⁻³	: mikrogram/metreküp
km	: kilometre
m	: metre
m s⁻¹	: metre/saniye
µm	: mikrometre
p	: korelasyon katsayısı / anlamlılık



GİRİŞ

Hava kirliliği, günümüz dünyasında canlı ve cansız çevre üzerinde ciddi zararlı etkileri olan çevresel bir sorundur. Özellikle 2. Dünya savaşıdan sonra hızlı bir şekilde artan sanayi, kent modelleri, aşırı enerjiye olan ihtiyaç ve nihayetinde meydana gelen iklim değişiklikleri neticesinde dış ortam havasında ve atmosferde ciddi manada hava kirlleticilerinin konsantrasyonlarını artırmaktadır. Hemen hemen her proses çalışmalarında ortama salınabilen partikül maddeler (PM'ler) fiziksel, kimyasal özelliklerinden ve atmosferde uzun süre askıda kalabilmelerinden dolayı, son yıllarda hava kalitesi araştırmalarında ve çalışmalarında bir çok kurum ve bilim insanlarının odak noktası olmuştur (Liu Wu 2020; Tao vd., 2020; Gutierrez vd., 2022; Ahmed vd., 2024). Özellikle ince mod PM'lerin (2 mikro metre (μm) çapında olanlar ve daha küçükleri) burun kıllarındanda geçerek rahatlıkla solunabilmektedir. Böylece akciğer bronşlarına kadar inip hem akciğer hastalıklarına hem de kalp ve damar rahatsızlıklarına kadar olumsuz etkiler göstermektedir (Okoye vd., 2021; Dobut vd., 2024). Aynı zamanda PM'ler atmosfere salınan ağır metaller gibi toksik elementlerle ya da kanserojen etki yapabilen organik kirleticiler ile bağ yapıp birlikte solunduklarında da, insan sağlığı açısından tamiri zor ciddi hastalıklara sebep olabilmektedir (Salomao vd., 2021; Jaaffar vd., 2024; He vd., 2024). Yapılan bir çok araştırma göstermiştir ki ince mod PM'lerin yoğun konsantrasyonlarına maruz kalan insanlarda erken ölümler olmaktadır (Pope ve Dockery, 2006; He vd., 2024; Zhao vd., 2024). Aynı zamanda Türkiyede bulunan bir çok şehirde PM konsantrasyon seviyelerinin uluslararası sınır değerlerin üzerinde olduğunu da bu araştırmacılar tarafından açıklanmaktadır.

Farklı kaynaklardan atmosfere salınan PM'ler, fiziksel, kimyasal ve meteorolojik faktörlere bağlı olarak farklı boyut ve özelliklerde bulunabilmektedirler. Kaba mod olarak nitelendirilen PM'ler genellikle PM₁₀ olarak adlandırılırlar ve bunlarda 10 μm ve altındaki parçacıklardır. Aynı zamanda PM₁₀'lar genellikle mekanik parçalanma süreçlerinden oluşmaktadır. Bu boyutlardaki PM'ler kısa mesafeli taşınımalarla, atmosferde kalış süreleri kısa olan PM'lerdir. Diğer taraftan ince mod olarak nitelendirilen PM'ler ise, PM_{2,5} ya da PM₁ olarak adlandırılırlar. Bunlardan PM_{2,5}'lar 2,5 μm ve 2,5 μm altında olan parçacıklardır. Bu boyuttaki PM_{2,5}'lar ise uzun menzilli taşınıp atmosferdeki askıda kalma süreçleri daha uzun olan PM'lerdir. Genellikle yanma süreçlerinden oluşup atmosfere doğrudan salınmaktadırlar (Gholami vd., 2019; Zhang vd., 2022). PM_{2,5} ve ultra ince mod PM'ler (PM₁) çapları çok küçük olduğundan akciğerlere hatta akciğer alveollerine, bronşlarına kadar taşınabilmektedirler (Yang vd., 2022; Huang vd., 2023). Bunlarla birlikte atmosferdeki tüm askıda partikülleride TSP (Toplam Askıda Partikül Madde) olarak adlandırılmaktadır. TSP'lerde en çok bölgesel kirlilik kaynaklarına büyük oranda katkı sağlamaktadırlar. PM'lerin bu fiziki özelliklerinden

başka kendi bünyelerinde tutabildikleri ağır metaller ve organiklerde ayrıca önem taşımaktadır. Atmosferde bazı elementler ile Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb), Krom (Cr) gibi metallerde oldukça toksik etki gösterebilmektedirler. Ayrıca bu metal ya da ağır metaller insan vücuduna girdiğinde biyolojik birikimler de yapabilmektedirler (Xie vd., 2023; Shi vd., 2024).

Diğer taraftan meteorolojik faktörler açısından bu konu incelenecek olursa başta sıcaklık, yağış, rüzgar gibi parametreler atmosfere salınan hava kirleticilerinin taşınımını hatta dağılımlarını doğrudan etkilemektedir (Saeedi vd., 2024; Ahmed vd., 2024). Özellikle sıcaklıkların değişkenliği, oluşan inversiyon tabakaları, rüzgarların şiddetli esmeleri ve hakim rüzgar yönlerinin oluşturduğu rüzgar koridorları ayrıca yağış gibi önemli meteorolojik faktörler tüm PM'lerin taşınım şekillerini ya da atmosferdeki kalma / yarılanma sürelerini belirleyen oldukça önemli ana faktörlerdir. Bu sebepten hava kirleticilerin atmosferik konsantrasyonlarını belirlemede meteorolojik faktörler ile birlikte değerlendirilmesi zorunlu bir gerekçe olmaktadır (Liu vd., 2020; Jitkajornwanich vd., 2024).

Diğer taraftan Atmosferdeki PM_{2,5} ve PM₁₀'ların zararlı etkileri, sadece insan sağlığı üzerinde değil, aynı zamanda ekosistemler üzerinde de ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu kirleticilerin azaltılması ve kontrol altına alınması için ortak / bütüncül mühendislik çalışmaları yapılmalıdır. Aynı zamanda farklı disiplinler arasında farklı stratejiler geliştirilebilir (Gonçalves vd., 2022; Mao vd., 2011). Hava kirliliğini önlemeye yönelik en etkili adımlardan biri de PM_{2,5} ve PM₁₀ emisyonlarını kaynağında azaltmaktır. Aynı zamanda bu emisyonların atmosferdeki sınır değerlerini de sınırlamak oldukça elzem konulardandır. Özellikle endüstriyel çalışmalardan, ulaşım, trafik ve konut gibi oluşumlardan salınan emisyonlara ve bunların içindeki ısınma kaynaklı salınan emisyonlara oldukça dikkat edilmelidir. Ayrıca bu hava kirletici emisyonları, belirlenen sınır değerleri aşmaması için sürekli ölçüm ve ilgili kurumlarca denetlenmeleri gerekmektedir (Boateng vd., 2019; Xiao vd., 2022). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgar, biyokütle gibi) sayıları artırılmalı ve ortak siyasi politikalarda geliştirilmelidir. Aynı zamanda otomotiv sektöründe son zamanlarda güncel konulardan olan elektrikli araçların sayıları ve kullanımlarının artması için teşvik çalışmaları yapılmalıdır. Böylece çoğusu fosil yakıt tüketiminden kaynaklı atmosferik PM ve PM'lere bağlı ağır metaller ya da PM'lere bağlı hidrokarbon gruplarının önemli ölçüde atmosferdeki varlıkları ve konsantrasyonları düşürülecektir. Ayrıca bu tarz PM emisyonlarının yanma süreçleri kaynağa iyice azaltılması gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen tüm bu takviye çabalar nesticesinde illaki PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında gözlenebilen düşüşler olacaktır. Aynı zamanda bu durum hava kalitesinin kirli hali öncesinden daha fazla iyileşmesine katkı sağlayacaktır. Diğer taraftan, hava kalitesinin ilgili kurum ve bilim insanları tarafından düzenli olarak takip edilmesi de gerekmektedir (Kara vd., 2015). Bunlarla birlikte kirletici

seviyeleri anlık olarak takip edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, kaynakta giderim çalışmalarının yapılması ve ölçüm takiplerinin planlanması ile PM'lerin emisyonlarının azaltılmasında önemli sonuçlar sağlanmış olacaktır. Ayrıca PM'lerin kaynakta önleme planlarının artırılarak uygulanması, çevresel yönetim açısından da oldukça önemli bir süreç meydana getirmiş olacaktır. Bu durumda hava kirliliği ile ilgili alınan mücadelede sadece teknik çözümler kullanılmamalıdır. Aynı zamanda sosyo ekonomiden tutun her bir bireye kadar inerek, toplumun tüm fertlerinde farkındalık oluşturacak eğitimlerin verilmesi de oldukça hava kirleticileri ile mücadelede başarı getireceğine inanılmaktadır. Özellikle kamu kurum ve kuruluşların, PM_{2,5} ve PM₁₀'lara maruz kalınması durumunda kısa ya da uzun vadeli sağlık üzerine olabilecek zararlı etkilerinin neler olduğunu bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Bölge halkına hatta toplumların tüm nüfusuna hava kirleticileri ve etkileri konusunda verilecek eğitimler sayesinde, hava kalitesinin korunmasına doğrudan katkı sağlanmış olacaktır (Ediagbonya vd., 2014; Dobut vd., 2024).

Sonuç olarak, atmosferik PM'lerin insan sağlığı ve çevresi açısından ciddi zararlı etkileri bulunmaktadır. Bu kapsamda, başta temiz teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca yasal düzenlemelerin etkin bir şekilde uygulanması da önemli etken faktörlerden olacaktır. Diğer taraftan kamu bilincinin artırılması gibi yöntemler eş zamanlı olarak uygulamaya geçirilmelidir. Tüm bu uygulamalar neticesinde, temel bir hak olduğuna inanılan temiz solunabilir bir havayı, tüm canlıların sağlıklı bir şekilde soluması sağlanmış olacaktır. Bu inançla daha sağlıklı nesiller ve daha sürdürülebilir bir çevre hedefi elde edilmiş olacaktır.

Bu çalışma kapsamında, Bayburt ilinin atmosferik hava kalitesinin PM_{2,5} ve PM₁₀'ların kapsamlı bir şekilde araştırılması hedeflenmiştir. Özellikle PM kirliliğinin kaynaklarının ve konsantrasyonlarının tespit edilmesine odaklanılmıştır. Bu doğrultuda, elde edilen verilerin hava kalitesi standartları ile (ulusal ve uluslararası) uygunluğunda tartışılmıştır. Aynı zamanda elde edilen sonuçların kamu ve toplum bilincinin artırılması da amaçlanmıştır. Böylece ilgili kurum ve kuruluşlar arasında iş birliği sağlanarak bir çalışma planı oluşturulmuştur. Çalışmanın başlangıcında, Atatürk üniversitesi'nde mevcut olan yüksek hacimli hava örnekleyici cihazlar (YHHÖ) Bayburt ili Baberti Kampüsü'ne taşınarak altyapısı hazırlanmıştır. Daha sonra, örnekleme yapılacak noktalar dikkatlice belirlenmiş ve araştırmanın zamansal ve mevsimsel boyutlarını içerecek şekilde detaylı bir örnekleme programı da hazırlanmıştır.

Çalışma takvimi tamamlanmasının ardından, çalışmanın ilk basamağı olan örnekleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi için örnekleme noktasına gidilerek aktif örnekleme çalışmaları başlatılmıştır. Kış mevsimini kapsayan yüz yirmi günlük ve yaz mevsimini kapsayan yüz yirmi

günlük periyotlarda günlük olarak örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örneklemede toplanan cam fiber filtreler (GFF'ler), gravimetrik yöntemlerle kütle analizi yapılarak PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları belirlenmiştir. Yapılan örnekleme ve laboratuvar çalışmaları sonucunda, PM_{2,5} ve PM₁₀'ların partikül faz atmosferik konsantrasyonlarının belirlenmesi ile birlikte karakterizasyonları da ayrıntılı olarak tesbit edilmiştir. Elde edilen sonuçların özellikle hiç bu açıdan çalışması yapılmamış Bayburt ili için bir ilk olarak, hem literatür tarihine geçmiştir. Hem de literatürde benzer olarak yapılacak olan diğer çalışmalara da önemli ölçüde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda hava kalitesine ilişkin bilincin gelişiminde de önemli ölçüde destek olunacağına inanılmaktadır.

Diğer taraftan atmosferik hava kirliliği ve hava kirleticilerinden olan PM'ler çevre ve insan sağlığı açısından oldukça zararlı etkilerinden dolayı, günümüzde en kritik çevresel sorunlardan olup oldukça popüler çalışma konuları arasına sürekli olarak girmiş bulunmaktadır (Venter vd., 2017; Godoy vd., 2021). Hava kirliliği genel olarak, atmosferde doğal dengeleri bozacak seviyede ve yarılanma süresinde olarak bulunan PM'ler, gazlar, ağır metaller ve kimyasal bileşiklerin birikmesi olarak tanımlanmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016). Bu hava kirleticileri endüstriyel faaliyetler sonucunda, fosil yakıtların yakılmasında, tarımsal faaliyetlerden ve doğal olaylar gibi bir çok kaynaktan atmosfere salınmaktadır. Salınan bu kirleticiler nihayetinde de atmosferde fiziksel ve kimyasal dengeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle hızlı kentleşme, gelişen sanayileşme ve motorlu taşıt kullanımındaki artışlar bu oranı ciddi ölçüde artırmaktadır. Ayrıca bu kirleticilerin konsantrasyonlarını daha da artırarak hava kalitesini ciddi şekilde düşürebilmektedir (Viana vd., 2007; Yu vd., 2024).

Bu kirleticiler arasında PM_{2,5} ve PM₁₀'ların, ekosistem ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturması sebebiyle araştırma konuları arasında özel bir öneme sahiptir. PM'ler, atmosferde asılı kalan katı ve sıvı parçacıkların genel adı olarak tanımlanmaktadır. PM'ler kaynağına, boyutuna ve kimyasal bileşimine göre değişiklik göstermektedirler. Bu parçacıklar solunum yoluyla doğrudan insan vücuduna girebilmekte ve çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu sebepten hava kalitesi izlenimlerinde PM'ler boyutlarına göre bazen TSP, bazen PM₁₀, bazen PM_{2,5}, bazen PM₁ olarak ele alınıp zararlı etkileri ve giderimleri konusunda ciddi çalışmalar gerçekleştirilmektedir (He vd., 2024).

PM'lerin yukarıda genel tanımlarla açıklanmasının yanısıra, fiziksel olarak biraz daha detaylandırılacak olursa; PM_{2,5} (ince mod partikül maddeler), aerodinamik çapı 2,5 mikrometreden küçük olan partiküllerdir. Bu partiküller, motorlu taşıt emisyonları, fosil yakıtların yanması, endüstriyel prosesler ve bazı doğal olaylar (orman yangınları, volkanik aktiviteler gibi) sonucunda oluşmaktadır. PM_{2,5}'lar, oldukça küçük olmaları nedeniyle

doğrudan ciğerlere oradanda alveollere / bronşlara kadar ulaşabilmektedirler. Ciğerlere yerleşen PM_{2,5}'larda gaz değişiminlerini engelleyebilmektedir. Böylece ciddi solunum ve kalp ve damar rahatsızlıklarına neden olabilmektedir (Ahmed vd., 2024). Ayrıca, PM_{2,5}'lar yüzeylerine organik kirleticiler (PAH, PCB, OCP, vb.), ağır metaller (Cr, Pb, As, Vb.) ve diğer toksik elementleri de kolayca adsorbe edebilmektedirler. PM'ler ve onlara bağlı farklı toksiklerle beraber olduklarında hem kendi hemde adsorbladıkları bir takım farklı toksik kirleticiler ile zararlı toksik etkilerini daha fazla artırabilmektedir (Salomao vd., 2001; Okoye vd., 2021; Dobut vd., 2024). Diğer tarfatan PM₁₀ (kaba mod partikül maddeler) ise 10 mikrometreden küçük PM'lerdir. Genellikle yol tozu, inşaat faaliyetleri, tarım aktiviteleri gibi mekanik kaynaklardan atmosfere salınmaktadırlar. PM₁₀'lar, solundukları taktirde burun, boğaz ve üst solunum yollarında birikebilmektedirler. Bu birikmeleri neticesinde insan boğazında ciddi kızarıklık tahrişe, alerjik reaksiyonlara ve bazı kronik solunum hastalıklarına sebep olabilmektedir. Her ne kadar PM_{2,5}'a kıyasla akciğerlerin derin bölgelerine ulaşmaları daha zor olsa da, özellikle sürekli maruz kalma durumlarında oldukça ciddi sağlık riskleri oluşturabilmektedirler (Parry ve Young, 2013; Okoye vd., 2021; Jaaffar vd., 2024).

PM_{2,5} ve PM₁₀'ların çevresel etkileri de en az sağlık üzerindeki etkileri kadar önemlidir. PM'ler atmosferik dış görüş mesafesini azaltarak ulaşımında ciddi sorunlar oluşturabilmektedirler. Bu durum genelde güneşten gelen ışınlarının yüzeye ulaşımını engelleyerek fotosentez süreçlerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Böylece bitki büyümesini yavaşlatmakta ve ekosistem dengesini bozabilmektedir. Ayrıca, PM_{2,5} ve PM₁₀'lar kolayca atmosferik çökeltme yolları (yağ çökeltme, kuru çökeltme) ile yüzey sularına ve toprağa çökebilmektedirler. Bu çökülen ortamların kimyasal bileşiminde önemli ölçülerde değişimlere neden olmaktadır. Böylece tarım ürünlerinin kalitesini ve verimliliğini ciddi ölçüde düşürebilmektedirler (Zhang vd., 2022).

Sonuç olarak, PM'lerin (TSP, PM_{2,5}, PM₁₀, vb.) hem canlılar iç dünyasında hem de canlıların dış çevresinde oldukça kritik kirleticilerdir. Özellikle bu tarz atmosfere salınan kirleticiler kanserojenik, mutajenik ve toksik etkileri de bulunmaktadır. Bu nedenle, bu tür kirleticilerin kontrol altına alınması, hava kalitesinin sürekli izlenmesi ve kirlilik kaynaklarının yönetilmesi, başta çevre mühendisliği olmak üzere bir çok mühendislik alanlarının uygulamalarında öncelikli hedefleri arasında yer almalıdır. Bilindiği üzere Bayburt ili Türkiye'nin en küçük kenti olup, ağır sanayisi, endüstriyel faaliyetleri ve insan nüfusu açısından da en küçük ölçülerdedir. Bu duruma bakılarak Bayburt ilinin oldukça temiz hava kalitesine sahip iller arasında olduğu düşünülmektedir. Fakat son yıllarda yapılan bilimsel ve çevre şehircilik gibi kurumsal çalışmalar neticesinde ısınma kaynaklı yakıtlardan, kent içi artan

ulaşım kaynaklarından ve benzeri aktivitelerden dolayı PM'lerin kirliliği giderek arttığı görölmektedir. Bu durumda artık PM'lerin ölçüm ve kontrol altına alınmasının ihmal edilemeyecek boyutlarda olduğu da ön görölmüştür. Aynı zamanda son yıllarda yapılan bir kaç bilimsel çalışma dışında teferruatlı bir bilimsel çalışma olmadığından literatürde kısıtlı bilgilere ulaşılmaktadır. Bu sebeple bu bölgede yapılması gereken bilimsel çalışmalar özellikle hava kirliliği açasından artırılıp teşvik edilmesi gerektiği düşünölmektedir. Özellikle de Baberti kampüs bölgesi hem şehir hem de kırsal alan arasında geçiş görevi yapan yarı-kentsel bir bölge olma özelliği ile hava kirleticiler ve meteorolojik etkilerin daha belirgin bir şekilde çalışılması gerekmektedir.

Araştırmanın Konusu ve Problemi

Atmosferik PM'ler hem bölgesel açasından hem de küresel ölçekte insan sağlığına ciddi zararlar vermesinin yanısıra ekosistemleri de ciddi boyutta tehdit etmektedir. Bu açasından son zamanlarda PM'lerin özellikle toksik etkileri, kimyasal yapıları ve meteorolojik faktörler ile etkileşimlerinden dolayı araştırma konularının başında gelmektedir. PM'ler sadece kendi fiziksel ve kimyasal özellikleri ile değil aynı zamanda adsorbladığı ağır metal ve organikler açasından da hava kalitesi değerlendirmeleri açasından öncelikli konu başlıklarını içermektedir.

Bu amaçlar doğrultusunda bu tezin araştırma konusu olarak, Bayburt ilinde yarı-kentsel bir özellik taşıyan Baberti kampüs atmosferinde PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının belirlenmesi ve mevsimsel değişimlerinin tartışılmasıdır. Ayrıca tesbit edilen bu hava kirleticilerinin sıcaklık, yağış, rüzgar hızı gibi meteorolojik faktörler ile de etkileşimleri değerlendirilerek PM'lerin kirlilik konsantrasyonlarını belirlenmesinde destek veren çevresel faktörlerinde etkileşim oranlarının belirlenmesi de amaçlanmıştır.

Diğer taraftan Bayburt ilinde bilimsel verilere bakılmadan hava kalitesi hakkında yorum yapılacak olursa; Türkiyenin en temiz hava kalitesi profiline sahip bir il olarak görölmektedir. Ancak özellikle Bayburt ilinde ısınma amaçlı fosil yakıtların kullanılması, trafik yoğunluğunun artıp eksoz emisyonlarını çoğalması ve bölgeler arasında uzun menzilli taşıınımalarında gerçekteşmesi, artık Bayburt ili açasından solunabilir havasının hiç de mahsun olmayıp, hava kalitesinin incelenmesinin göz ardı edilmemesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda Bayburt ilinde daha önceden yapılmış çok az PM'lerin aktif örneklemelele dışında (Kılıç, 2008) bilimsel olarak PM_{2,5} ve PM₁₀'ların çalışmaları da oldukça sınırlıdır. Bu sebepten dolayı bilimsel çalışmaların artırılarak bilimsel verilerin ortaya çıkarılması oldukça önem arz etmektedir.

Araştırmanın problemi ele alınacak olursa; Bayburt ili Baberti kampüsü atmosferinde PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı nasıldır sorusunu cevaplamak,

problemin çözümünde en pratik yol olmuştur. Aynı zamanda bu PM'lerin konsantrasyon değerleri ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkileri hava kalitesi açısından ne ifade etmektedir? Sorusuda bir diğer önemli problem olarak görülmektedir.

Bu tarz temel problem konuları, aşağıdaki araştırma soruları ile detaylandırılmıştır;

1. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların varlığı, konsantrasyonları ve mevsimsel olarak etkileşimleri nasıl değişmektedir?
2. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların varlığı ve konsantrasyonları, sağlık açısından risk oluşturabilecek seviyelerdemidir?
3. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların kaynak göstergesi olabilecek karakteriksel özelliklere bağlı olarak farklılıklar göstermekte midir?
4. Meteorolojik faktörlerden olan sıcaklık, yağış ve rüzgar hızı PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarını nasıl etkilemektedir?
5. Elde edilen tüm verileri ulusal ve uluslararası hava kalitesi sınır verileri ile karşılaştırıldığında Baberti atmosferinin mevcut durumu nasıl açıklanabilir?

Bu sorulara verilebilecek bilimsel cevaplar sayesinde; Baberti kampüs bölgesinin atmosferindeki PM konsantrasyonları ve kirlilik seviyeri tesbit edilecektir. Olabilecek çıkış kaynaklarının belirlenmesi sağlanacaktır. Ayrıca PM'lere bağlı kirliliğin insan sağlığı ve ekolojik çevreye verilebilecek zararların ve risklerin tesbiti yapılabilecektir. Tez konusuna dair problemlerin çözümü hem bölgesel yerel hava kalitesi yönetimini, hem de literatürdeki bilinen mevcut boşlukların doldurulmasında oldukça önem arz etmektedir. Özellikle bölgesel bir üniversite kampüs atmosferinin atmosferik karakterizasyonlarının tesbiti sayesinde de Bayburt ilinin esas hava kalitesine ilişkin bilimsel verileri barındıran ilk veriler olarak değerlendirilecektir.

Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın genel amacı; Bayburt ili Baberti kampüs atmosferinde bulunabilecek PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının belirlenerek mevsimsel konsantrasyonlarının değişimlerini tesbit emektir. Aynı zamanda farklı boyutlardaki PM_{2,5} ve PM₁₀'ların varlığını ve konsantrasyonlarını belirleyerek, meteorolojik ilişkisini de analizlendirerek, hava kalitesini bilimsel açıdan değerlendirmektir.

Bu genel amaç başlığını gerçekleştirebilmek için de aşağıda sunulan alt amaçlar belirlenmiştir;

1. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların varlıkları ve konsantrasyonları belirlenerek, mevsimsel olarak etkileşimlerini de tesbit edilerek, hem kendi içinde hem de benzer çalışmalarla karşılaştırılarak sonuçların rapor edilmesi,
2. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların gravimetrik analizleri yapılarak ayrı ayrı konsantrasyonlarının belirlenmesi,
3. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların sağlık açısından riskli olabilecek durumlarının değerlendirilmesi,
4. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının sıcaklık, yağış ve rüzgar hızı gibi meteorolojik parametreler ile istatistiksel etkileşim ilişkilerinin grafiksel olarak detaylı bir şekilde incelenmesi,
5. Elde edilen analiz sonuçlarının ulusal ve uluslararası hava kalitesi sınır değerleri ile karşılaştırılarak Baberti bölgesinin hava kalitesi durumunun netleştirilmeye çalışılmasıdır.

Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi

Bu amaçlar doğrultusunda çalışmada; Bayburt ili atmosferinde ilk defa kapsamlı olarak PM_{2,5} ve PM₁₀'ların karakterizasyon verilerini tesbit ederek, literatürdeki bir çok boşluğu dolduracağına inanılmaktadır. Aynı zamanda çalışma amaçları açısından ilk yapılmış bir çalışma olarak da literatür tarihine geçecektir. Ayrıca bu çalışma sayesinde Bayburt'un hava kalite yönetimi, çevresel izleme çalışmaları ve risk değerlendirme çalışmalarına da önemli veri sağlanmış olacaktır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırmada mevcut kaynaklardan faydalanılarak çalışma koşullarının imkanları doğrultusunda oldukça başarılı bir şekilde yürütülmüştür. Fakat bazı kavramsal ve yönetsel açıdan sınırlar içerdiği de görülmüştür. İlk olarak örnekleme çalışmalarının belirli dönemlerde mevsimsel olarak sınırlı zaman aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Bu durum bu bölgenin atmosferik PM konsantrasyonlarını tüm yıl boyunca görülebilecek değişimlerinin tam temsil edilememesine sebep olabilmektedir. Ayrıca örnekleme çalışmaları mevsimsel ve tek bir noktada yapılmış olması açısından da tüm Bayburt atmosferindeki PM_{2,5} ve PM₁₀'ların kirlilik dağılımını mekânsal ve zamansal olarakta tam yansıtmayabilir.

Diğer taraftan Meteorolojik verilerde Bayburt ilinden resmi kayıtlardan elde edilmiştir. Fakat örnekleme noktasındaki mikro ölçekli atmosferik değişimleri her zaman tam olarak yansıtmayabilir. Çalışmada ortaya konulan korelasyon analizleri ve zamansal değişkenliği gösteren istatistiksel değişimlerde tüm parametreleri açıklamak için yeterli olmayabilir. Bu sebepten ek olarak yeni modellemelere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bunun yanı sıra; ağır metaller ve diğer toksik organik bileşikler (PAH, PCB, OCP, vb.) çalışma kapsamında bulunmamaktadır. Aynı zamanda kaynak katkı modellemesi ya da benzeri modelleme

alışmaları da yapılmamış olup, gelecek çalışmalarda daha açıklayıcı kimyasal analizler ile desteklenmesi düşünölmektedir. Çalışmada yeterli bütçe koşullarının olmamasından dolayı, daha gelişmiş toksik ya da kanserojenik risk değerdendirmelerinin tesbiti bulunmamaktadır.

Tüm bu belirtilen sınırlılıklar ölçüm sonuçlarının yorumlanmasında özenerek dikkate alınmıştır. Bu sebeplerden dolayı çalışmanın tüm kapsamında dikkat edilen ve sapma oluşturmeyen faktörlerden bahsedilmiştir. Böylece bu tarz gelecek çalışmalarda daha uzun süreli örnekleme çalışmaları, çok noktalı örnekleme çalışmaları ve genişletilmiş kimyasal analizler ve modellemeler ile çalışılması hedeflenerek önerilmektedir.

Varsayımlar

Bu çalışmada aşağıda sunulan varsayımlar kabul edilmiştir;

1. İki ay kış ve iki ayda yaz olmak üzere toplam dört aylık örnekleme sürecinde kullanılan YHHÖ cihazlarında hava emişi yapılarak içerisine yerleştirilen GFF'ler üzerinde PM'lerin tutulması sağlanmıştır. Böylece yakalanan PM'leri, cihazın PM_{2,5} ve PM₁₀ tutucu başlık özelliğinden dolayı tamamen PM_{2,5} ve PM₁₀'ları temsil ettiğı varsayılmıştır.
2. Kütle ölçümü için kullanılan Gravimetrik ölçümler kalibrasyon ve kalite kontrol adımlarının güvenilirliğine inanılmaktadır. Aynı zamanda elde edilen analiz sonuçlarını doğru, güvenilir ve kabul edilebilir biçimde yansıttığı varsayılmıştır.
3. Bayburt ili Meteoroloji bölge müdürlüğünden alınan Meteorolojik resmi verilerin, örnekleme noktasına ait yakın atmosferik şartları yeterince temsil ettiğı varsayılmış ve kabul edilmiştir.
4. Örneklemeye giderken ve örnekleme tamalandıktan sonra alınan filtrelerin uygun ortamlarda saklanması, taşınması ve laboratuvara getirilip analiz edilme sürecine kadarki muhafaza edilmesi koşullarının hepsini örnekleme numunelerinin bütönlüğünü koruduğı varsayılmıştır.
5. Araştırmadan elde edilen tüm verilerin, çalışmada yapılan tüm istatistiksel değerdendirmeler için yeterli oranda örneklemleri tam olarak sağladığı kabul edilmiştir.
6. Baberti kampüsünde bulunan örnekleme noktasına ait o günlerdeki atmosferik koşulların, bölgenin hava kalitesi hakkında genel olarak çıkarımlar yapıp bu şekilde genel değerdendirmeye olanak sağladığı varsayılmıştır.

Terim ve Tanımları

Bu çalışmada en çok kullanılan temel terim ve kavramlar aşağıda sunulmuştur;

Partikül Madde (PM): Atmosferik ortamda katı sıvı ya da gaz fazında olan, kütlelerine göre havada asılı kalabilen farklı boyutlardaki parçacıklardır. Fiziksel, kimyasal ve salındıkları kaynaklara göre farklılık gösterebilirler.

Toplam Askıda Partikül (TSP): Atmosferde asılı bulunan tüm boyutlardaki PM'lere verilen grup ismidir. Genellikle 0-100 µm gibi geniş bir aralıkta değişkenlik gösteren tüm PM'leri kapsamaktadır.

Kaba Mod Partikül (PM₁₀): Çapları 10 µm ve altında olan, canlıların üst solunum yollarında tutulabilen PM grubudur. En çok doğal kaynaklardan salınırlar. Aynı zamanda da mekanik parçalanma süreçlerinden ve tozların rüzgarlarla havalanmasından oluşmaktadırlar.

İnce Mod Partikül (PM_{2,5}): Çapları 2,5 µm ve altında olan ve canlıların üst solunumlarından rahatlıkla geçerek akciğer bronşlarına kadar ulaşabilen PM grubudur. Genellikle yanma kaynaklı prosesler sonucu oluşmaktadırlar. Aynı zamanda trafik kaynaklı emisyonlar ve bölgesel taşınımlarla da oluşmaktadırlar.

Yüksek Hacimli Hava Örnekleyici (YHHÖ): Atmosferdeki PM'leri belirli süre ve belirli bir debi emiş gücünde filtre üzerine tutmaya çalışan aktif örnekleme cihazıdır. Bu YHHÖ sayesinde PM'lerin kütleli konsantrasyonları ve kimyasal analizleri yapılabilmektedir.

Meteorolojik Faktörler: Atmosferik şartları belirlemede en etken hava olayları olup, sıcaklık, nem, yağış, rüzgar ve rüzgar hızı gibi faktörlerin tümüne verilen isimdir. Meteorolojik faktörlerinin hepsi PM'lerin konsantrasyonlarını doğrudan etkileyebilmektedir.

Mevsimsel Değişkenlik: PM'lerin konsantrasyonlarını belirlemede örnekleme çalışmalarının yaz ya da kış sezonlarında değişiklik göstermesi durumudur.

Zamansal Değişkenlik: Örneklemenin hangi yılın hangi aylarında yapıldığını gösteren ve zamansal süreçlerde meydana gelen etkileri göstermesi durumudur.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

1.1. HAVA KİRLİLİĞİ VE TARİHSEL GELİŞİMLERİ

Hava kirliliği, yaşadığımız Dünya atmosferini bozabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirleticilerin havada belirli sürede ve konsantrasyonlarda bulunması olarak tanımlanmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016). Geçmiş tarihlerden günümüze kadar hava kirliliği incelendiğinde, genellikle insanoğlunun enerji tüketim istekleri ve alışkanlıkları ile doğrudan alakalı olduğu anlaşılmıştır. İlk olarak ortaçağa kadar uzanan süreçler incelendiğinde sadece ısınma amaçlı da olsa odun ve kömür gibi fosil içerikli yakıtların yakıldığı görülmektedir. Fosil yakıtların zararının anlaşılması durumunu açıklamak için eski zamanlardan örnek verilecek olursa; İngiltere’de 1273 yılında kömür kullanımının yasaklanması için kraliyet ailesi tarafında bir mevzuat fermanı yayınlamıştır. Bu ferman insan etkisi ile birlikte hava kalitesine müdahale etmede kullanılan ilk yasal düzenleme olduğunu göstermektedir. Bu tarihten sonra esas hava kirliliği ve kirletici unsurların etkileri sanayi devrimi ile birlikte 18. ve 19. yüzyıllarda başlamıştır (Viana vd., 2007).

Sanayi devriminden sonra, hızla artan Dünya nüfusu ile birlikte enerji ihtiyaçlarının karşılanıp hızlı kentleşme adımlarıyla birlikte yoğun kömür tüketimleri başlamıştır. Bu durum tüm Avrupa ülkeleri ve diğer bir çok Dünya ülkelerinde içine alarak ciddi manada hava kirliliği problemlerine maruz kalınmıştır. Özellikle Londra kentinde 1952 yılında meydana gelen “Smog” olayı artık hava kirliliğinin sadece çevresel bir problem olmadığını göstermiştir. Bu zamanlarda yaşanan hava kirliliği sayesinde artık ciddi ölçüde insan sağlığında etkilediğini tüm Dünya ülkeleri acıda olsa fark ettiler (Pope ve Dockery, 2006). Londra’da meydana gelen Smog olayında binlerce insanın hayatını kaybettiği raporlanmıştır. Aynı zamanda on binlerce insanda da ciddi üst solunum sıkıntıları yaşanmıştır. Bu durum ayrıca ilk defa hava kirliliğine karşı uluslararası farkındalık bilinci oluşturmuştur. Bu yıllardan sonra da 1956 yılında hava kirliliğine karşı “Clean Air Act” (Temiz Hava Yasası) başlığı altında alınabilecek tedbirler ile ilk defa siyasi ve teknik olarak bu ciddi kirleticiler konusuna girilmiştir.

Bu tarihlerden sonra hava kirliliğini bölgesel coğrafyalardan tüm Dünya’ya yayılmasına sebep olan bazı hızlı gelişmeler olmuştur. Bunların başında teknolojinin artması, petrol ve doğalgaz tüketiminin artması, özellikle trafikte motorlu araçların sayısının artması ve sanayi alanındaki çeşitli birimlerin kurulması olarak sıralanabilir. Artık hava kirleticileri sadece çıktığı bölgeyi etkilemiyordu, aynı zamanda rüzgarların ve diğer atmosferik taşınımların sayesinde de tüm Dünya ülkelerine kadar ulaşıp ciddi bir çevre sorunu olma yolunda kararlı bir şekilde

ilerlenmekteydi. Ayrıca zamanla meydana gelen asit yağmurları, fotokimyasal smog ve rüzgarlar ile uzun menzilli taşınımalar artık hava kirliliğinin tüm bölge sınırlarını aşabilen ciddi bir çevre sorunu olduğunu da ispatlar durumdaydı (Venter vd., 2017; Yu vd., 2024).

Günümüzde artık hava kirliliği iklimsel krizler ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Aynı zamanda hava kirliliği zararlarından en çok insan sağlığına etki etmesini hem WHO (Dünya Sağlık Örgütü) hem de UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) gibi kurumlar tarafından da kabul edilmektedir (WHO, 2021). Yaşadığımız 21. yüzyılın ilk çeyreğinde, hızla artan insan nüfusu sayesinde, doğru orantılı olacak şekilde artan enerji ihtiyacı ve kentleşmedeki artışla birlikte atmosferde istenmeyen hava kirleticilerinde konsantrasyonları dahada artmıştır. Özellikle yapılan istatistikler sonucu düşük gelire sahip gelişmemiş ülkelerde hava kirleticilerine bağlı ölümlerin sayıları da giderek arttığı gösterilmektedir (Ahmed vd., 2024; He vd., 2024; Zhao vd., 2024).

Hava kirliliği geçmişten bugüne kadar incelendiğinde; özellikle bazı hava kirleticilerinin son yüzyılda aşırı artmasının temel noktası olarak insan ve insanoğlunun bitmez bilmeyen istekleri ile doğru orantılı olarak arttığı bilinmektedir. Bu durumda bazı konu başlıkların ciddi tedbirler alınarak çalışılması gerektiğini orataya koymuştur. Bunların başında hava kirleticilerinin kaynakta kontrol altına alınması, enerjide sürdürülebilirlik, hava kalitesi ve elde edilen verilerin kesinti olmadan tam takiplerinin yapılması, çevre politikalarının takibi ve güncellenmesi gibi başlıklar altında hızlı bir şekilde çalışılması gerekmektedir (Chen ve Ding, 2023; Godoy vd., 2021).

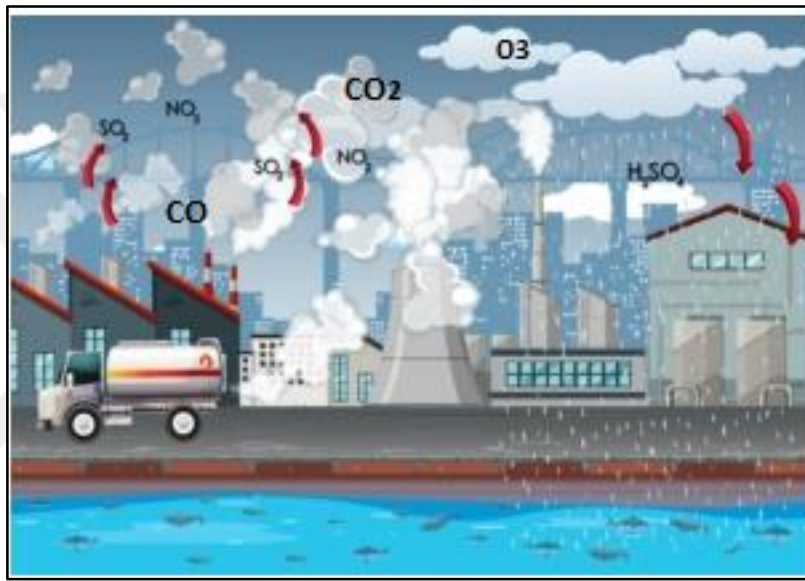
Günümüzde ciddi boyutlarda riskli olan hava kalitesi çalışmalarında yapılan iyileştirici yöntemler de sadece teknik tedbirler ile yeterli olmayacağı aşikardır. Teknik destekle birlikte devletin arkasında duracağı yasal düzenlemeler ile birlikte toplumsal farkındalık ve bilimsel çalışmalarında eklenerek yürütülmesi gerekmektedir. Toksik ve kanserojenik etkileri tesbit edilen PM ve ağır metaller gibi hava kirleticilerinin zararlı etkileri son yıllarda daha iyi anlaşılmaktadır. Özellikle insan sağlığına, çevresel yaşam olaylarına ve ekosistemler üzerindeki ciddi riskleri artık daha iyi bilinmektedir. Bu farkındalık özellikle bölgesel yapılan bilimsel araştırmalar sayesinde olduğu görülmektedir. Böylece anlaşılan ispatlı bir çok durumdan yola çıkarak, bilimsel araştırma ve elde edilen verilerin ne kadar kıymetli olduğu anlaşılmaktadır (Belle vd., 2024; Shi vd., 2024; Wardhani vd., 2024).

Yukarıda bahsedilen bilimsel araştırmaların etkisi ve gelişim çizgisi, bu tez çalışmasında ilham verip temelini oluşturmaktadır. Genel olarak yapılan bu ve benzeri bilimsel araştırmalarda, çalışma konusu bölgesel ölçekte PM_{2,5} ve PM₁₀'ların çalışmalarından elde edilen veriler sayesinde, çalışılan bölgenin yerel hava kalitesinin izlenmesine de sebep

olmaktadır. Aynı zamanda elde edilen bölgesel data, küresel ölçekte bilim literatürünün de güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

1.2. HAVA KİRLİLİĞİNE SEBEP OLAN BAŞLICA TEMEL HAVA KİRLLETİCİLERİ

Atmosferik kirleticiler, fiziksel, kimyasal ve kaynaktan oluşum aşamalarına göre farklı yapı ve sınıflara ayrılmaktadır. Hava kirleticileri genellikle gaz ya da partikül faz formunda olmak üzere ana iki grup başlığı altında incelenmektedir (Şekil 1). Gaz ya da partikül fazda atmosferde askıda kalıp farklı reaksiyonlara girmektedirler. Daha sonra farklı ikincil reaksiyonlarla daha zararlı boyutlara dönüşerek insan sağlığı üzerinde farklı zararlı etkileri olmaktadır (Viana vd., 2007; Seinfeld ve Pandis, 2016).



Şekil 1: Hava Kirliliği ve Hava Kirleticileri (URL-1)

1.2.1. Gaz Fazındaki Kirleticiler

Gaz fazındaki hava kirleticiler genelde doğal ya da antropojenik kaynaklardan atmosfere salınabilirler. Çoğunlukla kentsel alanlarda görülen fosil içerikli yakıtlardan, motorlu taşıtların emisyonlarından ve antropojenik kaynaklı gaz fazı kirleticiler salınmaktadır. Bazı gaz kirleticiler ve özellikleri aşağıda sırası ile paylaşılmıştır;

1.2.1.1. Karbon monoksit (CO)

Oluşum şekilleri açısından karbon monoksit eksik yanma ürünü olarak bilinmektedir. İnsan üzerinde bilinen etkisi hemoglobin ile reaksiyona girerek dokulara oksijenin götürülmesini sağlamaktır. Bu sebepten kapalı ve oksijenin az olduğu ortamlarda solunması ciddi sağlık sorunlarına hatta zehirlenmelere neden olabilmektedir.

1.2.1.2. Karbon dioksit (CO₂)

Karbon içerikli bazı yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan bir gaz formudur. Aslında doğal bir atmosfer bileşeni olarak binmektedir. Fakat son zamanlarda sanayi devriminde etkisi ile özellikle Sera gazı olarak tanımlanmasından ve küresel ölçekte iklim değişikliklerine de sebep vermesinden dolayı hava kirleticisi ya da Sera gazı olarak tanımlanmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016).

1.2.1.3. Azot oksitler (NO_x: NO / NO₂)

Yüksek sıcaklık odasında, yüksek yanma havasında ve yüksek sıcaklıklarda yanma sonucu açığa çıkan bir gaz formudur. Özellikle fotokimyasal reaksiyonlar neticesinde yere yakın seviyelerde Ozon (O₃) oluşumuna katkı sağlamaktadır. Solunması sonucunda insanlarda solunum yolları tahrişi başta olmak üzere bazı kronik hasıtalıklarada sebep olabilmektedir (Zhou vd., 2024).

1.2.1.4. Kükürt oksitler (SO_x; SO₂)

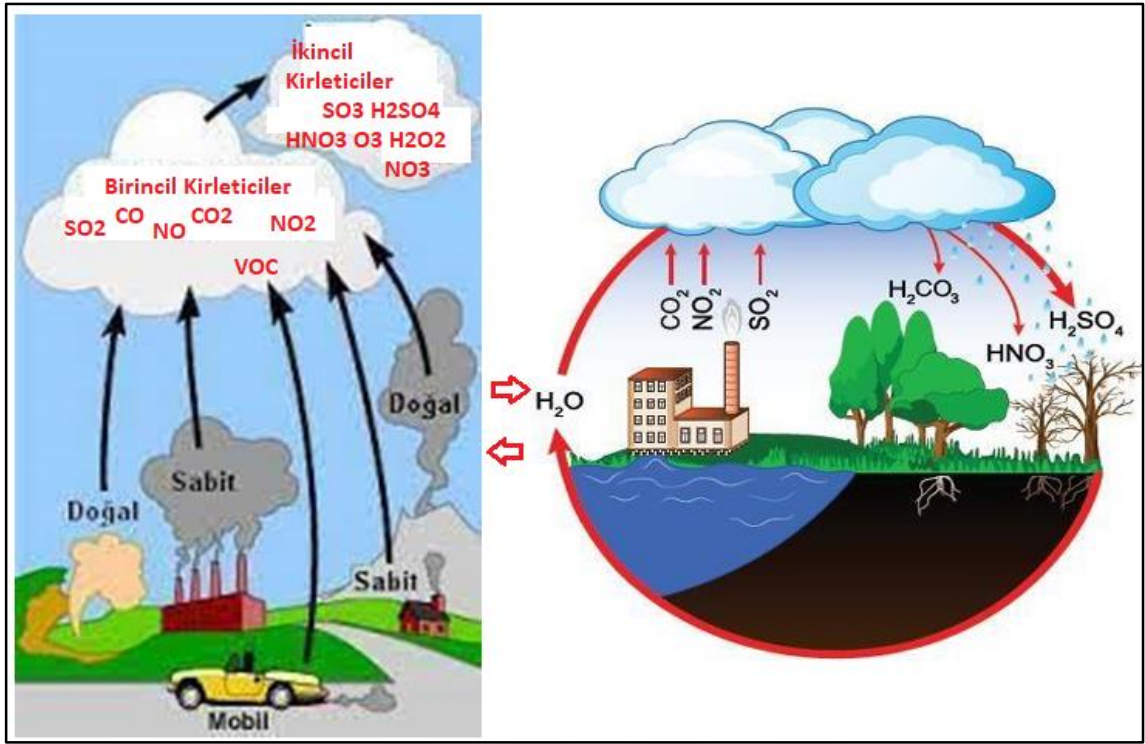
Genellikle kükürt içeren yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan bir gaz formudur. Asit yağışlarına sebep olmaktadır. Bu durum atmosferdeki su buharı ile SO_x'lerin reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Çevresel ortamlarda özellikle bitkilerin yüzeyleri ile yapı malzemelerinin yüzeylerinin korozyon etkisini artırarak yıkıcı etkilere sebep verebilmektedir.

1.2.1.5. Ozon (O₃)

Stratosfer tabakasında bulunan Ozon Dünya'yı Güneşin UV radyasyonlu ışımlarından koruyan faydalı Ozon'dur. Fakat Troposferde yani yer seviyesine yakın katmandaki Ozon ise NO_x ve uçucu organiklerin reaksiyona girmesi sonucu oluşarak zararlı / faydasız Ozon olarak tanımlanmaktadır. Bu zararlı ozonda insan sağlığına oldukça olumsuz etkisi olan bir gazdır (Seinfeld ve Pandis, 2016).

1.2.1.6. Uçucu organik bileşikler (VOC'ler)

Çoğusu eksik yanma ürünü olup, yakıtlardan çıkan buharlardan, endüstriyel çözücülerden, kimyasal prosesler gibi sistemlerden kaynaklanmaktadır. Atmosferde oluşan fotokimyasal smogun oluşmasının temel bileşenleri arasındadırlar. Atmosfere salınan bu gaz formundaki kirleticiler birincil kirletici durumundayken, salındıkları ortamlarda tekrardan bir takım reaksiyonlara girerek ikincil kirleticileri oluşturmaktadırlar. Bu sebepten gaz kirleticiler aynı zamanda atmosferde farklı reaksiyonlarla PM'lerin oluşumu açısından da oldukça önemli katkıları bulunmaktadır (Tao vd., 2020) (Şekil 2).



Şekil 2: Doğal ve Antropojenik Kaynaklardan Atılan Bazı Hava Kirlenitileri (URL-2)

1.2.2. Partikül Maddeler (PM'ler)

Atmosferik ortamda farklı boyut ve fazlarda (katı veya sıvı) askıda kalabilen parçacıklara / taneciklere partikül madde (PM) denir. PM'ler atmosferde en karmaşık bileşikler arasındadır. Özellikle kaynak farklılığı, boyut değişkenlikleri, fiziki ve kimyasal özellikleri ve ayrıca taşınım kabiliyetleri sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı PM'ler, diğer gaz fazındaki hava kirlenitilerine göre hava kalitesi çalışmalarında daha fazla değerlendirilmeleri gerekmektedir (Moreno vd., 2006; Seinfeld ve Pandis, 2016; Venter vd., 2017).

1.2.2.1. PM'lerin aerosol kavramı

PM'lerin aerosol olarak, atmosferdeki askıda PM'ler ile onları taşıyan gaz fazındaki heterojen sisteme denir. Aerosollerin atmosferdeki davranışlarını doğrudan fiziki özellikleri belirlemektedir (Wang vd., 2023; Yu vd., 2024).

1.2.2.2. PM'lerin fiziksel özellikleri (Boyutları)

Tablo 1'den de görüldüğü gibi PM'ler TSP'ler gibi tüm modları kapsayan ölçüleri ile birlikte ince ve kaba modlarında bulunmaktadır. Hatta ultra ince mod PM1 grublarında mevcuttur. Özellikle Şekil 1'den de anlaşıldığı gibi bazı PM'ler kum tanelerinden iri, bazı PM'lerde saç teli kalınlığından çok daha ince olabilmektedir. Bu çalışmada da üç boyut sınıfı birlikte ele alınarak araştırılmıştır. Bu şekilde yapılan çalışmalar özellikle kaynak analizi ve riskli durumların değerlendirilmesinde oldukça önemli bilimsel avantajlar sağlayabilmektedir

(Medeiros vd., 2018; Gholami vd., 2019; Zhang vd., 2022) (Tablo 1).

Tablo 1: PM'lerin Boyut ve Özellikleri

PM'lerin Sınıflar	Boyutları	Özellikleri
TSP	0-100 μm	Tüm PM'leri temsil eden kaba ve ince mod karışımı PM'lerdir
PM10	10 μm ve 10 μm 'den daha küçük	Üst solunum yolunda tutulabilirler
PM2,5	2,5 μm ve 2,5 μm 'den daha küçük	Üst solunumdan rahatlıkla geçip ciğerlere hatta alveollerine kadar ilerleyen toksik özellikteki PM'lerdir

PM'ler çok farklı boyutlarda ve farklı fiziksel görünümde olabilirler. Özellikle saç tanesi çapı ile kaba ve ince mod PM çaplarının karşılaştırılmasında PM'lerin ne kadar mikro metre çapta oldukları daha iyi anlaşılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: PM'lerin Fiziki Boyutları ve Karşılaştırılması (URL-3)

1.2.2.3. PM'lerin kaynakları ve oluşumları

PM'lerin oluşumları iki türlü gerçekleşmektedir. Birincil ve ikincil partiküller olarak incelenmektedir. Birincil PM'ler, mekanik işlemler sonucu doğrudan atmosfere salınan PM'lerdir. Örnek olarak madencilik işlemleri, yol çalışmaları, rüzgazların taşıdığı tozlar verilebilir. İkincil PM'ler ise, gaz fazındaki kirleticilerin atmosferde kaynaktan salındıktan sonraki oluşum mekanizmalarıdır. Örnek olarak SOx'lerden SO, kaynaktan salındıktan sonra SO₂, farmuna dönüşmesi. Bir diğer örnekte NOx'lerinde nitrat ya da amonyuma dönüşmesidir.

Başlıca önem arz eden PM kaynakları ise; trafik eksoz emisyonları, ısınma maksatlı fosil içerikli yakıtların yakılarak konut ısıtılması, Endüstriyel yanma, tarımsal faaliyetlerden ya

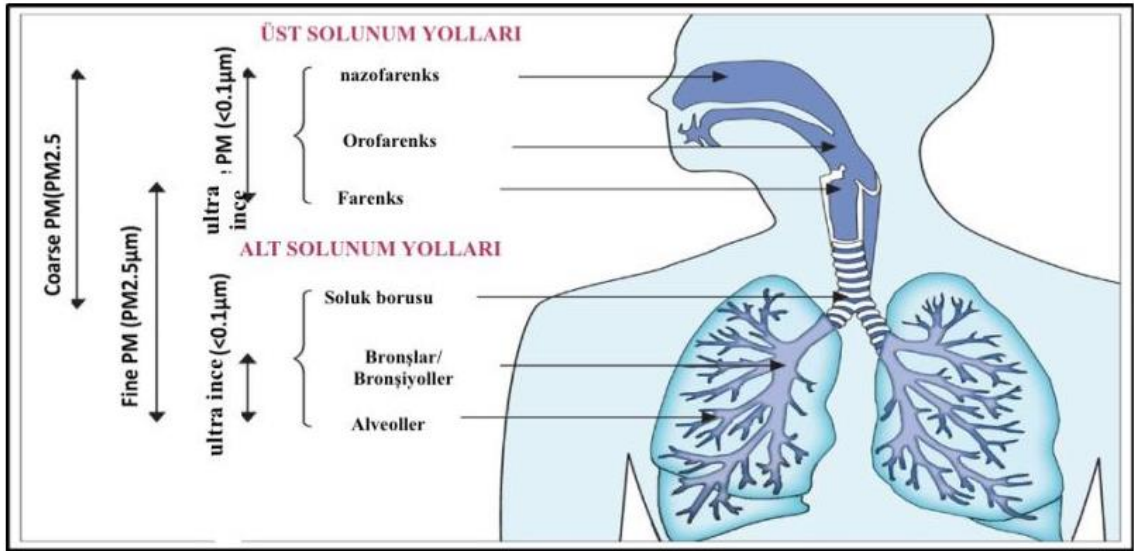
da açık alanlardan rüzgarlarla havalandırılan taneciklerin salınması, biyokütle yakma işlemleri, Rüzgarlar vasıtasıyla uzun menzilli taşınımlardır (Venter vd., 2017; He vd., 2020) (Şekil 4).



Şekil 4: PM'lerin Kaynak Görüntüleri (URL-4)

1.2.2.4. PM'lerin taşınımları ve kimyasal yapıları

Partikül maddelerin içeriğinde bir çok farklı bileşen bulunabilir ya da üzerlerine adsorblanarak tutunabilmektedir. Örneğin dış ortam atmosferinde PM_{2,5} ya da PM₁₀'ların üzerine organik bileşikler, organik karbonlar, elementel karbonlar, iyonlar, inorganikler, ağır metaller ve mineral tozları bağlanabilmektedir. PM'lerin boyutları ne kadar artarsa atmosferde kalma süreleri ve taşınım mesafeleri de okadar azalır. Bunun aksine PM'lerin boyutları ne kadar çok küçülürse okadar çok atmosferde askıda kalma süreleri ve uzaklara taşınımları ve insanlara verecekleri sağlık riskleride ciddi oranlarda artmaktadır (Şekil 5). Böylece daha küçük boyutlu PM'ler daha fazla toksik, daha da uzaklardan kaynaklı ve dolayısıyla daha da zor kontrol edilebilen hava kirleticileri grubuna dahil olurlar (Li vd., 2022; Yu vd., 2024). Bu sebeplerden dolayı özellikle çevre mühendisliği alanında öncelikli ve ilk çalışma konusu olarak kabul edilen tehlikeli ve riskli hava kirleticileri olarak kabul edilmektedir (Pope ve Dockery, 2006; WHO, 2021).



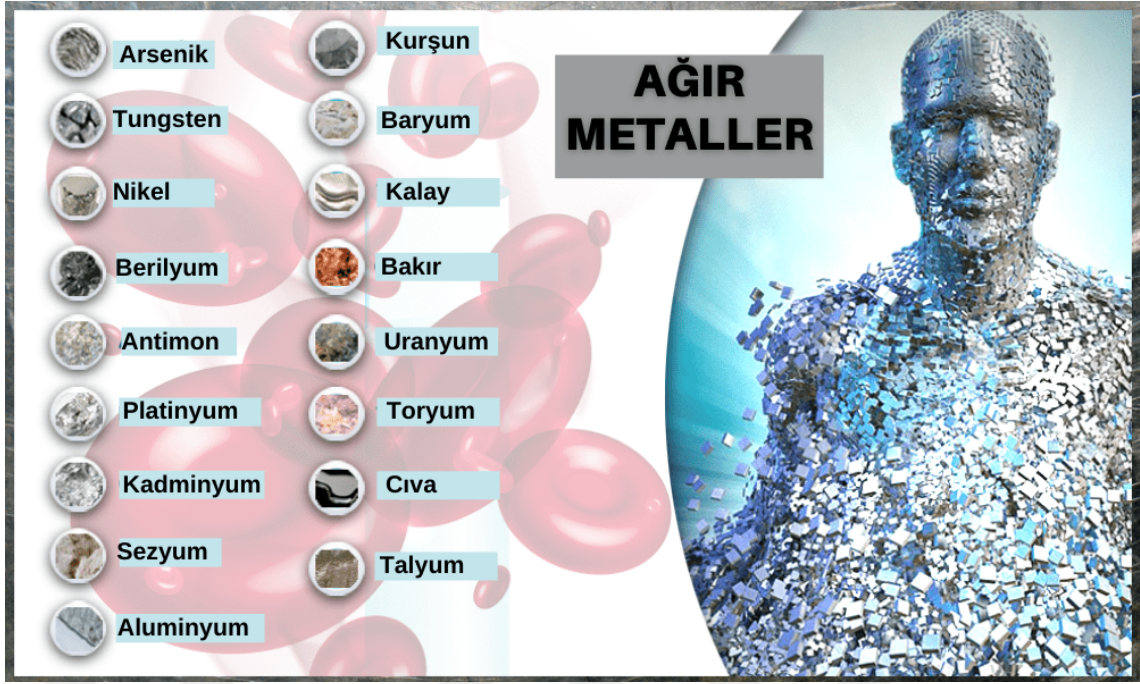
Şekil 5: Boyutlarına Göre PM'lerin Etkileri (URL-5)

1.3. PARTİKÜL MADDELERE BAĞLI AĞIR METALLER

Boyutlarına göre PM'ler farklı fiziksel kirletici özelliklerinin yanı sıra, üzerlerinde taşıdıkları ya da adsorbladıkları toksik elementlerden dolayı da kimyasal açıdan oldukça tehlikeli olabilmektedirler. Ağır metaller ister PM'lere bağlansın, isterse de serbest halde atmosferde bulunsunlar biyolojik olarak parçalanamamaktadırlar. Bu sebeplede canlı vücuduna girdiklerinden biyolojik birikim yaparak ciddi hastalıklara sebep vermektedirler. PM'lere bağlı ağır metallerin toksik, kanserojenik yapılarından dolayı da özellikle çevre mühendisliği alanında özel olarak ilgilenip her alanda çalışması yapılmaktadır (Alloway, 2013; Shi vd., 2024). Genellikle PM çalışmaları ile birlikte PM'lere bağlı ağır metallerinde konsantrasyonlarının belirlenip karakterizasyonlarının da çıkartılması hava kalitesinin doğru belirlenmesinde oldukça önemlidir (Xiao vd., 2022; Xie vd., 2023).

1.3.1. PM'lere Bağlı Ağır Metaller ve Atmosferik Koşullardaki Davranışları

Ağır metaller, atom numaraları ve yoğunlukları oldukça yüksek olan element grubundadır. Aynı zamanda düşük konsantrasyonlarında dahi yüksek toksite etkileri olan elementlerdir. Örneğin; Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Arsenik (As), Krom (Cr), ve Nikel (Ni) gibi ağır metaller bu gruba dahil edilebilirler (Şekil 6). Ağır metaller genellikle yakıtların yanmasından, trafik kaynaklı emisyonlardan, doğal toz taşınımları gibi bir çok faktörlerle atmosfere salınıp karışabilmektedirler ve nihayetinde farklı boyutlardaki PM'lere tutunarak zararlı etkilerini bütüncül olarak dah da artırabilmektedirler (He vd., 2020; Taghizadeh-Mehrdadi vd., 2021).



Şekil 6: Bazı Önemli Ağır Metaller (URL-6)

Ağır metallerin atmosferde uzun süre kalabilmeleri ya da taşınabilmeleri için PM'lerin yüzeylerine adsorblanabilirler ya da yoğunluklarını artırarak kimyasal bağlarla bağlanabilirler. Böylece uzun menzillere taşınım şansları artarak, canlıların maruziyet çeşitliliğini de artırmış olurlar. Eğer ağır metaller PM10 gibi kaba mod partiküllere değilse, PM2,5 gibi ince mod PM'lere bağlanırsalar rahatlıkla canlıların solunumla ciğerlerinin en uç noktasına yerleşerek toksite potansiyellerini iyice artırmaktadırlar (Yang vd., 2022; Huang vd., 2023).

Ağır metallerin Atmosferik ortamda kimyasal dönüşümleri bir takım prosesler ile gerçekleşmektedir. Bu prosesler de sırası ile belirtilecek olursa; Oksidasyon-indirgenme reaksiyonları, asitlik dengesi, yüzey kimyası, Meteorolojik faktörler olarak sıralanabilir. Bu durumda ağır metallerin tüm davranış kabiliyetleri aktif atmosferik dinamiklere ve çevresel koşullara bağlı olduğunu göstermektedir (Querol vd., 2001; Grafkina vd., 2023).

1.3.2. PM'lere Bağlı Ağır Metallerin Sağlık Üzerine Etkileri

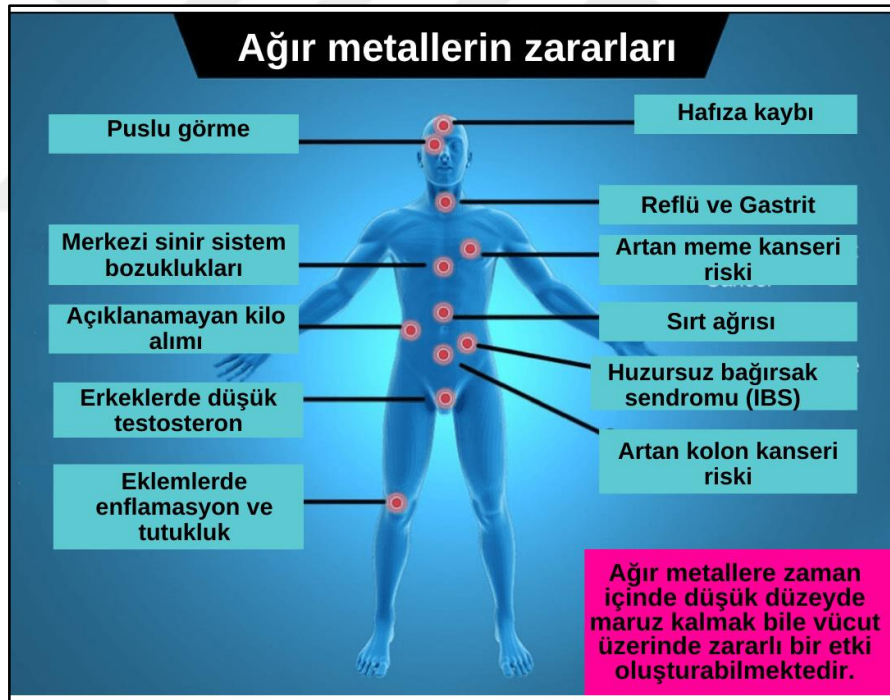
PM'lere bağlı ağır metaller uzun / kısa zamanda önemli sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedirler (Tablo 2; Şekil 7).

Tablo 2: Bazı Ağır Metallerin Sağlık Üzerine Etkileri ve Riskleri

Elementler	Başlıca etkileri	Oluşabilecek Riskler
	Çocuklarda gelişim bozukluğuna neden olur.	
Kurşun (Pb)	Sinir sistemlerini tahrip eder. Öğrenme güçlüğü çektirir.	Çok yüksek oranda

Kadmiyum (Cd)	Böbreklere hasar vererek, kemik erimesine neden olur.	Çok yüksek oranda
Arsenik (As)	Deri ve solunum yolu hastalıklarına sebep olur. Aynı zamanda Kanserojeniktir.	Çok yüksek oranda
Krom (Cr)	Kanser yapıp Mutasyona sebep olabilmektedir.	Çok yüksek oranda
Nikel (Ni)	Cilt yüzeylerinde ve solunum yollarında alerjiye sebep verebilir.	Yüksek oranda

İnce mod PM'lere, yani PM_{2,5}'lara bağlı olan ağır metaller solunabilir boyutta oldukları için hastalık risklerini daha da artırmaktadır (He vd., 2020; Afzal ve Mahreen, 2024; Zhao vd., 2024). Bu sebeple, farklı bilimsel çalışmalarda PM'lere bağlı ağır metallerde ICP-MS ile konsantrasyonlarının belirlenmektedir. XRD ve FTIR cihazlarıyla da boyutlarına göre metal dağılımları ve karakterizasyonlarının belirlenmesi, hem bilimsel hem de insan sağlığı açısından oldukça öncelik gerektiren bir durumdur (Tanhan vd., 2022; Belle vd., 2024).



Şekil 7: PM'ler Bağlanabilen Ağır Metallerin Sağlık Üzerine Bazı Zararları (URL-7)

1.3.3. Ağır Metallerin Ekosistem ve Dış Yapılara Olan Etkileri

PM'ler bağlı ağır metaller bir çok ekosistem ve dışardaki çevresel yapılara ciddi zararlı etkileri bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını örnek verilecek olursa; toprak üzerinde ve yüzeysel sulara biyokümülatif etkileri vardır. Bitkilerin yaprak yüzeylerinde yanmalarına sebep olup, büyümelerinde gerilemelere neden olmaktadır. Metal yapıların, tarihi heykeller ve diğer tarihi eserlerin korozyonunu hızlandırarak ömürlerini kısaltabilirler. Besin zincirine

girerek en alttan en üste direk tüketicilere kadar ulaşabilmektedirler (Xiao vd., 2022; Xie vd., 2023; Yessenbayeva vd., 2024). Ağır metallerin bu ve benzeri etkilerine bakarak PM'lere bağlı ağır metallerin Dünya'da canlı ve cansızlar üzerindeki etkisini ve ayrıca tüm çevresel ekosistemlere olan etkilerinin ne kadar fazla olduğu görülmektedir (Grafkina vd., 2023; Wardhani vd., 2024).

1.4. METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN PARTİKÜL MADDELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Atmosferik PM'lerin kaynaktan oluşumları, taşınım ve tekrar yeryüzüne çökelmeleri daha sonra da kimyasal olarak dönüşüm geçirmeleri tamamıyla o anda ve içerisinde yer aldıkları hava katmanına bağlı koşullar altında gerçekleşen süreçlerdir. Bu sebepten meteorolojik faktörler PM'lerin kaderini belirleyen en önemli çevresel dinamikler olarak bilinmektedir (Tai vd., 2010; Zhou vd., 2024). Ayrıca PM'lerin varlığını, bulundukları ortamlardaki konsantrasyonlarını tam ve doğru tesbit edebilmek için meteorolojik faktörlerin de eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Liu vd., 2020; Dobut vd., 2024). Diğer taraftan PM'ler üzerine etkisi olabilecek bazı meteorolojik faktörler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur;

1.4.1. Sıcaklık

Sıcaklık en önemli meteorolojik parametre olup, PM'lerin oluşumunda ve kimyasal dönüşümlerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şöyleki; yüksek sıcaklığın olduğu ortamda, PM'lerin atmosferdeki kararlılıkları azalmaktadır. Bununla birlikte dikey yönlü hava hareketleri de artmaktadır. Ardından PM'lerin dağılımları genişleyerek konsantrasyonları iyice düşmektedir. Bir diğer sıcaklığın önemli etkisi olan düşük sıcaklıklarda ise; İnversiyon denen bir çöküntü tabakası oluşur. Böylece kirleticiler bu sınır tabakanın altında kalarak bir nevi hapis edilerek tutulur. Daha sonra PM konsantrasyonları yükseliş eğilimi gösterir. Bir diğer etken olayda; evsel yada trafikten kaynaklı yanma sürecinde özellikle de kış aylarında ısınma kaynaklı PM'lerin konsantrasyonları oldukça yüksek çıkmasıdır (Yun ve Yoo, 2019; Liu vd., 2020). Bu sebeplerden dolayı yıl içerisindeki mevsimsel sıcaklıklardaki değişimler PM'lerin konsantrasyonlarındaki zamansal eğilimlerinde oldukça önemli bir rol üstlenmektedir.

1.4.2. Bağıl Nem

PM'ler üzerinde etkisi olan bir diğer parametre de bağıl nem olup, PM'ler üzerinde hem fiziksel hemde kimyasal değişimlerine etki etmektedir. Suyu tutabilen PM'ler, bağıl nemin olduğu alanda suyu rahatlıkla çeker ve şişmeye başlarlar. Böylece PM'in çapı büyümeye başlar. Daha sonra PM10 çapından TSP'lere geçişler hızlanır. Nemli ortamın PM'ler üzerindeki bir

diğer etkisi ise ikincil aerosol oluşumlarını artırır. Örneğin süfat-nitrat-amonyum oluşumu gibi oluşumları tetikler. Bir diğer etki de, yüksek nem içeriği olan ortamlarda yağ çökelme eğilimlerinin de tetikleyerek artırır. Böylece PM'ler bulunduğu bu ortamdan daha hızlı bir şekilde taşınabilirler (Tao vd., 2020; Yu vd., 2024). Bu sebeplerden dolayı nem PM'ler üzerinde hem konsantrasyon artırıcı hem de azaltıcı etkileri bulunmaktadır.

1.4.3. Rüzgar Hızı ve Rüzgar Yönü

PM'lerin konsantrasyon değişimlerine etki eden bir diğer önemli ve gerçekten etkileyici meteorolojik parametrede rüzgarlardır. Rüzgarların da hem hızı hem de hakim yönleri oldukça etken faktördür. Rüzgar hızı ve rüzgarın yönlendirmesi olduğu her yerde PM'lerin taşınımı ve seyrelmeleri vazgeçilmez olarak gerçekleşen süreçlerdir. Rüzgarların şiddetlerine göre etkileri ele alınacak olursa; düşük güçteki rüzgarlar kirleticileri iyice biriktirir ve PM'lerin yüksek miktarlarda çıkmasını sağlar. Bunun aksine yüksek şiddetlerdeki rüzgarlarda, kirleticileri doğal olarak seyreltir ve PM'lerin miktarlarını da düşürür. Bunlarla birlikte şiddetli esen rüzgarlar da yüzeysel tozları tekrardan havalandırarak TSP ve PM10 konsantrasyonlarını artırabilir (Gonçalves vd., 2022; Yu vd., 2024). Ayrıca rüzgar yönünde kirletici kaynakları açısından oldukça önemli ve etkilidir. Kirleticilerin nereden kaynaklanarak geldiği bu şekilde belirlenebilir. Örneğin trafikten kaynaklı mı, yerleşim bölgesinden mi kaynaklı, yoksa bölgesel taşınım ile mi taşınarak geldiği belirlenebilir (Venter vd., 2017).

1.4.4. Yağışlar

PM'lerin varlığına, taşınmasına ve konsantrasyonlarına ciddi ölçüde etki edebilen bir diğer meteorolojik parametrede yağışlardır. Yağış olarak yağmur ve kar taneleri ele alınmaktadır. Yağışlar olduğu zaman ister yağmur ister kar taneleri kolayca yağ çökelme mekanizması ile atmosferde bulundukları yerden uzaklaştırılırlar. Yağışların başlıca etkilerinden olan ve yağışla doğru orantılı olarak PM konsantrasyonlarını düşürmektedir. Sadece yağışlardan önce meydana gelen atmosferik dalgalanmalar ve basınç değişimlerinden dolayı PM konsantrasyonlarında artışlar olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı yağış ile PM ilişkisi ele alındığında oldukça zamansal farklarla değerlendirilmesi daha doğru sonuçlar oluşturabilir (Liu vd., 2020; Dobut vd., 2024).

Belirtilen ana meteorolojik parametrelerin Baberti kampüsü gibi çukur vadi özelliği gösteren bir yerde kararlı hava koşulları ile özellikle de soğuk havalarda PM birikimlerine sebep olacağına inanılmaktadır (Kılıç, 2008; Tai vd., 2010).

1.5. HAVA KALİTESİNİN İZLENMESİ VE BELİRLEYİCİ KÜRESEL STANDARTLAR

Hava kalitesi en basit tabir ile atmosferde bulunan hava kirleticilerinin canlıların sağlığını tehdit etmeyecek süre ve düzeyde olmasıdır. Bu sebeple uluslararası ve ulusal olarak bu hava kirleticilerine sınır değerler koyulmuştur. PM'lerde özellikle PM₁₀ ve PM_{2,5}'lar üzerinden sınır değerler belirtilmektedir. Bu boyuttaki PM'lerin seçilme sebebi ise, bu boyuttaki PM'lerin daha fazla solunum yolu hastalığı yapması, kalp damar rahatsızlıklara sebebiyet vermesi ve erken ölümlere neden olmasından dolayı seçilmiştir (Pope ve Dockery, 2006; He vd., 2024; Zhao vd., 2024).

İnsanların sağlığının korunmasında yerel olarak Türkiye mevzuatlarının yanı sıra WHO ve AB'den de kaynaklı değerlendirilen sınır değerler yayımlanarak, bu hedeflere uyum politikaları izlenmektedir. WHO'nun kararları rehber değerleri öncü tutup daha fazla korumaktadır. AB ve Türkiye mevzuatında yayınlanan sınır değerler ise daha gevşek olup teknik açıdan ve sosyoekonomik açıdan daha fazla uygulanabilirliği sağlanmıştır (WHO, 2021).

1.5.1. WHO (Dünya Sağlık Örgütü) Sınır Değerleri

WHO, yaptığı tüm hava kalitesi çalışma verilerini özellikle 2021 yılında daha sıkı çalışmalarla hava kirliliği ve hava kirleticilerini sürekli gündemde tutmayı başarmıştır. Yapılan bu sıkı değişikliklerin sebebi ise, PM'lerin insan sağlığına ve dış çevre ekosistemlere ne kadar zarar verdiğinin daha iyi anlaşılmasının bir sonucu olarak görünmektedir (WHO, 2021; Zhao vd., 2024). WHO'nun rehberinde yayınlanan PM'lerin Atmosferde kalış sürelerine göre bulunması gereken sınır değerler olarak açıklamaktadır. Buna göre PM_{2,5}'lar 24 saatlik atmosferde kalış sürelerinde olması gereken sınır değeri 15 $\mu\text{g m}^{-3}$ 'dir. Yıllık olarak bu değer 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak rehberde yayınlanmıştır. Aynı zamanda PM₁₀ içinde 24 saatlik atmosferk süreçlerinde olması gereken sınır değeri 45 $\mu\text{g m}^{-3}$ 'dür. Yıllık olarak PM₁₀ için ise bu değer 15 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak yayınlanmıştır (WHO, 2021). Rehberde yayınlanan bu değerler, canlıların maruz kaldıkları PM'lerin konsantrasyonlarını en düşük değerlere indirmek için hesaplanmıştır.

1.5.2. Avrupa birliği (AB) Sınır Değerleri

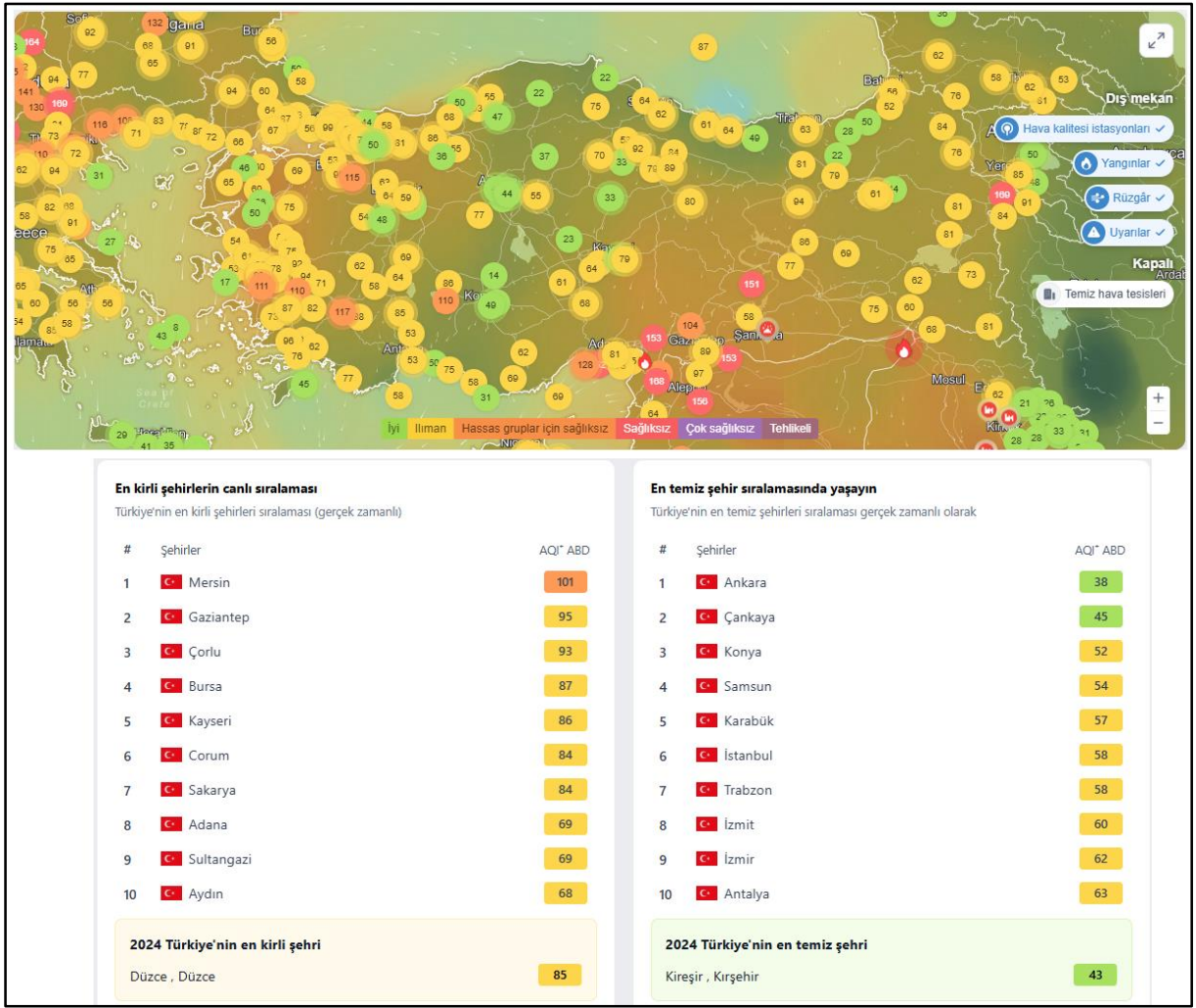
AB mevzuatına göre biraz daha WHO'dan gevşek tutularak, kendine bağlı üye ülkeler için daha ciddi ve bağlayıcı nitelikte hazırlanmıştır (Viana vd., 2007; Venter vd., 2017). AB mevzuatına göre de PM_{2,5}'lar, yıllık olarak atmosferde kalış sürelerinde olması gereken sınır değer 20-25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (kademeli azaltım). Aynı zamanda PM₁₀ içinde 24 saatlik atmosferk süreçlerinde olması gereken sınır değeri 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ (yılda en fazla 35 gün aşımaya izin verilmiştir). Yıllık olarak AB mevzuatında PM₁₀ için bu değer 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak yayınlanmıştır.

1.5.3. Türkiye için Hava Kalitesi Sınır Değerleri

Türkiyede hava kalitesinin çalışılması, takibi ve yönetilme işlemleri “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” (HKDYY) tarafından düzenlenmektedir. (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim değişikliği Bakanlığı, 2008). HKDYY mevzuatına göre; PM_{2,5}’lar yıllık atmosferde kalış sürelerinde olması gereken sınır değeri 25 µg m⁻³ (PM_{2,5} için verilen bu değerler geçiş dönemine denk gelmiştir ve AB mevzuatıyla uyumlu bir hale gelmesi için bir takım çalışmalar yapılmaktadır). Aynı zamanda PM₁₀ içinde 24 saatlik atmosferik süreçlerinde olması gereken sınır değeri 50 µg m⁻³’dür. Yıllık olarak HKDYY mevzuatında PM₁₀ için bu değer 40 µg m⁻³ olarak yayınlanmıştır.

1.5.4. Hava Kalitesi İndeksi (AQI)

Hava kalitesi ile ilgili yapılan tüm takip ve çalışmaların vatandaşlar tarafından daha iyi okunup anlaşılması için AQI sistemi kullanılmaktadır. Bu AQI sistemine göre PM’ler belirli aralıklar arasında sınırlandırılır ve her aralığa bir renk verilerek karşısına da insan sağlığı ile ilgili bilinmesi gereken mesajlar verilir (Ahmed vd., 2024; He vd., 2024). Bu indeksteki veriler tezin sonuç kısmında elde edilen PM’lerin konsantrasyon değerlerinin insan sağlığın açısından yorumlaması yapılacaktır. Aşağıda Türkiye’deki Hava Kalitesi Endeksi (AQI) ve PM_{2,5} hava kirliliğine örnek olarak, 10.12.2025 tarihli güncel bir çalışma sonucu gösterilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Türkiye'de İllere Göre PM_{2,5} Hava Kirliliğini Gösteren Örnek Hava Kalitesi Endeksi (AQI) (URL-8)

Şekil 8'den de görüldüğü üzere renkler ve tesbit edilen PM_{2,5} konsantrasyon değerlerine göre Türkiye'deki en kirli ve en temiz hava kalitesi indeksi açıklanmıştır. Çalışılan bu tarihe göre Türkiye'de AQI en temiz il Kırşehir, en kirli ili de Düzce olarak raporlanmıştır.

1.6. TÜRKİYE ATMOSFERİNDEKİ HAVA KİRLİLİĞİ VE UYGULANAN YASAL DÜZENLEMELER

Türkiye'deki mevcut hava kirliliği, diğer uluslararası gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi insan nüfus artışına bağlı olarak kentlerin büyümesi, sanayilerin kontrolsüz gelişmesi ve halen daha fosil içerikli yakıtların yakılmasından dolayı uzun yıllardır önemli bir çevre sorunu olarak devam etmektedir (Kılıç, 2008). Özellikle 1950'den beri kırsal alanlardan kent merkezlerine doğru insan göç yoğunluğunun artması neticesinde kentlerde dikkatsizce yapılan alt yapı ve planlama eksikleri nedeniyle yoğun hava kirliliklere sebep olmuştur. Özellikle 1980 ve 1990 yılları arasında İstanbul, Ankara, Bursa ve Erzurum gibi büyük şehirlerin sanayilerinden dolayı kış aylarında yoğun bir şekilde SO₂ ve PM kaynaklı kirleticiler kent atmosferlerinde ölçülmüştür.

Türkiye’de 1950 yıllarından sonra ciddi manada hava kirliliğinde artış olduğundan 2000’li yıllara doğru hava kirleticilerini önleme konusunda yasal ve kurumsal çalışmalara ciddiye verilmiştir. Örnek olarak 1983 yılında yayınlanan Çevre kanunu, çevre korumasına ilişkin temel adımlar atılmıştır. Böylece hava kirliliğine yönelik daha sonraki atılacak politik adımların dayanağı olmuştur. 1983 yılı çevre kanunun yürürlüğe girmesini takip eden yıllarda da bazı sanayi ve çalışma alanların emisyon sınır değerleri belirlenmiştir. Bu alanların başında; ağır sanayi ve diğer sanayi tesisleri, enerji üretim santralleri, ısınma amaçlı yakıt kullanımları gibi alanlarda emisyon sınır değerleri oluşturulmuştur (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2008).

Türkiye’de ayrıca hava kalitesi izleme çalışmalarda her bölgede farklı konumlarda ulusal izleme ağı kurulmuştur. İzleme ağına ilk başlarda her ne kadar SO₂ ve PM gibi 2 parametreye bakılsa da zamanla bu sayı artırılarak NO_x, O₃ ve CO gibi hava kirleticiler de ölçüm ağına eklenmiştir. Büyük şehirlerde kömürden kaynaklı ısınmanın ve anormal SO_x ve PM yükünü azaltmak için doğal gaz ve kaliteli kömür yakılmasına hem teşvik edildi hem de yasalar ile kömür giriş çıkışları kontrol altına alındı. Böylece büyük kentlerin atmosferinde eskiye oranla daha az SO₂ ölçümler kaydedilmiştir. SO₂’lerdeki düşüşün aksine de kent trafiğinde artan motorlu taşıtlar ve inşaat sektörünün yoğunluğundan dolayı PM ve NO₂ gibi hava kirleticileri önemli bir çevresel problem olarak devam etmektedir (Ahmed vd., 2024; Dobut vd., 2024).

Türkiyede yukarıda da belirtildiği gibi hava kalitesi yönetimi, HKDYY ve ilgili hazırlanmış mevzuatlar çerçevesinde yönetilmektedir. Bu çerçevede;

Her şehir ve şehirleri kapsayan bölgelerinde izleme istasyonlarının kurulması. Elde edilen hava kirletici verilerin ulusal sınır değerler ile karşılaştırılması. Tesbiti yapılan kötü hava kalitesinin olduğu il ya da bölgelerde “Temiz Hava Eylem Planlarının” ivedili olarak hazırlanması. Sanayi, trafik, konut gibi alanlardan kaynaklanan emisyonların kontrol altına alınması gibi bir çok çalışmanın acil bir şekilde yapılması gerekmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2008).

Bu yükümlülükler ile birlikte bilimsel çalışmaların artışı için gerekli teşvikler verilerek öncelikli olarak sanayi ve trafiğin yoğun olduğu büyükşehirlerde çalışmalara hız verilmiştir. Orta ve küçük ölçekli yerleşim yerleri, kırsal alanlar hatta rakımı yüksek olan bölgelerin çalışmaları büyük şehirlere göre daha düşük kalmıştır. Bu durum ülkenin bölgesel hava kalitesi net olarak çıkarılmasında yetersiz kalmasına sebep vermektedir. Ayrıca yerel seviyelerde geliştirilmesi gereken hava kalitesi izleme politikalarının da etkileyerek kısıtlamaktadır (Kılıç, 2008).

Bu sebeplerden dolayı Bayburt gibi nüfusu en düşük ve sanayisi neredeyse yok denecek kadar az, fakat iller arası geçiş koridorunda olma sebebiyle de hem trafik ve ısınma dan kaynaklı kirleticilerin yoğun olduğu illerde bu çalışma gibi çalışmaların literatüre kazandırılması oldukça büyük önem taşımaktadır. Özellikle PM_{2,5} ve PM₁₀'lar ve hatta araştırılabilecek ve PM'lere bağlı diğer toksik bileşikler gibi kirleticiler üzerine gerçek sahada agretide olmuş cihazlar (YHHÖ, ICP-MS, XRD ve FTIR) ile bu çalışmanın yapılması, ulusal bazda eksik ya da boşlukta kalan kısımların doldurulması açısından oldukça önem taşımaktadır. Ayrıca bu çalışma sayesinde de PM'ler açısından Türkiye'nin genel hava kirlilik profilinin daha gerçekçi bir şekilde okunmasına tam katkı sağlamaktadır (Kılıç, 2008; He vd., 2020; Xiao vd., 2022).

Bu tez çalışması ile, Türkiye'nin hava kirliliği yönünde hazırlamış olduğu literatüründe, daha önceden tesbit edilememiş PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyon ve karakterizasyon çalışmasını, Baberti kampüsü gibi küçük ölçekli nüfusa sahip ve yarı-kentsel bir bölgede tesbiti yapılarak, ulusal alanda büyük bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

1.7. BAYBURT İLİNİN ATMOSFERİK YAPISI VE BÖLGESEL KİRLİLİK DAĞILIMLARI

Bayburt ili, Türkiye'nin en küçük ilidir. Coğrafi konum olarak, Doğu Karadenizin iç kısımlarında yer almaktadır. Yerleşim yeri çanak şeklinde çukur bir yerleşim alana sahip bir konumdadır. Genellikle karasal iklim koşullarına sahip bir bölgedir. Kış ayları oldukça çetin soğuklarla mücadele eden bölge halkı, yaz aylarını düşük nemli sıcaklıklarla yaşamlarını sürdürmektedirler. Bu tarz iklim özelliği taşıyan bölgelerde genellikle kış aylarında hava kirliliği açısından oldukça riskli bölge konumundadır. Kent merkezinin etrafı ise tamamen yüksek dağlarla çevrilidir. Böyle bir dağlık yükselişin kent etrafında olması, atmosferdeki hava kirleticileri açısından gece ve sabah saatlerinde kararlılıklarının oldukça yüksekte olması anlamına gelmektedir. Bu durum ayrıca hava kirleticilerinin sınır tabakası altında birikmesine yol açabilmektedir.

Bayburt ilinde her ne kadar ağır sanayi tesislerinin olmaması hava kirliliği açısından temizmiş görünüyor gibi olsada, özellikle kışın ısınma kaynaklı konutlarda kullanılan katı yakıtlar, trafik kaynaklı eksoz emisyonları, farklı sektörlerden kaynaklanan toz fırtınaları ve bölgeden kaynaklı farklı taşınımalar gibi faktörlerden kaynaklı solunabilir ince mod PM'lerin atmosferde birikmesine sebep olur. Aynı zamanda kış aylarındaki düşük sıcaklıklar, kömür yakımı ve kararlı atmosferik şartlardan dolayı PM'lerin konsantrasyonlarının artmasına sebep olmaktadır.

Bayburt ilinin ekonomik yapısı ve nüfusundan kaynaklı olmak üzere hava kirliliği hem ölçümlerle hem de görsel takipler sonucu düzensiz bir eğilimde olduğunu göstermiştir. Aynı

zamanda hava kirleticilerin kaynakları da bu sebeplerden dolayı yerel kaynaklara bağlanmaktadır. Ayrıca kent merkezinin topografik yapısı çanak şeklinde olduğundan hava kirleticiler hem yatay hemde dikey yönde taşınmaları oldukça sınırlanmaktadır. Bu durum özellikle akşam saatlerinde PM'lerin konsantrasyonlarının da artmasına sebep olmaktadır. Yaz aylarında ise özellikle madencilik ve inşaat sektörlerinden kaynaklı yoğun toz salınımları ve tarımsal aktiviteler sonucunda özellikle PM10 miktarlarını ciddi mana da etkileyen kaynaklar durumundadırlar.

1.7.1. Baberti Kampüsü'nün Atmosferik Yapısı ve Coğrafik Konumu

Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü kent merkezine oldukça yakın bi konumda olup, yarı-kentsel özellikleri barındırmaktadır. Bulunduğu bu konum özellikleri incelendiğinde ise, kent içi oldukça fazla trafikten ve yerleşim alanlarından kaynaklı kirleticiler oluşmaktadır. Konumu nedeniyle kırsal alanlardan bol miktarda toz ve tarımsal partiküller taşınmaktadır. Ayrıca bölgesel hava hareketleri ve dış illerden gelen kirleticilerin de uzun menzilli taşınımına maruz kalılabilmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, Baberti kampüsünde yapılacak olan atmosferik çalışmada, Bayburt ilinin kent atmosferini temsil edebilecek bir konumda olduğuna inanılmaktadır. Örnekleme alanı, ne tamamen kentsel alana girmekte, ne de tamamen kırsal alana girmemektedir. İkisinin orta özelliği olan yarı-kentsel bir alan özelliğindedir. Bu özelliklerden dolayıda, çeşitli kaynaklardan gelen kirleticilere ev sahipliği yapabilmektedir. Aynı zamanda mevsimsel etkiler çok rahat bir şekilde karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca Meteorolojik faktörlerinde PM'ler üzerindeki etkisini net bir şekilde analiz etmeye olanak sağlamaktadır.

1.7.2. Çalışma Konusunun Bilimsel Açidan Literatüre Katkısı

Atmosferik PM_{2,5} ve PM₁₀'lar arasındaki kimyasal etkileşimleri, konsantrasyonları, karakterizasyonlarını ve çevresel sağlık risklerini belirlemek oldukça kritik öneme sahiptir. Bu kirleticilerle ilişkili kaynakların ve bu kaynaklardan çıkan emisyonların etkileri ivedili olarak çalışılarak, bu kirleticilere karşı aktif mücadele programları hayata geçirilmesi gerekmektedir. Böylece bilim insanları, sağlık yetkilileri ve siyasetçiler arasında sürekli araştırma ve işbirliğini sağlanmalıdır. Kapsamlı olarak devlet politikalarında düzenlemeler ve uygulanmaların yanı sıra izleme çabalarının da artırılması gerekmektedir. Bu açıdan atmosferik kirliliğin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasında oldukça etkili olacaktır. Özellikle dış çevrede hayatta tutunmaya çalışan tüm canlılara zararlı etkilerinin yanı sıra, çalışılan bu kirleticiler insanlarda da en çok akut ve kronik hastalıklara sebebiyet vermektedir. Hatta PM_{2,5} ve PM₁₀'ların toksik etkileri ile birlikte adsorbladıkları farklı toksitler nedeniyle de (ağır metal,

PAH, PCB, OCP, vb.) Mutajenik etkilere de sahip olma özellikleri bulunmaktadır. Bunlarla beraber ölümcül etkilerinin de yanı sıra Kanserojenik özellikleride dikkate alındığında, insan sağlığını korumak ve yapılabirlikleri teşvik etmek için atmosferik PM_{2,5} ve PM₁₀'ların kirliliklerini, izleme ve azaltmaya yönelik ciddi manada örnekleme ve analiz çalışmalarının yerel ve küresel ölçekte elzem bir konu olduğu kanaatine bu çalışma ile birlikte varılmaktadır.

Sonuç olarak, Bayburt ilinde bundan önceki yıllarda PM'ler konusunda oldukça sınırlı, PM'lere bağılı toksik kirleticiler hakkında ise hiçbir çalışma gerçekleşmemiştir. Bunlara karşın bu tezde; PM_{2,5} ve PM₁₀'ların varlığını ve konsantrasyonlarını ve Meteorolojik faktörlerin bu kirleticilere olan etkilerini tek bir çatı altında toplayarak, bütüncül olarak değerdendiren ilk çalışma olarak literatür tarihine geçmektedir. Bu açıdan bakıldığında sadece yarı-kentsel bir bölgenin yerel hava kalitesi hakkında detaylı bilgi vermekle kalınmamıştır. Aynı zamanda Türkiyedeki benzer küçük nüfusa sahip bölgelerin hava kirliliğı ve hava kirleticileri konsantrasyon ve karakterizasyonlarına örnek olarak ışıktutacağına inanılmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. YÖNTEM

2.1. ÖRNEKLEME ÇALIŞMA PROGRAMI

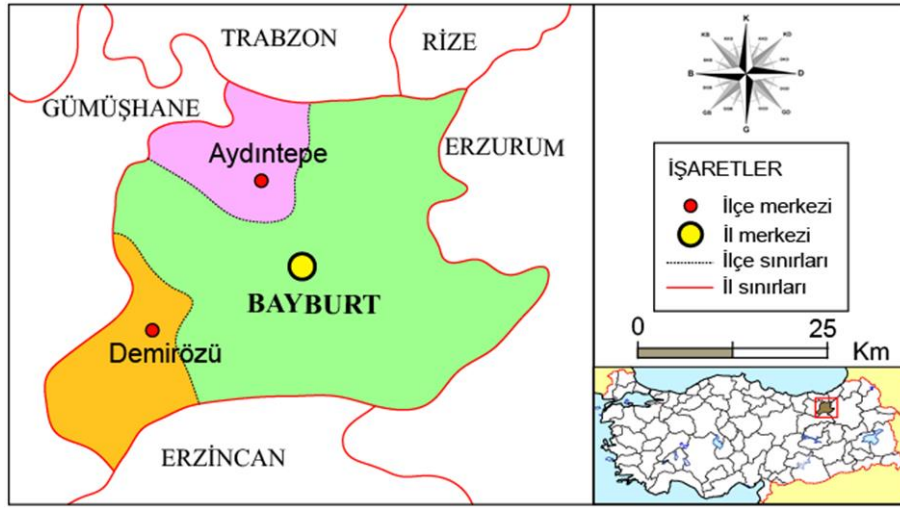
Hava kirliliği çalışmalarında, atmosferdeki partikül maddelerin (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ gibi) konsantrasyon düzeylerinin doğru şekilde belirlenebilmesi için bir takım temel hazırlık aşamalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamalar genel olarak; örnekleme süreci, laboratuvar ön hazırlıkları ve analiz uygulamaları olarak üç başlık altında toplanmaktadır. Bu süreçlerin her birinin, uluslararası alanda kabul gören WHO, EPA ve EN gibi standartlara uygun olarak yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Atmosferde askıda bulunan PM'lerin konsantrasyonlarının ve karakteristik özelliklerinin doğru şekilde hesaplanabilmesi gerekmektedir. Sadece örnekleme ve laboratuvar aşamalarının değil, aynı zamanda hesaplamaların netliği açısından da analiz işlemlerinin doğru ve amaca uygun seçimi oldukça elzem ve kaçınılmaz bir durum olduğunu göstermektedir. Literatür çalışmalarında PM'lere bağlı ağır metal ya da organik çalışmalarında; konsantrasyon ölçümleri için genellikle ICP-MS, GC-MS ya da iyon kromatografisi gibi ileri kromatografik cihazlar kullanılmaktadır. Partiküllerin yapısal ve mineralojik karakterizasyonunda ise TEM, SEM, FIT-IR ve XRD gibi ileri görüntüleme teknolojilerinden yararlanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, örnekleme faaliyetlerinde seçilen noktaların özellikleri, kullanılan örnekleme ekipmanları ve örnekleme sıklıkları detaylı biçimde ele alınacaktır. Ayrıca laboratuvar hazırlık sürecinde uygulanan yöntemler ile kullanılan ekipman ve malzemelerin analiz işlemleri öncesi nasıl hazırlandığına dair detaylı bilgiler sunulacaktır. Son olarak analiz aşamasında, hangi yöntemlerle partikül konsantrasyonlarının belirlendiği ve hangi yöntemlerle partikül karakterizasyonlarının (Meteorolojik faktörler ile etkileşimleri) yapıldığı açıklanacak, sonuçlar bilimsel ölçütler doğrultusunda tartışılacaktır.

2.1.1. Bayburt İlinin Demografik Yapısı

Bayburt, Türkiye'nin doğusunda Karadeniz bölgesi'nin iç kesimlerinde yer alan en küçük illerden biridir. Özellikle tarihsel ve kültürel değerleriyle öne çıkan küçük, ancak büyük kentleri bir birine bağlaması açısından oldukça jeopolitik konumu olan bir yerleşim merkezidir. Coğrafi olarak 40° 15' kuzey enlemleri ile 39° 35' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda Bayburt, doğuda Erzurum, güneyde Erzincan ve batıda Gümüşhane illeriyle de komşudur (Şekil 9). Bayburt'un yüzölçümü yaklaşık 3.652 km² olup, Türkiye'nin yüz ölçümü açısından da en küçük illerinden biri olduğu bilinmektedir.

Nüfus verilerine bakıldığında, Bayburt'un toplam nüfusu yaklaşık 85.000 kişi civarındadır. Nüfusun büyük bölümü il merkezi ve çevresindeki yarı-kentsel alanlarda yoğunlaşmış durumdadır. Kırsal bölgelerde nüfus yoğunluğu oldukça düşüktür. Bayburt, Türkiye'nin diğer illerine oranla en düşük nüfuslu illerden biri olma özelliğininde taşımaktadır. Son yıllarda genç nüfus oranında bir düşüş gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarakta sürekli göç veren iller arasında olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle farklı şehirlerdeki üniversite eğitimi ve işsizlik gibi sebeplerle gençler büyük şehirlere göç etme durumunda kalmaktadırlar. Ekonomik açıdan incelendiğinde ise, Bayburt ekonomisinin ağırlıklı olarak tarım, hayvancılık ve küçük ölçekli de olsa sanayiye dayalı olduğu görülmektedir. Tarımsal üretimde arpa, buğday ve patates gibi ürünler genellikle ekilip biçilmektedir. Hayvancılık sektöründe ise oldukça önemli faaliyetleri bulunmaktadır. İlde son yıllarda organize sanayi bölgelerinin genişletilip üretime dayalı tesislerin kurulmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda altyapı yatırımları sayesinde ekonomisinde hem çeşitlilik hem de ekonomik canlılığın artırılması için çaba harcanmaktadır. Eğitim açısından ise, Bayburt üniversitesi'nin kurulması ile birlikte genç nüfus için eğitim imkanları oldukça genişlemiştir. İl merkezinde bu vesile ile yeni sosyal ve kültürel yapılar yapılmıştır. Böylece üniversite öğrencisine yönelik esnaf çeşitliliğide artmıştır. Kurulmuş olan bu üniversite sayesinde, Bayburt ilinin hem demografik yapısı değişmiştir hem de sosyo ekonomik gelişmelerle bölge halkı ve esnafına can suyu olmuştur. Bayburt ilinin iklimsel özellikleri açısından incelenecek olursa; oldukça kış aylarında karasal iklimin etkisi hakim olmaktadır. Aynı zamanda kışları oldukça soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Yaz aylarında ise ise sıcak ve kurak bir iklim havası içerisinde geçmektedir. Bayburt'un oldukça zor şartlarda geçen iklimsel özellikleri sayesinde, tarım ürünlerinin çeşitliliğini de sınırlamaktadır. Özellikle kış aylarında Kop Dağı başta olmak üzere hem kent içi hemde bağlantı yollarının ulaşımı zaman zaman olumsuzluklar yaşanmaktadır (Kılıç, 2008). Özellikle Kop Dağı Tünelinin tamamlanmaması, kışın hem maddi hem de manevi can kayıpları gibi istenmeyen durumlar meydana getirebilmektedir. Bu durumda bir an önce çözülmesi için ilgili yetkililerin hızlı bir şekilde Kop Tünelinin açılmasına destek vermelerini buradan da önemle hatırlatılmak istenmektedir.



Şekil 9: Bayburt Fiziki İl Haritası (URL-9)

2.1.2. Bayburt İlinin Meteorolojik Yapısı

İl, Karadeniz bölgesine yakın olmasıyla birlikte, klasik Karadeniz iklimine biraz yakındır. Ama yinede farklı olarak daha çok karasal iklim özelliklerini göstermektedir. Denizden oldukça uzak iç kesimlerde yer alan Bayburt ili, yüksek rakımda konumlanmıştır. Aynı zamanda Bayburt'ta kışlar uzun, sert ve kar yağışlı geçmektedir. Yazlar ise sıcak ve kurak olarak kendini göstermektedir. Yıllık sıcaklık ortalaması yaklaşık olarak 8-10 ° C arasında değişmektedir. Özellikle kış aylarında sıcaklıklar -20 ° C'nin de altına düştüğü anlar, sıklıkla Meteoroloji bölge müdürlüğünün kayıtlarında paylaşılmaktadır. Yaz aylarında ise sıcaklıklar kış aylarındaki -20 ° C'den yaklaşık 50 ° C artışlar göstererek, 30 ° C'nin üzerine çıkabildiği de raporlanmıştır. Bu anormal şekilde değişkenlik gösteren sıcaklık farkları nedeniyle, Bayburt ilinin başta doğal yapısını etkilemektedir. Aynı zamanda da tarımsal üretim potansiyelinide doğrudan değiştirip etkileyebilmektedir. Diğer taraftan Bayburt ilinde yağışların durumu ise, kış ve ilk bahar aylarında yağışların fazlaştığı görülmektedir. Elde edilen verilere göre yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 400-500 mm civarında olduğu tesbit edilmiştir. Kış aylarında kar yağışları, özellikle kasım ayından başlayıp, Mart'ın sonuna kadar yağdığı görülmüştür. Kar yağışının yoğun olduğu bu aylarda ulaşım aksaklıkları sıklaşabilmektedir. Aynı zamanda günlük yaşamı olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yaz aylarında ise yağış miktarı oldukça azalmaktadır. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında kuraklıklar yaşanmaktadır. Bu durum, özellikle atmosferik hava kirleticilerinin mevsimsel olarak değişmesine sebep vermektedir. Aynı zamanda hava kirleticilerin zamansal değişimlerinde ciddi etki etmektedir. Ayrıca Bayburt ilini rüzgar yönü ve şiddeti açısından da değerlendirilecek olursa; çoğunlukla kuzey doğudan esen orta şiddette rüzgarlar sıklıkla rapor edilmiştir. Ancak kış aylarında da şiddetli rüzgarlar ve fırtınalar gözlemlenmektedir. Bu tarz esen rüzgarlar, soğuk hava katmanlarını Bayburt ili üzerinde daha fazla etkili olmasına sebep vermektedir. Ayrıca soğuk havanın sürekli

olarak kalmasına da neden olmaktadır. Diğer taraftan rüzgarların getirdiği toz ve tanecikler yüzünden hava kalitesinde yıl içerisinde ciddi değişimlere sebep olmaktadır. Bayburt'un Meteorolojik özelliklerine genel açıdan bakıldığında, ilin çevresel faktörlerini, tarımın işleyişini, yerleşim hayatın düzenini ve özellikle de ulaşım ve ulaşım altyapısını doğrudan etki etmektedir. Buna karşın, her ne kadar iklimsel zorluklar yaşansa da, Bayburt'un soğuk iklimine alışmış yerel bitki örtüsü ve tarım uygulamaları bulunmaktadır. Aynı zamanda, Bayburt ilinde görülen hava kirliliği bölgenin karakteristik yapısının da korunmasına büyük ölçüde katkı sağlamaktadır (Kılıç, 2008). Diğer taraftan aşağıda Şekil 10'dan da görüldüğü gibi Bayburt ilinde son 65 yılda gerçekleşen önemli Meteorolojik faktörlerdeki değişkenliği dikkat çekmektedir. Şekil 10'a bakıldığında, 110 cm gibi yüksek kar kalınlığı, 44,8 m s⁻¹ gibi yüksek hızlarda günlük esen rüzgarlar ve 61,5 mm gibi yüksek miktarda yağış almış bir kent profilinin meteorolojik değişkenliklerini sunmaktadır.

BAYBURT	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2024)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-6,1	-4,8	0,5	7,1	11,6	15,4	18,8	18,9	14,9	9,3	2,8	-3,0	7,1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-0,8	0,8	6,0	13,3	18,4	23,0	27,2	27,9	23,7	16,9	8,9	1,9	13,9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-10,3	-9,1	-4,0	1,8	5,7	8,5	11,2	11,1	7,5	3,6	-1,7	-6,9	1,4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11,20	10,89	12,95	13,86	15,85	10,59	5,20	4,41	5,03	8,74	8,94	10,89	118,5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	27,1	27,5	43,3	62,2	73,0	51,6	21,7	15,9	22,2	43,0	34,0	29,4	450,9
Ölçüm Periyodu (1959 - 2024)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	11,0	13,9	21,2	27,1	31,3	34,7	37,0	38,4	34,4	28,8	20,7	18,2	38,4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-31,3	-27,6	-28,3	-12,7	-4,4	-1,6	0,2	2,4	-2,1	-10,6	-23,6	-29,0	-31,3
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı				Günlük En Hızlı Rüzgar				En Yüksek Kar					
04.06.1960				12.06.2008				04.03.1976					
61,5 mm				44,8 m/sn				110 cm					

Şekil 10: Bayburt Kent Merkezine Ait Son 65 (1959-2024) Yıllık Ortalama Meteorolojik Parametreler (URL-10)

2.1.3. Bayburt İlinin Karakteristik Hava Kirliliği ve Özellikleri

Bayburt ili, Türkiye genelinde diğer iller bazında değerlendirildiğinde, gelişmemiş sanayisi ve az nüfus yoğunluğu sayesinde büyükşehirlere göre daha temizdir. Aynı zamanda benzer yakın şehirlere göre de çokta temiz olmayan bir atmosferik ortama sahiptir. Büyükşehirlere nazaran temizliliği Bayburt atmosferindeki hava kirliliğinden tamamen temizlenmiş olduğu anlamına gelmemektedir. Kış aylarında özellikle ısınma kaynaklı konutlarda yakılan fosil yakıt sebebiyle, evsel ısınmadan kaynaklı PM'lerin (PM_{2,5} ve PM₁₀) konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda karasal iklim sebebiyle yakıt tüketiminde de ciddi artışlar göstermektedir. Bu durumda Bayburt atmosferinde PM'lerin çoğalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu durum özellikle sabah ve akşam saatlerinde gözle görülür sisli ve kirli hava olaylarına yol açmaktadır.

Bayburt'un atmosferinde en çok görülen hava kirleticileri arasında PM'ler, SO₂'ler ve N₂O'lar yer almaktadır. PM'ler açısından ele alındığında; PM_{2,5}'ların atmosferik ortamdaki konsantrasyonları, sıcaklık azaldığında ve rüzgar hızında düşmeler olduğunda artmaktadır. Aynı zamanda özellikle kış mevsiminde yerel ve uluslararası sınır değerlerin üzerinde değerler görülebilmektedir. Yaz aylarında ise, havada rüzgar hızı ile birlikte hava katmanlarının artmasına bağlı olarak düşüşler görülebilmektedir. Aynı zamanda ısınma ya da trafik kaynaklı fosil yakıt kullanımının da azalmasıyla PM ve gaz kirletici konsantrasyonlarında önemli ölçüde düşüşler gözlenmektedir. Ayrıca Bayburt'un Dağlarla çevrili çanak şeklindeki topografik kırsal yapısından dolayı, tarımsal alanlarda tarımsal aktiviteler nedeniyle tarım topraklarında ciddi hareketlenmelerden de kaynaklı PM artışı olmaktadır. Bunlarla birlikte merkezde Trabzon ve Erzurum gibi büyük illerin nakliye yollarının geçmesinden kaynaklı araç kullanımlarında, özellikle yine yaz aylarında toz ve kaba mod PM'lerin miktarında önemli ölçülerde artışa neden olmaktadır. Ayrıca, Bayburt iline ait geniş araziler ve oldukça yüksek rakımlı bölgelere sahip olduğundan, atmosferik hava kirleticilerinin Dağılımları bakımından avantaj sağlamaktadır. Bu durum, Bayburtta rüzgarın sert estiği günlerde hava kirleticilerinin seyrelmesini daha da kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda kalıcı kirlenme problemlerinin oluşmasını da engel olmaktadır. Ancak Bayburt'un özellikle kapalı ve vadilik alanlarında meteorolojide hafifleme olduğu zamanlarda hava kirliliği geçici de olsa yoğun bir şekilde yaşanmaktadır.

Genel olarak bu konu ele alınacak olursa, Bayburt ili Türkiye'de özellikle büyükşehirlerinde bulunan büyük sanayi merkezlerine göre oldukça düşük hava kirleticileri ve dolayısıyla da hava kirliliği olayları yaşanmaktadır. Mevsimsel olarak kış aylarında ısınma kaynaklı konutlarda fosil yakıt tüketiminin artması, yaz aylarında da kırsaldan gelen tarımsal, madencilik ve yapı işleri kaynaklı toz emisyonlarının artması nedeniyle, Bayburt ilinin kentsel atmosferinin hava kalitesinde mevsimsel ya da zamansal değişimler hatta bozulmalar olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı Bayburt'un hava kalitesinin daha temiz ve kirleticilerden arındırılabilmesi için özellikle konut ısınma kaynaklı emisyonların ve trafik kaynaklı eksik yanma emisyonlarının azaltılması acilen gerekmektedir. Bir taraftan bu tarz önleyici aksiyonlar alınırken, diğer taraftan da yeşil enerji kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda kırsaldan kaynaklı toz PM'lerin kontrol altına alınmasında uygun yönetimsel çalışma politikalarının geliştirilmesi de oldukça önem arz etmektedir (Kılıç, 2008).

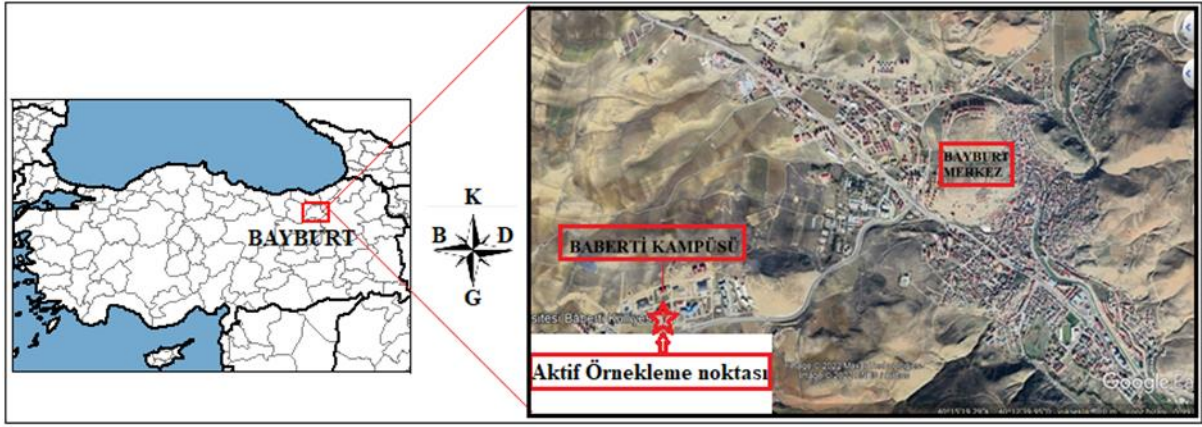
2.1.4. Örneklem Çalışmaları, Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

Bu çalışmada, Türkiye'nin nüfus açısından en küçük ili olan Bayburt'un, yarı-kentsel konumundaki Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü'nde atmosferik ince mod (PM_{2,5}) ve kaba mod (PM₁₀) PM'lerin konsantrasyonları ile karakterizasyonlarının belirlenmesi

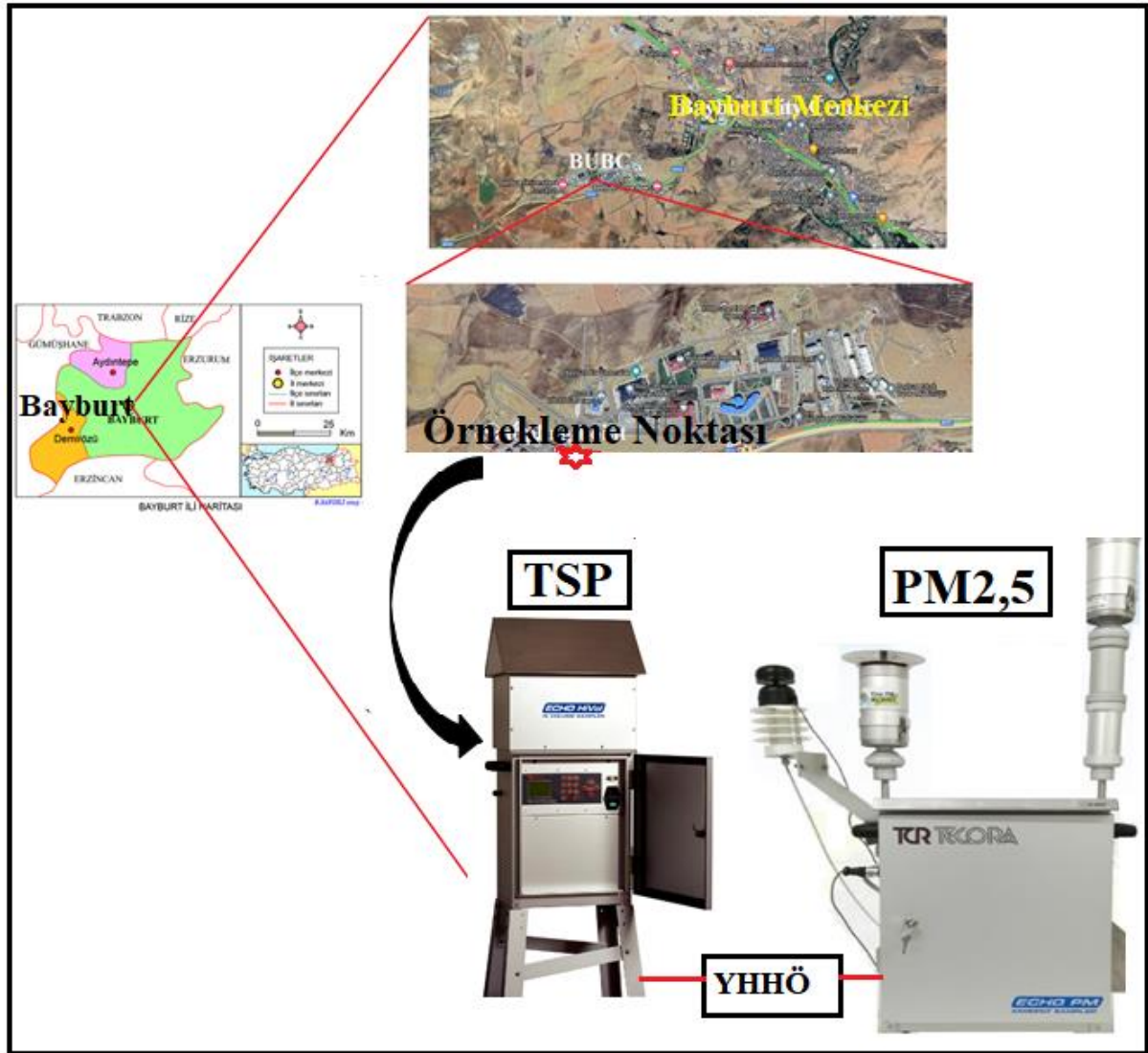
hedeflenmiştir. Çalışmada aktif örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Örnekleme noktasında aktif örnekleme gerçekleştirmek için de 2 farklı başlıklı (PM_{2,5} ve PM₁₀) 2 adet yüksek hacimli hava örnekleme (YHHÖ) cihazı ile örneklemler yapılmıştır. Yapılan örneklemler neticesinde elde edilen numunelerin laboratuvar analizlerinin yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, yarı-kentsel bir alan olan Baberti kampüsüne ait atmosferik PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının zamansal ve mevsimsel değişimlerini ortaya konulması amaçlanmıştır. Türkiye genelinde benzer çalışmalar genellikle batı illerinde oldukça fazla yapılmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde de Erzurum'dan sonra ilk kez Bayburt ilinde böyle bir kapsamlı veri seti araştırması gerçekleştirilmiştir (Paloluoğlu, 2016). Böylece Bayburt ili Baberti kampüsüne ait PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları belirlenerek, meteorolojik faktörlerle etkileşimlerini ortaya çıkarıp karakterizasyonlarını açıklamada ilk defa bilimsel olarak çalışılıp, kayıt altına alınmıştır.

Bu hedef ve amaçlar doğrultusunda, Bayburt'ta ilk defa özgün bir örnekleme programı yapılmıştır. Bu program örnekleme takviminde sahada başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın literatürdeki diğer araştırmalardan farkı, PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyon ve karakterizasyonları, 1 yıllık mevsimsel ve zamansal peryot gibi uzun bir zaman diliminde ele alınarak, yaz ve kış mevsimlerine göre de farklı meteorolojik şartlar altında ayrılarak detaylı bir şekilde araştırıldığına inanılmaktadır. Ayrıca yarı-kentsel bir alan olan Baberti kampüsünde, aktif örnekleme yöntemi ile 2 adet farklı başlıkta YHHÖ cihazı kullanılarak bu amaçlar doğrultusunda ilk kez örnekleme yapılarak veri toplanmıştır. Örnekleme sürecinin kış dönemi örnekleme, 01-29 Şubat 2024, 01-31 Mart 2024 ve 02-11 Nisan 2024 tarihleri arasında yapılmıştır. Yaz dönemi örnekleme ise 13-30 Haziran, 01-31 Temmuz 2024 ve 01-12 Ağustos 2024 tarihlerini gerçekleştirilmiştir. Aktif örnekleme noktası olarak belirlenen Baberti Kampüsü'nde, altmışar günlük yaz ve kış örnek toplama çalışması başarıyla tamamlanarak, toplamda yüz yirmi adet PM_{2,5} ve yüz yirmi adet te PM₁₀ örnek numunesi GFF'ler aracılığı ile toplanmıştır.

Sonuç olarak, aktif örnekleme yöntemiyle kış ve yaz mevsimlerinde, tek bir sabit noktadan toplam yüz yirmi adet PM_{2,5} ve yüz yirmi adette PM₁₀ numunesi başarıyla alınmıştır. Diğer taraftan Bayburt'un iklimsel zorluklarından dolayı da, ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde örnekleme yapılamamıştır. Bu dönemleri de kapsayacak şekilde yaz ve kış ayları dağıtılarak gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktasının yeri ile ilgili bilgiler ve kullanılan cihazların detaylı görüntüleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 11 ve Şekil 12).



Şekil 11: Çalışmanın Yapıldığı Bölge ve Örneklem Noktası



Şekil 12: Örneklem Noktasında Kullanılan PM10 ve PM2,5 Başlıklı YHHÖ Cihazları

Örneklem noktası, Bayburt şehir merkezine yaklaşık 5 km mesafededir. Örneklem yapılan bölgenin çevresi doğudan alçak Dağlar ile çevrelenmiştir. İçeriden ise kampüs binaları ve lojmanlar ile sarılmıştır. Deniz seviyesinden yaklaşık 1600 metre yükseklikte olan örneklem alanı yarı-kentsel ile kırsal karakteristik özellikleri daha fazla göstermektedir.

Örnekleme bölgesinin güvenli yapısı sayesinde, YHHÖ cihazı korumak için herhangi bir önlem alınmadan kullanılmıştır (Şekil 13). Örneklemede partikül faz konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla GFF filtreler seçilmiştir. GFF'ler örnekleme noktasına götürülürken ve analiz öncesi laboratuvara geri getirilirken GFF'lerin kirlenmesini önlemek için özel paslanmaz çelik kutularda muhafaza edilmiştir. Örnekleme numuneleri, günlük olacak şekilde her sabah 09:00'da başlanarak 24 saatlik periyotlarla alınmıştır. Yaz ve kış mevsimlerinde günlük örnekleme yapılacak şekilde çalışılmıştır (Şekil 13). Toplamda her bir PM_{2,5} ve TSP için yüz yirmi günlük veri seti elde edilmiştir.

Diğer taraftan örneklenmesi tamamlanan tüm filtreler, laboratuvar ve analizlerin sonuçlanmasına kadar laboratuvar ortamında kapalı desikatörlerde saklanarak nemden ve farklı bir dış kirleticilerinden korunmuştur. Tüm örnekleme zamanında her gün örnekleme noktasına ait sahaların kontrolleri yapılmıştır. Herhangi bir cihaz bağlantısı ya da elektrik sistemlerinde olabilecek aksaklıkları titizlikle kontrol edilmiştir. Acil durumlar için de gerekli öngörülen ve planlanan önlemler alınmıştır. Örnekleme çalışmalarının ardından laboratuvar aşamasına geçilmiştir. Burada da gravimetrik analiz yöntemiyle kütle hesaplamaları sonucunda PM'lerin konsantrasyonları hesaplanmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise PM'lerin konsantrasyon ve karakterizasyonlarını belirlemek için Meteorolojik faktörlerden olan sıcaklık, yağış ve rüzgar hızları ile etkileşimli ilişkileri belirlenerek detaylı analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13: Çalışmada Kullanılan PM10 ve PM2,5 Başlıklı YHHÖ Cihazların Örnekleme Noktasındaki Mevsimsel Görüntüleri

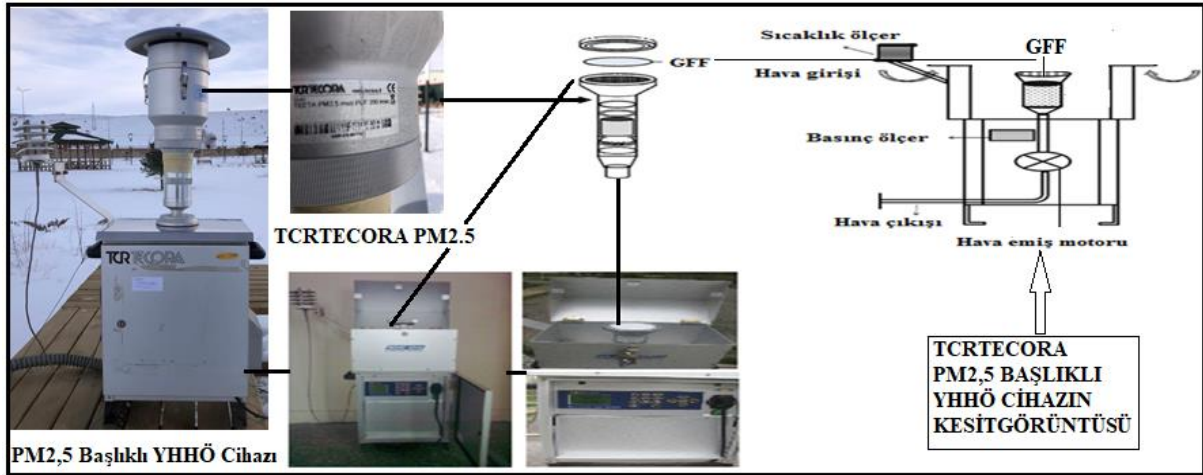
2.1.5. Örnekleme Yöntemi ve Kullanılan Cihazlar

Çalışma, yarı-kentsel bir alan olan Baberti Kampüsü'nde atmosferik PM'lerin konsantrasyonları ile karakterizasyonlarını belirlemek amacıyla aktif örnekleme yöntemi ile belirli bir program dahilinde çalışılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda, BUMER (Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı) bünyesinde bulunan 2 adet farklı başlıklara sahip (TSP, PM2,5 başlıkları) TCR-Tecora marka yüksek hacimli hava örnekleyici (YHHÖ) cihazları kullanılmıştır. Mevsimsel olarak yapılan örneklemede GFF'lerin değişimleri her gün sabah saat

09:00'da başlayıp, ertesi gün aynı saatte kirlenmiş ile temiz olan GFF değişimi 24 saatlik periyotlarda düzenli olarak yapılmıştır. Örneklem ve diğer çalışma basamaklarında kullanılan tüm malzeme ve ekipmanları ayrıntılı bir şekilde aşağıda sunulmuştur;

2.1.6. YHHÖ (Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi)

Atmosferik PM10 ve PM2,5'ların konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, Thermo Andersen GPS 11 modeli / TCR-Tecora model YHHÖ (yüksek hacimli hava örnekleyici) cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, örneklem çalışmalarında PM10 ve PM2,5 partiküllerini tutabilmek için cam fiber filtreler (GFF: 90 mm çapında ve 1.6 µm gözenek çapında) kullanılmıştır. YHHÖ cihazı, örneklem çalışmalarında ortalama yaklaşık 250 ila 300 m³ arasında günlük hava hacmi emişi ile çalıştırılmıştır. Şekil 14'den de görüldüğü gibi PM2,5 başlıklı YHHÖ cihazın genel görüntüsü, GFF'nin yerleştirildiği mekanizma ve diğer örneklem kısımlarının detaylı görünüşleri sunulmuştur.



Şekil 14: YHHÖ İç ve Dış Kısımına Ait Detaylı Kesiti

2.1.7. Örneklem Çalışmaları ve Meteorolojik Veriler

Örneklem öncesinde, GFF'de olabilecek organik ve partikül kirlilikleri gidermek için her bir GFF yaklaşık üç saat boyunca ortalama 450 °C sıcaklıkta kül fırınında yakılmıştır. Daha sonra, yakılan bu filtreler nem ve tekrardan bulaşabilecek dış ortam kirleticilerinden korunması için kapalı desikatörlerde muhafaza altına alınmıştır.

Her bir GFF, örneklem işlemlerine başlamadan önce virgülden sonra beş basamak hassasiyeti olan “Denver Instrument TB 215” hassas terazi modeli kullanılarak tartılmıştır. Ölçülen örneklem sonuçları ilk tartım başlığı altında tek tek raporlanmıştır. Tartımı tamamlanan GFF'ler daha sonra teker teker alüminyum folyoya sarılarak, etiketli kilitli poşetler içerisine yerleştirilmiştir. İlk tartımları tamamlanan GFF filtreler, örneklem günlerinde uygun

taşıma kaplarında örnekleme noktasında taşınmıştır. Ardından YHHÖ cihazının örnekleme kısmına çıplak el teması olmadan metal tutucu yardımıyla haznesine yerleştirilmiştir.

Ardından cihazın dijital gösterge panelinde emiş miktarı, ne kadar süre kalacak gibi bir takım veriler manuel olarak tanımlanmıştır. Daha sonrada 24 saatlik periyotlar dahilinde hava örnekleme yapılmıştır. Bu çalışmada genellikle YHHÖ cihazı günlük ortalama yaklaşık 280-300 m³ hava emişi ile çalıştırılmıştır. Örnekleme süreci tamamlanan GFF'ler, çıkarıldıkları alüminyum folyoya kirli yüzeyleri içe bakacak şekilde dikkatlice sarılarak yeniden paketlenmiştir. Ayrıca GFF'leri koruma amacıyla da kilitli poşetlere konulmuştur. Örnekleme yapılan ve kirlenmiş olan GFF'ler laboratuvara taşınmıştır. Burada da ikinci kez tartılarak son tartım ağırlıkları belirlenmiştir. Son tartımlarda büyük bir titizlikle tekrardan kayıt altına alınarak raporlanmıştır. Tüm tartımlar bittikten sonra GFF'lerin, PM10 ve PM2,5 karakterizasyon araştırmalarında tekrardan kullanılmak üzere desikatörlerde muhafaza edilmiştir.

Diğer taraftan, örnekleme çalışmaları boyunca örnekleme günlerine ait günlük rüzgar yönü, rüzgar hızı sıcaklık ve yağış gibi meteorolojik veriler de kayıt altına alınarak raporlanmıştır. Kayıt altına alınan yağış, sıcaklık, rüzgâr hızı ve yönü gibi günlük meteorolojik veriler, Bayburt Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Örneklenen PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyon çalışmaları ve bu araştırılan parametreler ile ilişkili olan meteorolojik veriler, tablolar halinde hazırlanmış ve aşağıda sunulmuştur (Tablo 3 ve Tablo 4). Kış dönemine ait örneklemeler 01-29 Şubat 2024, 01-31 Mart 2024 ve 02-11 Nisan 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Yaz dönemi ise Tablo 3'den de görüldüğü gibi, 13-30 Haziran, 01-31 Temmuz 2024 ve 01-12 Ağustos 2024 tarihleri arasında yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 3: PM'lere Ait Çalışma Takvimi ve Meteorolojik Veriler (Kış Mevsimi)

PM'lerin Örnekleme Tarihleri	Yedek Numune Tarihleri/ Kodları	Rüzgâr Yönü	Rüzgâr Hızı (10 metrede; m s ⁻¹)	Rüzgâr Hızı Ortalama (m s ⁻¹)	Sıcaklık Ortalama (°C)	Toplam Yağış (mm)
1.2.2024		G	4.6	1.0	-11.8	0.0
2.2.2024	2.2.2024/ 3	K	6.2	1.2	-10.0	0.0
3.2.2024		KKD	4.1	1.2	-6.7	0.0
4.2.2024		KKD	4.1	1.1	-2.5	0.0
5.2.2024		KGK	7.2	1.3	-1.0	0.4
6.2.2024	6.2.2024/ 11	GB	9.3	2.7	0.9	0.2
7.2.2024		GD	3.1	0.7	2.1	0.0
8.2.2024		K	4.1	0.9	0.7	0.0

9.2.2024		GGD	4.6	1.1	3.0	0.0
10.2.2024	10.2.2024/ 19	K	5.1	1.2	1.5	0.0
11.2.2024		DGD	5.1	1.1	2.1	0.0
12.2.2024		D	5.1	1.1	2.7	0.0
13.2.2024		DGD	9.8	1.7	4.1	0.0
14.2.2024	14.2.2024/ 27	B	6.7	1.3	5.6	0.1
15.2.2024		KB	7.2	1.2	5.6	0.4
16.2.2024		B	5.1	0.9	3.6	0.0
17.2.2024		BKB	4.6	1.1	2.6	0.0
21.2.2024	21.2.2024 / 35	GB	7.7	0.9	2.4	0.0
22.2.2024		GGD	8.2	1.5	2.8	0.0
23.2.2024		KKD	4.6	1.0	0.5	8.9
25.2.2024		B	6.2	1.6	-0.3	0.0
26.2.2024		GB	7.7	1.5	-1.2	0.0
27.2.2024		KKD	5.1	1.5	-2.2	0.0
28.2.2024	28.2.2024 / 49	K	6.7	1.7	-1.3	0.0
29.2.2024		G	6.2	1.7	-0.4	0.0
1.3.2024		G	6.2	1.8	0.9	0.0
2.3.2024		KD	6.7	1.7	3.4	0.0
3.3.2024		G	5.1	1.2	4.4	0.0
4.3.2024	4.3.2024/ 55	DGD	4.1	1.0	1.9	0.0
5.3.2024		GD	5.1	1.2	2.9	0.0
6.3.2024		KB	9.3	1.8	3.8	0.0
7.3.2024		B	5.1	1.3	1.6	9.7
8.3.2024	8.3.2024 / 65	B	6.7	1.3	0.2	0.0
10.3.2024		KD	5.1	1.1	0.4	1.4
11.3.2024		KD	6.7	1.4	1.3	0.0
12.3.2024	12.3.2024/ 73	GB	5.7	1.5	1.5	0.0
13.3.2024		GB	8.2	1.8	4.9	0.0
14.3.2024		GB	8.2	1.5	6.0	0.0
15.3.2024		K	6.7	0.8	2.8	1.7
16.3.2024	16.3.2024 / 81	KB	5.1	1.7	2.3	2.1
17.3.2024		K	5.1	1.0	2.4	1.0
18.3.2024		BBE	6.7	1.6	3.7	4.1
19.3.2024		B	5.1	1.5	3.6	2.8
20.3.2024	20.3.2024/ 89	KBK	4.6	1.0	2.8	0.0
21.3.2024		B	6.7	1.2	4.1	0.0
22.3.2024		DKG	11.3	1.4	2.3	0.3
23.3.2024		BGB	5.1	1.2	-1.3	5.3
25.3.2024	25.3.2024/ 97	BKB	10.8	2.3	1.3	0.0
29.3.2024		B	5.7	1.3	8.1	0.0

30.3.2024		KKB	8.2	1.8	8.5	0.1
31.3.2024	31.3.2024/ 105	BKB	9.3	1.7	9.1	0.0
2.04.2024		KD	8.2	1.7	10.1	0.0
3.04.2024		K	6.7	2.0	12.1	0.0
4.04.2024	4.04.2024 / 113	D	7.2	1.2	10.5	0.0
5.04.2024		KD	11.3	1.5	10.3	0.0
6.04.2024		K	6.2	1.6	7.4	3.8
7.04.2024		KKB	9.8	2.0	7.9	0.2
8.04.2024	8.04.2024 /121	B	6.7	1.4	8.7	5.5
9.04.2024		G	8.2	1.7	10.2	0.0
10.04.2024		KB	6.2	1.2	10.0	0.0
11.04.2024	11.04.2024 /123	D	7.7	1.5	10.1	0.0
D: Doğu; B: Batı; K: Kuzey; G: Güney						

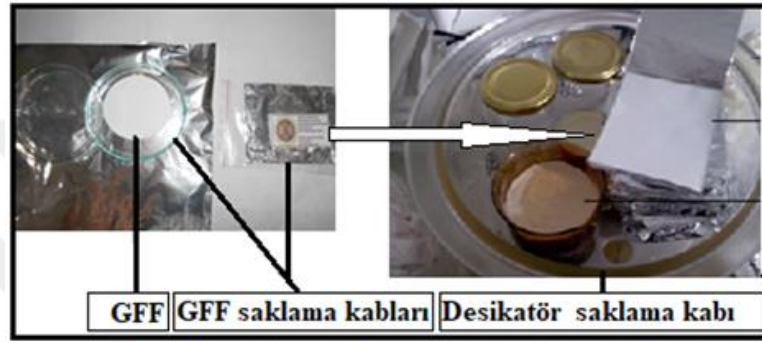
Tablo 4: PM'lereAit Çalışma Takvimi ve Meteorolojik Veriler (Yaz Mevsimi)

PM'lerin Örnekleme Tarihleri	Yedek Numune Tarihleri/ Kodları	Rüzgâr Yönü	Rüzgâr Hızı (10 metrede; m s ⁻¹)	Rüzgâr Hızı Ortalama (m s ⁻¹)	Sıcaklık Ortalama (°C)	Toplam Yağış (mm)
13.6.2024		K	9.3	2.1	18.8	0.0
14.6.2024	14.6.2024 / 3	KKD	7.7	1.5	19.1	0.0
15.6.2024		K	8.2	1.3	19.4	0.0
16.6.2024		G	5.1	1.3	21.1	0.9
17.6.2024		GB	5.1	1.2	21.6	0.0
18.6.2024	18.6.2024 / 11	KD	6.2	1.1	22.1	0.0
19.6.2024		K	4.6	1.0	21.6	0.0
20.6.2024		GD	8.2	1.6	22.5	0.0
21.6.2024		GGB	11.3	2.0	18.1	0.0
22.6.2024	22.6.2024 / 19	BKB	8.7	1.5	17.9	0.0
23.6.2024		K	7.7	1.3	19.2	0.0
24.6.2024		D	9.3	1.6	21.0	0.0
25.6.2024		KD	9.3	1.9	20.1	0.0
26.6.2024	26.6.2024 / 27	B	10.8	2.1	15.3	0.0
27.6.2024		B	7.2	1.4	14.1	1.4
28.6.2024		BGB	9.3	1.6	15.4	0.0
29.6.2024		GB	7.2	1.5	15.4	0.0
30.6.2024	30.6.2024 / 35	GD	10.3	2.1	16.4	0.0
1.7.2024		D	5.7	1.1	15.2	5.8
2.7.2024		D	7.7	1.8	16.6	1.0
3.7.2024	3.7.2024 / 59	KD	6.2	1.1	18.3	0.0
4.7.2024		KD	11.8	1.1	19.4	0.0

5.7.2024		DGD	7.2	1.5	22.8	1.2
6.7.2024		DGD	9.8	2.5	19.3	0.0
7.7.2024	7.7.2024 / 67	GD	9.3	2.3	17.3	8.9
8.7.2024		BGB	15.4	1.7	17.7	2.5
9.7.2024		GB	9.8	1.6	18.5	0.0
10.7.2024		G	9.8	1.4	19.9	5.8
11.7.2024		K	3.1	1.0	21.7	0.5
12.7.2024	12.7.2024 / 75	GB	9.3	1.5	22.0	0.0
13.7.2024		K	8.7	2.0	21.0	0.0
14.7.2024		G	8.2	1.7	19.8	0.0
15.7.2024		G	10.8	1.7	18.5	3.8
16.7.2024	16.7.2024 / 83	KB	17.5	1.3	20.2	5.2
17.7.2024		GD	7.7	1.3	21.3	15.8
18.7.2024		GB	8.2	1.2	20.5	0.3
19.7.2024		GD	7.7	1.6	18.9	0.0
20.7.2024	20.7.2024 / 91	KD	9.8	2.2	19.5	0.0
21.7.2024		KB	8.2	1.8	19.0	0.0
22.7.2024		KB	8.2	1.7	20.1	0.0
23.7.2024		B	9.8	1.6	19.7	0.0
24.7.2024		KB	9.8	1.9	18.7	0.0
25.7.2024		GB	8.7	1.8	18.3	0.0
26.7.2024		GB	7.2	1.5	19.6	0.0
27.7.2024		GD	8.2	1.9	18.5	11.2
28.7.2024		KB	10.8	2.3	16.7	3.5
29.7.2024	29.7.2024 / 99	K	7.7	1.8	17.3	0.0
30.7.2024		KB	8.2	1.7	19.4	0.0
31.7.2024		G	8.2	1.9	19.0	0.0
1.8.2024		BGB	7.7	1.5	17.9	0.0
2.8.2024		KB	8.2	1.3	19.0	0.0
3.8.2024	3.8.2024 /107	GGD	7.2	1.4	20.1	0.0
4.8.2024		KD	8.2	1.6	20.7	0.0
5.8.2024		GB	8.2	1.5	20.7	0.0
6.8.2024		KB	8.7	1.7	20.0	0.0
7.8.2024	7.8.2024/115	KB	9.3	1.5	20.0	0.0
8.8.2024		GD	7.2	1.5	19.8	0.0
9.8.2024		GD	6.2	1.4	20.6	0.0
10.8.2024		K	9.3	1.9	20.4	0.0
11.8.2024	11.8.2024/121	K	13.9	2.3	18.0	0.0
12.8.2024		GB	12.3	2.9	18.3	0.0
D: Doğu; B: Batı; K: Kuzey; G: Güney;						

2.1.8. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Hazırlanma Şekilleri

Bu çalışmada, atmosferik PM_{2,5} ve PM'ların konsantrasyon ve karakterizasyon belirlenmesinde kullanılan malzemeler, ekipmanlar ve kimyasallar ile örnekleme ve laboratuvar çalışmalarına başlamadan önce belirli bir standart prosedüre göre hazırlanmıştır. Tüm metal kaplar, cam ve teflon malzemeler önce sıcak deterjanlı su ile yıkanmıştır. Ardından da çeşme suyu ve ardından da saf su ile yıkanıp durulanıp süzölmeye bırakılmıştır. Son aşamada ise, olası kirleticilerden tamamen uzaklaştırmak için etüvde kurutulmuştur. Ve ardından da alüminyum folyolara sarılarak uygun muhafaza edilebilecek ortamlarda çalışmalar başlayıncaya kadar bekletilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15: GFF'lerin Saklandığı Desikatör Kab Ortamı

2.2. LABORATUVAR BASAMAKLARI

Örnekleme çalışmaları başlamadan önce ve örnekleme tamamlandıktan sonraki zamanlarda, tüm laboratuvar ekipmanları detaylı bir şekilde temizlenmiştir. Ayrıca cihazların bulunduğu ortamın kapısı sürekli kapalı tutularak dışardan kaynaklanabilecek PM kirleticilerin girişi en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu titiz takip sayesinde, hem dış ortamdan hem de personellerden bulaşabilecek kirlilikleri önlenmiştir. GFF'lerin ilk ve son tartımların ölçüldüğü hassas terazi ise her bir ölçümden önce gerektiği gibi temizlenmiştir. Aynı şekilde düzgün muhafazasına dikkat edilmiştir.

2.2.1. Laboratuvar Çalışmaları

Örnekleme çalışmalarında kullanılan GFF'ler, analiz işlemlerine kadar laboratuvar, kirlenmelere karşı korumak için desikatörde muhafaza edilmiştir. Kış ve yaz aylarında yapılan örnekleme tamamlandıktan sonra, tüm GFF'ler desikatörden alınarak son tartımları (hassas terazide) teker teker ölçülerek hesaplanmıştır. Hassas teraziden ölçülüp hesaplanan ilk ve son tartım verileri Excel tablolarına kaydedilmiştir. Hesaplamalar ilk önce gram cinsinden PM_{2,5} ve PM₁₀ birikimleri ölçülmüştür. Daha sonra mg ve µg cinsinden hesaplamalar yapılarak en son gravimetrik yöntemle tarım farkları “(son tartım - ilk tartım)” şeklinde hesaplanarak günlük

geçen hava hacminde bölünerek $\mu\text{g m}^{-3}$ cinsinden PM_{2,5} ve PM₁₀ konsantrasyonları ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 16).



Şekil 16: Analiz İşlemleri İçin Laboratuvar Çalışması ve Kullanılan Cihaz

2.3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışma, örnekleme, laboratuvar ve analiz işlemleri neticesinde sayısal veriler elde etmeye dayalı bir programda sürdürülmüştür. Aynı zamanda bu yöntemler birbirlerini tanımlayıcı ve birbirleriyle her geçiş kısmında tamamlayıcı olan bir saha çalışmasıdır. Çalışmada, Bayburt ili Baberti Kampüsü atmosferinde var olan PM₁₀ ve PM_{2,5} konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri belirlenmiştir. Ayrıca bu konsantrasyonlara etki edebilecek meteorolojik faktörlerin ne düzeyde etkileşim yaptığıda yine sayısal veriler ile grafikler üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır.

Örnekleme zamanı birebir insan eliyle takip edilerek doğal ortamda gerçekleştiğinden deneysel bir işlem bu safada yapılmamıştır. Çalışma zamanındaki hava kalitesinin belirlenmesi için gerçek zamanlı ve yerinde ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmada araştırılan kirleticiler ve onlara etki edebilecek meteorolojik faktörlerin ilişkisel kısmı ele alınacak olursa; sıcaklık, rüzgâr hızı, yağış miktarı gibi meteorolojik parametrelerin PM'lerin konsantrasyonlarına etkileri istatistiksel yöntemlerle ele alınarak incelenmiş ve ayrı ayrı grafikler üzerinde detaylandırılmıştır.

Diğer taraftan PM'lerin kaynaklarının neler olduğunu ve karakterizasyonlarının neler olabileceği yönüyle de ele alınarak incelenmiştir. Böylece bu çalışma sayesinde, Bayburt ili

Baberti kampüsünün hava kalitesinin ne durumda olduğu tanımlanmıştır. Ayrıca PM'lerin analiz ve ölçüm sonuçlarına göre de sınır değerlere göre oranları ve çevresel etkileri arasındaki bağlantıları ortaya koymak içinde gerekli çalışmalar ve bilimsel içeriğe dayalı yorumlamalarda amaçlanarak yapılmıştır.

2.4. ÇALIŞMA GRUBU / KATILIMCILARI

Bu çalışmanın ana konusu, Bayburt ilinin atmosferinde bulunan kaba ve ince mod PM'ler (PM₁₀ ve PM_{2,5}) oluşturmaktadır. Çalışmanın ilk basamağı olan örnekleme işlemleri ise Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü'nde örnek almaya en uygun bir noktada YHHÖ cihazı kullanılarak toplanan PM₁₀ ve PM_{2,5} örneklerinden oluşmaktadır.

Örnekleme noktası, Baberti kampüsü içerisinde kentsel kaynaklardan gelebilecek kirleticilerin geçiş güzargahı olduğu düşünülmektedir. Bu örnekleme noktası etrafını çevreleyen Dağlar ve seyrek konutlar sebebiyle her ne kadar kırsal alan özelliklerine yakın olsada, bu nokta kampüs içinde olması etrafında ciddi sayıda fakülte ve diğer yerleşim binaları çevirmesi açısından da yarı-kentsel bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu nokta hava kirleticilerin bölgesel taşınım özelliklerini de gösterebilir niteliktedir. Aynı zamanda bu örnekleme noktası, araç trafiği, konut ısınması ve toz savrulmaları gibi temel kirletici kaynaklarına oldukça yakın konumdadır. Fakat ağır sanayi etkilerinden de uzak bir bölgede bulunmaktadır.

Çalışmanın başından beri örnekleme sürecinde örnekler, Tecora marka YHHÖ cihazı kullanılarak toplanmıştır. PM₁₀ ve PM_{2,5} örnekleme, sabitleştirilmiş hava emiş debisi ve seçilmiş GFF özellikleri ile mevsimsel olarak yaz ve kış aylarında 2'şer ay olacak şekilde programlanmış ve çalışılmıştır. Her bir örnek numunesi, gravimetrik analiz yöntemi kullanılarak PM'lerin konsantrasyonlarının hesaplanması yapılmıştır.

Diğer taraftan bu araştırmanın örnekleme veri dataları, Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü'nde kurulan örnekleme istasyonundan YHHÖ ile toplanan PM₁₀ ve PM_{2,5} numunelerinden oluşmaktadır. Çalışmada toplam 240 adet atmosferik partikül örneği başarılı bir şekilde toplanabilmiştir. Ayrıca örnekleme noktası, Baberti Kampüsü'nün açık ve rüzgâr alan bir noktasına yerleştirilmiştir. Böylece hem kentsel alanların hem de kırsal kirletici kaynaklarının tesbit edebilecek oldukça önemli bir konuma sahiptir (Şekil örnekleme nokta resmi). Örnekleme noktası 40.2152° Kuzey - 40.2273° Doğu arasında bir noktadadır. Bu noktanın bulunduğu Rakım yaklaşık 1550 m'dir. Bölge yarı-kentsel / kırsal geçiş bölgesi olarak tanımlanabilmektedir. Bu bölgeye başlıca gelebilecek kirleticiler ise, başta fosil yakıt yakan

evsel ısınmalardan kaynaklı PM'ler, trafik eksoz emisyonlarından çıkan PM'ler ve tozların tekrarlı olacak şekilde havaya savrulup askıda da kalabilen kirleticileri kapsamaktadır.

Örnekleme çalışmaları, olasılığa ya da pasif örnekleme yöntemine dayalı olmayan, aktif örnekleme yöntemi ile çalışılmış olup, seçilen örnekleme noktası temsil edebilecek yüksek bir alan olarak belirlenmiştir.

2.5. VERİ TOPLAMA TEKNİKLERİ

Bu çalışmada atmosferik PM'ler, gravimetrik yöntemine göre YHHÖ cihazı ile toplanmıştır. Daha sonra PM'lerin analizleri ve karakterizasyonlarının belirlenmesi için de ileri laboratuvar teknikleri kullanılmıştır. Örnekleme aşamasında kullanılan ekipmanlar ve analiz işlemleri aşağıda sırayla özetlenerek sunulmuştur;

2.5.1. Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi (YHHÖ)

Örnek toplama işlemleri, Tecora marka yüksek hacimli hava örnekleme cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz, günlük yaklaşık 280–300 m³ hava hacmini filtreden emiş yapıp geçirecek şekilde çalıştırılmıştır. Örnekleme numuneleri, iki farklı partikül boyutlarını ölçmek için filtre üniteleri kullanılarak toplanmıştır. Bu doğrultuda PM₁₀'lar 0-100 arasındaki 10 ve 10 µm altındaki boyutlarda olan PM'ler olarak tanımlandırılmıştır. Burada geniş gözenekli geçişlerden geçen hava akımları GFF'ler üzerinde toplanmıştır. Diğer taraftan 2. boyut çalışması olan PM_{2,5}'lerin toplanması içinde PM_{2,5} başlığı kullanılarak sadece 2,5 mikron ve altındaki PM'lerin geçişleri sağlanarak yine uygun GFF'ler üzerinde toplanmıştır.

Her bir örneklemeden öncesi ve sonrasında filtre tartımları, ± 0.0001 g hassasiyetli hassas terazi ile yapılmıştır. Böylece, örnekleme numuneleri üzerlerindeki partikül miktarı gravimetrik olarak hesaplanmıştır.

2.6. VERİLERİN ANALİZİ

Bu çalışmada elde edilen tüm verilerin analizi, sayısal hesaplamalar teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde takip edilen süreçler, (i) PM'lerin konsantrasyonlarının hesaplaması, (ii) meteorolojik faktörler ile etkileşimlerinin değerlendirilmesi ve (iii) PM'lerin kaynakları, konsantrasyonları ve karakterizasyonlarının literatür destekli olacak şekilde karşılaştırılarak nihai sonuçların belirlenmesi olmak üzere üç ana aşamada yürütülmüştür.

2.6.1. Partikül Madde (PM) Konsantrasyonlarının Hesaplanması

PM10 ve PM2,5'lar için gravimetrik hesaplama yöntemi yapılmıştır. Her bir filtre için ilk ve son tartım farkları alınarak partikül kütlesi belirlenmiştir. Daha sonrada aşağıdaki eşitlik ile konsantrasyonlar hesaplanmıştır:

$$PM (\mu g/m^3) = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{Q \times t}$$

Sembollerin açıklamaları aşağıda sunulmuştur;

PM ($\mu g m^{-3}$): Havada ölçülen atmosferik PM konsantrasyonu

W_1 (g): GFF'nin örneklemeden önceki kütlesi

W_2 (g): GFF'nin örneklemeden sonraki kütlesi

$(W_2 - W_1)$ (g): Filtre üzerinde biriken net PM kütlesi

Q ($m^3 dak^{-1}$ veya $m^3 saat^{-1}$): Örneklemede kullanılan hava emiş cihaz debisi

t (dakika veya saat): Örneklemenin süresi

10^6 : Gramdan mikrograma dönüşüm katsayısı

Her örneklemede, günlük olarak cihazın debisi örnekleme boyunca takip edilmiştir. hesaplamalarda gerçek debi değerleri kullanılmıştır.

2.6.2. Meteorolojik Parametrelerle İlişki Analizleri

PM konsantrasyonları ile meteorolojik faktörlerin etkileşiminin belirlenmesinde istatistiksel korelasyon analizi uygulanmıştır. Bu yöntemlere göre de, Pearson Korelasyon Katsayısı (r) hesaplanmıştır. Anlamlılık seviyeleri $p < 0.05$ olarak araştırılıp kaydedilmiştir. Daha sonra tesbit edilen numunelerden çoklu regresyon kullanılarak farklı mevsimsel çalışmaların etkileride değerlendirilmiştir. Bu analizlerde ise sıcaklık düştüğünde genelde PM'lerin yükseldiği görülmüştür (İnversiyon tabakasının oluşum etkileri de bulunmaktadır). Rüzgârlar arttıkçada PM'lerin konsantrasyonlarında düşüşler gözlemlenmiştir (rüzgarlar sayesinde seyrelmeler olduğundan). Ayrıca bir diğer meteorolojik faktör olan neminde artışı ile de PM'lerin dış çeperlerinde su moleküllerinin yoğunlaşması (higroskopisite) ve nihayetinde farklı konsantrasyon değerleri almasına sebep olmaktadır.

2.7. ÖRNEKLEME SONUÇLARININ VE ANALİZLEMELERİN GEÇERLİLİĞİ VE GÜVENİRLİĞİ

Bu çalışmada elde edilen verilerin bilimsel açıdan geçerli ve güvenilir olması için örnekleme ve laboratuvar çalışmalarının tamamında kalite kontrol uygulamaları sağlanmıştır. Ölçüm yöntemleri, numune hazırlama basamakları ve analitik işlemlere ilişkin kalite kontrol ve geçerlilik sağlanma durumları aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

2.7.1. Cihazların Kalibrasyon Ayarı ve Debi Kontrolleri

YHHÖ cihazında çalışmaların başından sonuna kadar örnekleme debilerinin hassasiyeti için her numune alımı öncesinde ve sonrasında dikkatlice kontrol edilmiştir. Örneklemede hava emiş debisinde $\pm \%5$ 'ten fazla hatalı sapmalar olduğu zaman örnek numune direk geçersiz sayılmıştır. Cihazın hava emiş akışı ve dijital ekrandaki parametre değişimleri periyodik olarak sürekli kalibre edilmiştir.

2.7.2. Hassas Terazide Tartım Çalışmalarının Güvenirliği

GFF'ler, her bir tartım öncesi ve sonrası laboratuvarında (20-25 ° C, %45–50 bağıl nem gibi şartlarda) şartlandırılmıştır. Tartımların hepsi ± 0.0001 g hassasiyete sahip hassas terazi cihazında yapılmıştır. Ayrıca her numune tekrarlı yani iki kez tartılarak doğruluğu sağlanmıştır. Analiz süresince cihazların elektrik ve dışardan kirlenme riskine karşı anti olay çözücü planları kullanılmıştır.

2.7.3. Meteorolojik Verilerin Doğrulanması

Meteorolojik parametreler Bayburt iline ait “MGM” kayıtları alınmıştır. Ayrıca cihazların kendi Meteorolojik verileri ilede karşılaştırılarak tutarlılığı değilmi oldukları sağlanmıştır. Eksik ya da iki tarafta da farklı çıkmış veriler değerlendirme dışı bırakılmıştır.

2.7.4. Etik kurallarına ve Bilimsel Güvenilirliğe Bağlılık

Analiz işlemleri sonucunda tüm veriler orijinal olarak araştırma ekibi tarafından üretilmiştir. Kesinlikle üçüncü kişilere ait veriler kullanılmamıştır. Aynı zamanda verilerin hepsi arşivlenerek istenildiği zaman kolayca takipleri yapılabilecek şekilde raporlanarak kaydedilmiştir. Ayrıca verilerdeki yanıltıcı durumları önlemek amacıyla tedbiren Excel dosyaları kilitli formatta dosya içeriğinde saklanarak korunmuştur.

2.8. ARAŞTIRMACININ ROLÜ

Bu araştırma, Bayburt üniversitesinde görevli bir Öğretim Üyesi (danışman) olan yürütücüsü tarafından planlanmıştır. Danışman hocanın özellikle Çevre Mühendisi ve Hava kirliliği üzerinde Doktora'sını yapmış olması çalışma konusuna çok yakın ve birebir çalıştığını göstermektedir. Ayrıca danışman yürütücüsü çalışmanın tüm basamaklarında bulunarak bilimsel sonuçların eldesi için bütün aşamalarda aktif rol almıştır. Araştırmacı olarak çalışan bu tezin sahibi ben ve diğer arkadaşlarım da; çalışmanın konu belirlemesinde, olası hipotezleri oluşturmada ve yöntem çalışma tasarımı aşamalarında aktif rol almıştır. Ayrıca örnekleme çalışmalarında, örnekleme istasyonunun kurulumunda her yönden çalışılmıştır. Taki tüm cihazların kalibrasyonu kadar bire bir çalışarak sorumluluk alınmıştır. Ayrıca çalışmanın başından sonuna kadar örnekleme takviminin oluşturulmasında destek sağlanmıştır. Araştırmacıların diğer sorumluluk alanları ise; örnekleme çalışmaları boyunca verilerin güvenliği sağlamak ve cihazların düzenli çalışmaları için gereğinin yapımı ve takibi konusunda destek verilmiştir. Laboratuvar çalışma kısımlarında (hassas terazide tartım numune hazırlama ve uygulamaları takip etmek) doğrulamaların yapılması ve gerekirse tekrarlı kontrollerin sorumluluğu üstlenmiştir. Aynı zamanda çalışmalar sonucunda elde edilen tüm verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu sonuçların yorumlanması ve raporlanmasından doğrudan sorumlu olunmuştur. Ayrıca özellikle Lisans üstü öğrencisi olarak, örnekleme zamanlarında GFF'lerin değişimini yaparak, örnekleme noktasındaki cihazların günlük kontrollerini sağlamak başlıca sorumluluklarımız arasındadır. Ayrıca örnekleme alanına ve burdanda laboratuvar ortamına numunelerin taşıma görevini üstlenmekde diğer görevler arasındandır. Aynı zamanda bu numunelerin etiketlerini kodlayarak arşivleme işlemlerini yapılmıştır. Ayrıca laboratuvar hazırlık aşamalarında gerekli olan tüm teknik destekleri vermek gibi uygulama odaklı görevlerde de rol alınmıştır. Ancak çalışmada kullanılan farklı analiz yöntemlerinin seçiminde, elde edilen verilerin ilgili dosya ya da grafiklere geçirilmesinde ve bilimsel yorumlama kısımlarında tamamen araştırmacı ve yürütücünün akademik sorumluluğu altında çalışılmıştır.

Bu kapsamda araştırmacı, çalışmanın etik kurallar çerçevesinde yürütülmesine maksimum önem vermiştir. Verilerin tüm ekip arkadaşları ile birlikte güvenliğinin sağlanması en üst hat safada gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda kullanılan tüm cihazların doğru, yetkin ve izlenebilir şekilde işletilmesi de en üst düzeyde tutulmaya çalışılmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışmanın sonuçlarının bilimsellik tarafının korunmasından da tam yetki ve sorumluluk sahibi olarak bu bilinçle hareket edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR

Bu bölümde, Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü'nde yapılan örnekleme çalışmalarından elde edilen PM10 ve PM2,5'lerin konsantrasyonları tesbit edilerek, Meteorolojik faktörlerle de etkileşimleri ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bulgular kısmında, bu çalışmanın amaçları doğrultusunda mevsimsel olarak karşılaştırmalar, boyutlar açısından farklılıklar ve istatistiksel olarak sonuçları ilişkilendirmeler esas alınmıştır. Elde edilen tüm veriler, daha iyi anlaşılıp okunabilmesi için tablolar ve grafiklerle sayısal analiz sonuçlarını göstermektedir. Sunulan her bir Tablo veya Şekil, ilgili alanın bilimsel olarak yorumlanmasını destekleyecek şekilde hazırlanmıştır. Ve ardından gelen alt başlıklarda da sistematik bir sıra takip edilmiştir. Bulgular kısmında aşağıda da görüleceği üzere, çalışmada programı doğrultusunda önce PM'lerin konsantrasyonları detaylı olarak istatistiksel ve grafiksel olarak sunulmuştur. Ardından da PM'lerin ilişkili olduğu kısımlarda Meteorolojik faktörler ile etkileşimlerin değerlendirilmesi için farklı açılardan grafikler sunulup bilimsel yorumları yapılmıştır. Bu doğrultuda Bulgular bölümü aşağıda detaylandırılarak sunulmaktadır.

Diğer taraftan bu çalışmadan elde edilen verilerin anlaşılabilirliğini artırmak ve ulusal ya da uluslararası literatürdeki çalışmalarla karşılaştırma yapabilmek amacıyla kapsamlı istatistiksel analizler de gerçekleştirilmiştir. Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü'nde yarı-kentsel bir bölgede kurulan örnekleme noktasında, YHHÖ cihazları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar, 01-29 Şubat 2024, 01-31 Mart 2024 ve 02-11 Nisan 2024 tarihleri arasında kış mevsimi olarak programlanmıştır. Ayrıca yaz dönemine ait örnekleme takvimini de 13-30 Haziran, 01-31 Temmuz 2024 ve 01-12 Ağustos 2024 tarihleri arasında yapılarak tamamlanmıştır. Bu zaman zarfında toplam iki yüz kırk adet aktif atmosferik partikül faz numunesi toplanarak laboratuvar ortamında analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Partikül faz numunelerinin gravimetrik konsantrasyonları $\mu\text{g m}^{-3}$ cinsinden hesaplamaları yapılmıştır. Ölçüm verileri Excel tabanlı istatistiksel analizler kullanılarak ayrıntılı biçimde değerlendirilmiş ve raporlanmıştır. Nihai olarak tüm bulgular grafiksel sunumlar ve tablolar ile detaylandırılarak desteklenmiştir. Bunların yanı sıra, rüzgar hızı, sıcaklık, rüzgar yönü ve yağış gibi meteorolojik parametrelerin PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonları üzerindeki olası etkileri incelenerek korelasyon analizleri yapılmıştır. Son olarak, Bayburt ili için elde edilen veriler, literatürde benzer yöntemlerle yapılan diğer bölgesel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Böylece Baberti bölgesinin hava kalitesi ve atmosferik PM kirliliği profili hakkında kapsamlı sonuçlar ortaya konmuştur.

3.1. PM'LERİN KONSANTRASYONLARININ HESAPLANMASINDA YAPILAN İŞLEMLER

3.1.1. PM10 ve PM2,5'lerin Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde yapılan bu çalışmada, kış ve yaz dönemi boyunca gerçekleştirilen aktif örneklemeler kapsamında, atmosferik partikül faz PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla, GFF'ler yüzeyinde biriktirilen partiküller üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Ve elde edilen datalardan yola çıkarak gravimetrik yöntemle PM'lerin konsantrasyonları hesaplanmıştır. Çalışmada aktif örnekleme yönteminden elde edilen PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarının zaman içerisindeki değişimleri belirlenmiştir. Ardından grafiksel analiz teknikleri kullanılarak ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Ayrıca, atmosferik partikül fazlarda ölçülen konsantrasyon verileri ile sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve yönü gibi meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Bu parametreler arasındaki R²'leri ve p-değerleri hesaplanarak istatistiksel anlamlılık düzeyleri tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, literatürde benzer yöntemlerle gerçekleştirilen diğer çalışmalarla karşılaştırılarak Bayburt ilinin hava kalitesi açısından son durumu ortaya çıkarılmıştır. Ardından da her bir başlık ayrı ayrı tartışılmıştır. Böylece, atmosferik PM kirliliğinin zamansal ve mevsimsel değişimleri, bölgenin iklimsel koşullarıyla ilişkilendirilerek kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

3.1.2. Aktif Örnekleme Yöntemi ile Atmosferik Örnekleme, Baberti Bölgesi

Yarı-kentsel bir bölge olan Bayburt üniversitesi Baberti Kampüsü'nde gerçekleştirilen bu çalışmada, mevsimsel olarak elde edilen PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarının ortalama değerleri; örnekleme tarihlerine, GFF filtrelerinin ilk ve son tartım verilerine, günlük geçen hava hacimlerine ve YHHÖ cihazı çalışma sürelerine dayanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler, Tablo 5 (PM2,5 kış), Tablo 6 (PM10 kış), Tablo 7 (PM2,5 yaz) ve Tablo 8 (PM10 yaz) tablolarında ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada kış dönemi için ölçülen günlük PM2,5 konsantrasyonunun ortalama konsantrasyon değeri $28,80 \pm 30,48 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Yaz döneminde ise bu değer $54,18 \pm 36,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Mevsimsel (yaz+kış) ve zamansal (yıllık) olarak ortalama PM2,5 konsantrasyonu ise $41,74 \pm 35,69 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Maksimum ve minimum konsantrasyon değerleri incelendiğinde ise; kış mevsiminde değerlerin $2,25 \mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) ile $144,95 \mu\text{g m}^{-3}$ (03.04.2024) arasında değiştiği görülmüştür. Yaz mevsiminde ise bu aralığın $5,82 \mu\text{g m}^{-3}$ (17.07.2024) ile $151,48 \mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) arasında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, PM2,5 partikül faz konsantrasyonlarının mevsimsel değişim

aralıkları açısından benzerlik gösterse de yaz döneminde ölçülen değerlerin kış dönemine kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

PM10'ların partikül fazı için yapılan analizlerde ise, kış mevsimine ait günlük örneklemelerde ortalama konsantrasyon değeri $36,03 \pm 29,95 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Yaz döneminde bu ortalama $61,87 \pm 38,9 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak kaydedilmiştir. Zamansal ve mevsimsel (yıllık) ortalama ise $48,75 \pm 36,86 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Kış sezonunda PM10 konsantrasyonlarının $5,67 \mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) ile $168,36 \mu\text{g m}^{-3}$ (03.04.2024) arasında değiştiği görülmüştür. Yaz sezonunda ise $11,40 \mu\text{g m}^{-3}$ (17.07.2024) ile $173,35 \mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. PM2,5'lerde olduğu gibi, PM10'lar için de yaz aylarında gözlenen partikül konsantrasyonlarının kış dönemine göre belirgin şekilde daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Bu bulgular, literatürde sunulan diğer çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermektedir.

3.1.3. Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi (Kış Mevsimi)

Tablo 5'te sunulan veriler ışığında, kış döneminde gerçekleştirilen 60 günlük aktif örnekleme çalışmalarında kullanılan GFF filtrelerinin hem örnekleme öncesi (ilk tartım) hem de örnekleme sonrası (son tartım) ağırlıkları günlük bazda kaydedilmiştir. Bununla birlikte, her bir örnekleme gününde YHHÖ'nin günlük çekilen hava hacmi ve toplam çalışma süresi de kayıt altına alınarak detaylı bir veri seti oluşturulmuştur. PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarının hesaplamalarında aşağıdaki formül kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir:

$$\text{PM Konsantrasyonu } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \left(\frac{\text{Son Tartım (g)} - \text{İlk Tartım (g)}}{\text{Günlük Hava Hacmi (m}^3\text{)}} \right) \times 10^6$$

Bu yöntemle hem mevsimsel hem de yıllık bazda PM'lerin konsantrasyon yükü belirlenmiştir. Elde edilen bulgular da mevsimsel hava kirliliği analizlerinde kullanılmıştır.

Tablo 5: Kış Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM2,5 Konsantrasyonları

No	Örnekleme Tarihleri	İlk Tartım (gr) (A)	Son Tartım (gr) (B)	Fark (B-A) (gr)	Günlük geçen hava hacmi (L dk ⁻¹)	PM2,5 Konsantrasyonları ($\mu\text{g m}^{-3}$)	YHHÖ Çalışması Günlük (saat)
1	2.02.2024	0.42041	0.42190	0.00149	279.92	5.320	23:52
2	3.02.2024	0.42209	0.42448	0.00239	279.91	8.540	23:54
3	4.02.2024	0.42181	0.42546	0.00365	279.93	13.04	23:58
4	5.02.2024	0.42122	0.42562	0.0044	279.94	15.72	23:54
5	6.02.2024	0.42349	0.42470	0.00121	279.95	4.320	23:53
6	7.02.2024	0.42661	0.44811	0.0215	279.98	76.79	23:54

7	8.02.2024	0.42458	0.42826	0.00368	279.98	13.14	23:53
8	9.02.2024	0.42468	0.43101	0.00633	279.98	22.61	23:53
9	10.02.2024	0.42268	0.42577	0.00309	279.94	11.04	23:51
10	11.02.2024	0.42103	0.42556	0.00453	279.94	16.18	23:52
11	12.02.2024	0.42479	0.43005	0.00526	279.93	18.79	23:53
12	13.02.2024	0.42574	0.43130	0.00556	279.93	19.86	22:36
13	14.02.2024	0.42462	0.43230	0.00768	279.94	27.43	23:53
14	15.02.2024	0.42729	0.43610	0.00881	279.93	31.47	23:53
15	16.02.2024	0.42351	0.43150	0.00799	279.93	28.54	23:53
16	17.02.2024	0.42101	0.42840	0.00739	279.93	26.40	23:54
17	21.02.2024	0.42238	0.42820	0.005822	279.94	20.80	23:53
18	22.02.2024	0.42141	0.42910	0.00769	279.94	27.47	23:53
19	23.02.2024	0.42430	0.42648	0.00218	279.93	7.790	23:53
20	25.02.2024	0.43228	0.43460	0.00232	279.93	8.290	23:52
21	26.02.2024	0.42432	0.42562	0.001298	279.94	4.640	23:53
22	27.02.2024	0.43149	0.43270	0.00121	279.93	4.320	23:53
23	28.02.2024	0.42405	0.42540	0.00135	279.93	4.820	23:54
24	29.02.2024	0.43158	0.43326	0.00168	279.93	6.000	23:53
25	1.03.2024	0.43168	0.43477	0.00309	279.98	11.04	23:59
26	2.03.2024	0.43168	0.43777	0.00609	279.98	21.75	23:54
27	3.03.2024	0.42503	0.43560	0.01057	279.94	37.76	23:53
28	4.03.2024	0.43123	0.44947	0.01824	279.94	65.16	23:44
29	5.03.2024	0.43174	0.43513	0.00339	279.94	12.11	23:54
30	6.03.2024	0.43262	0.43623	0.00361	278.99	12.94	23:53
31	7.03.2024	0.42629	0.42810	0.00181	279.93	6.470	23:51
32	8.03.2024	0.42751	0.42950	0.00199	279.94	7.110	23:53
33	10.03.2024	0.42401	0.42640	0.00239	279.94	8.540	23:53
34	11.03.2024	0.42578	0.43112	0.00534	279.93	19.08	23:53
35	12.03.2024	0.42228	0.43200	0.00972	279.94	34.72	23:52
36	13.03.2024	0.42293	0.43113	0.0082	279.93	29.29	23:53
37	14.03.2024	0.43193	0.44130	0.00937	279.94	33.47	23:51
38	15.03.2024	0.42911	0.46480	0.03569	279.94	127.5	23:54
39	16.03.2024	0.42746	0.43169	0.00423	279.93	15.11	23:54
40	17.03.2024	0.42710	0.44340	0.0163	279.94	58.23	23:49
41	18.03.2024	0.42844	0.43040	0.00196	279.94	7.000	23:54
42	19.03.2024	0.42679	0.43290	0.00611	279.94	21.83	22:54
43	20.03.2024	0.43484	0.44933	0.01449	279.94	51.76	22:52
44	21.03.2024	0.43599	0.44190	0.00591	279.93	21.11	23:53
45	22.03.2024	0.42443	0.42967	0.00524	279.93	18.72	23:53
46	23.03.2024	0.42750	0.42910	0.0016	279.94	5.720	23:54
47	25.03.2024	0.42725	0.42861	0.00136	279.93	4.860	23:50

48	29.03.2024	0.43278	0.44190	0.00912	279.93	32.58	23:54
49	30.03.2024	0.42849	0.44110	0.01261	279.94	45.05	23:54
50	31.03.2024	0.42792	0.45038	0.02246	279.93	80.23	23:58
51	2.04.2024	0.42131	0.42744	0.006135	279.95	21.91	23:54
52	3.04.2024	0.42790	0.46848	0.04058	279.93	144.96	23:58
53	4.04.2024	0.42747	0.46443	0.03696	279.93	132.03	23:53
54	5.04.2024	0.42407	0.43230	0.00823	279.94	29.40	20:58
55	6.04.2024	0.42503	0.43833	0.0133	279.94	47.51	23:54
56	7.04.2024	0.42239	0.42854	0.00615	279.94	21.97	23:54
57	8.04.2024	0.42302	0.42850	0.00548	279.94	19.58	23:54
58	9.04.2024	0.42743	0.43690	0.00947	279.94	33.83	23:54
59	10.04.2024	0.42927	0.44660	0.01733	279.94	61.91	23:54
60	11.04.2024	0.42926	0.44650	0.01733	279.94	61.58	23:54
Ortalama						28.7970	
S.s						30.4800	
Max						144.965	
Min						2.25100	

Tablo 6: Kış Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM10'ların Konsantrasyonları

No	Örnekleme Tarihleri	İlk Tartım (gr) (A)	Son Tartım (gr) (B)	Fark (B-A) Tartım (gr)	Günlük geçen hava hacmi (L dk ⁻¹)	PM10 Konsantrasyonları (µg m ⁻³)	YHHÖ Çalışması Günlük (saat)
1	1.02.2024	0.41210	0.41380	0.00170	299.99	5.667	23:53
2	2.02.2024	0.41390	0.41750	0.00360	299.99	12.000	23:54
3	3.02.2024	0.41740	0.42270	0.00530	299.99	17.667	23:54
4	4.02.2024	0.41780	0.42550	0.00770	299.95	25.671	23:53
5	5.02.2024	0.41210	0.42130	0.00920	299.95	30.672	23:53
6	6.02.2024	0.41410	0.41670	0.00260	299.95	8.668	23:53
7	7.02.2024	0.42940	0.47990	0.05050	299.95	168.361	23:53
8	8.02.2024	0.40910	0.41560	0.00650	299.95	21.670	23:50
9	9.02.2024	0.40690	0.41703	0.01013	299.95	33.772	23:53
10	10.02.2024	0.41520	0.42070	0.00550	289.95	18.969	23:53
11	11.02.2024	0.41420	0.42190	0.00770	289.95	26.556	23:54
12	12.02.2024	0.40890	0.41730	0.00840	289.95	28.971	23:53
13	13.02.2024	0.41140	0.42090	0.00950	289.95	32.764	23:53
14	14.02.2024	0.41170	0.42320	0.01150	289.95	39.662	23:53
15	15.02.2024	0.41090	0.42350	0.01260	289.95	43.456	23:53
16	16.02.2024	0.41490	0.42660	0.01170	289.95	40.352	22:36
17	17.02.2024	0.41450	0.42540	0.01090	289.95	37.593	23:52
18	21.02.2024	0.41450	0.42440	0.00990	289.95	34.144	23:53

19	22.02.2024	0.42190	0.43596	0.01406	289.95	48.491	23:54
20	23.02.2024	0.41890	0.42340	0.00450	289.95	15.520	23:53
21	25.02.2024	0.41650	0.42220	0.00570	289.95	19.659	23:53
22	26.02.2024	0.42320	0.42670	0.00350	289.95	12.071	23:53
23	27.02.2024	0.42080	0.42300	0.00220	289.95	7.588	23:52
24	28.02.2024	0.42740	0.43000	0.00260	289.95	8.967	23:53
25	29.02.2024	0.42750	0.43110	0.00360	289.95	12.416	23:54
26	1.03.2024	0.42470	0.42990	0.00520	289.95	17.934	23:54
27	2.03.2024	0.42040	0.42590	0.00550	289.95	18.969	23:53
28	3.03.2024	0.41830	0.42590	0.00760	289.95	26.211	23:53
29	4.03.2024	0.41730	0.43198	0.01468	289.95	50.629	23:53
30	5.03.2024	0.42240	0.42630	0.00390	289.95	13.451	23:54
31	6.03.2024	0.42340	0.42800	0.00460	289.95	15.865	23:54
32	7.03.2024	0.42480	0.42790	0.00310	289.95	10.691	23:45
33	8.03.2024	0.41440	0.41780	0.00340	289.95	11.726	23:56
34	10.03.2024	0.42520	0.42890	0.00370	289.95	12.761	23:52
35	11.03.2024	0.42810	0.43900	0.01090	289.95	37.593	23:53
36	12.03.2024	0.41570	0.42820	0.01250	289.95	43.111	23:52
37	13.03.2024	0.41500	0.42420	0.00920	289.95	31.730	23:53
38	14.03.2024	0.41770	0.42770	0.01000	289.95	34.489	23:49
39	15.03.2024	0.42330	0.46199	0.03869	289.95	133.437	23:52
40	16.03.2024	0.42020	0.42826	0.00806	289.95	27.798	23:53
41	17.03.2024	0.42860	0.44830	0.01970	289.95	67.943	23:53
42	18.03.2024	0.42490	0.42850	0.00360	289.95	12.416	23:53
43	19.03.2024	0.42660	0.43398	0.00738	289.95	25.453	23:54
44	20.03.2024	0.42060	0.43820	0.01760	289.95	60.700	23:57
45	21.03.2024	0.42180	0.42990	0.00810	289.95	27.936	23:54
46	22.03.2024	0.42360	0.43130	0.00770	289.95	26.556	23:54
47	23.03.2024	0.41600	0.41907	0.00307	289.95	10.588	22:51
48	25.03.2024	0.41800	0.42080	0.00280	289.95	9.657	23:52
49	29.03.2024	0.42270	0.43550	0.01280	289.95	44.146	23:55
50	30.03.2024	0.42260	0.43970	0.01710	289.95	58.976	23:53
51	31.03.2024	0.42360	0.44800	0.02440	289.95	84.152	23:48
52	2.04.2024	0.42350	0.43490	0.01140	289.95	39.317	23:53
53	3.04.2024	0.41990	0.44940	0.02950	289.95	101.742	23:53
54	4.04.2024	0.42750	0.44980	0.02230	289.95	76.910	23:57
55	5.04.2024	0.41340	0.42330	0.00990	289.95	34.144	23:54
56	6.04.2024	0.42250	0.44060	0.01810	289.95	62.425	23:49
57	7.04.2024	0.41940	0.42970	0.01030	289.95	35.523	23:53
58	8.04.2024	0.42250	0.43050	0.00800	289.95	27.591	23:54
59	9.04.2024	0.42080	0.43267	0.01187	289.95	40.938	23:54

60	10.04.2024	0.42680	0.44908	0.02228	289.95	76.841	23:54
61	11.04.2024	0.41927	0.43990	0.02063	289.95	71.150	23:54
Ortalama						36.028	
S.s						29.946	
Max						168.361	
Min						5.667	

Baberti kampüsünde tesbit edilen kış mevsimine ait atmosferik PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının bilimsel olarak değerlendirildiğinde; bu çalışmada, kış mevsiminde (Şubat-Nisan 2024 tarihleri arasında) aktif örnekleme yöntemiyle elde edilen PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları detaylı şekilde incelenmiştir. Yapılan 60 günlük PM_{2,5} ve 61 günlük PM₁₀'ların örnekleme sonuçları günlük bazda ölçülerek hem genel hava kalitesi hakkında bilgi edinilmiştir hem de zamansal değişimlerin analizleri yapılmıştır. Öncelikle, PM_{2,5} partikül maddelerinin günlük konsantrasyonları incelendiğinde; ortalama PM_{2,5} konsantrasyonu 28,80 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. En düşük değer 2,25 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 01 Şubat 2024 tarihinde ölçülmüş, en yüksek değer ise 144,96 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 03 Nisan 2024 tarihinde kaydedilmiştir. Bu geniş değişim aralığı, kış mevsiminde PM_{2,5} konsantrasyonlarının özellikle meteorolojik koşullara ve yerel emisyon kaynaklarına (ısınma, düşük hava dalgalanmaları gibi) bağlı olarak önemli dalgalanmalar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Nisan başlarında ve Mart ayı sonlarında ölçülen yüksek değerler, bölgede hava kirliliğinin ciddi şekilde yoğunlaştığına işaret etmektedir.

PM₁₀'ların partikül fazları için yapılan değerlendirmede ise; ortalama PM₁₀'ların konsantrasyonu 36,03 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Minimum değer 5,67 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 01 Şubat 2024 tarihinde, Maksimum değer ise 168,36 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 07 Şubat 2024 tarihinde tespit edilmiştir. PM₁₀'ların değerlerinin, PM_{2,5} değerlerine kıyasla genel olarak daha yüksek olması beklenen bir durumdur. Çünkü PM₁₀'ların hem ince hem de kaba mod partikülleri içermektedir. Ancak 07 Şubat 2024 tarihinde görülen yüksek PM₁₀ konsantrasyonu, muhtemelen bölgesel bir toz taşınımı, kuvvetli yerel emisyon artışı (ısınma, inşaat, tarımsal faaliyetler) veya düşük rüzgar hızları nedeniyle yaşanmış olabilir.

Her iki parametrede de gözlenen ortak eğilim, kış aylarında ısıtma kaynaklı emisyonların ve olumsuz Meteorolojik koşulların (toz fırtınaları, düşük yağış miktarı, rüzgar durgunluğu) hava kalitesini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Günlük konsantrasyonların büyük kısmının Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği (AB) sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Özellikle PM_{2,5} için WHO'nun 24 saatlik önerdiği sınır değeri 15 $\mu\text{g m}^{-3}$ 'ü aşan birçok gün olması, bu bölgedeki insanların sağlığı açısından önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır. İstatistiksel sonuçlar ışığında değerlendirme yapıldığında ise; PM_{2,5}

ve PM10'ların için standard sapmalar sırasıyla 30,48 ve 29,95 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek sapma değerleri, günlük partikül madde konsantrasyonlarının önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini, başka bir deyişle sabit bir kirlilik seviyesinin olmadığını göstermektedir.

Sonuç olarak Baberti Kampüsü'nde kış mevsiminde yürütülen aktif örnekleme çalışmaları, bölgenin yarı-kentsel yapısına rağmen belirgin bir atmosferik PM kirliliği potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle düşük sıcaklıklar, artan ısınma ihtiyacı ve zayıf hava sirkülasyonu gibi faktörler, PM2,5 ve PM10'ların seviyelerini oldukça yükseltmiştir. Bu veriler sayesinde, ilerleyen çalışmalar için meteorolojik parametreler ile partikül madde konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Tablo 7: Yaz Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM2,5 Konsantrasyonları

No	Örnekleme Tarihleri	İlk Tartım (gr) (A)	Son Tartım (gr) (B)	Fark (B-A) Tartım (gr)	Günlük geçen hava hacmi (L dk ⁻¹)	PM10 Konsantrasyonları (µg m ⁻³)	YHHÖ Çalışması Günlük (saat)
1	1.02.2024	0.41210	0.41380	0.00170	299.99	5.667	23:53
2	2.02.2024	0.41390	0.41750	0.00360	299.99	12.000	23:54
3	3.02.2024	0.41740	0.42270	0.00530	299.99	17.667	23:54
4	4.02.2024	0.41780	0.42550	0.00770	299.95	25.671	23:53
5	5.02.2024	0.41210	0.42130	0.00920	299.95	30.672	23:53
6	6.02.2024	0.41410	0.41670	0.00260	299.95	8.668	23:53
7	7.02.2024	0.42940	0.47990	0.05050	299.95	168.361	23:53
8	8.02.2024	0.40910	0.41560	0.00650	299.95	21.670	23:50
9	9.02.2024	0.40690	0.41703	0.01013	299.95	33.772	23:53
10	10.02.2024	0.41520	0.42070	0.00550	289.95	18.969	23:53
11	11.02.2024	0.41420	0.42190	0.00770	289.95	26.556	23:54
12	12.02.2024	0.40890	0.41730	0.00840	289.95	28.971	23:53
13	13.02.2024	0.41140	0.42090	0.00950	289.95	32.764	23:53
14	14.02.2024	0.41170	0.42320	0.01150	289.95	39.662	23:53
15	15.02.2024	0.41090	0.42350	0.01260	289.95	43.456	23:53
16	16.02.2024	0.41490	0.42660	0.01170	289.95	40.352	22:36
17	17.02.2024	0.41450	0.42540	0.01090	289.95	37.593	23:52
18	21.02.2024	0.41450	0.42440	0.00990	289.95	34.144	23:53
19	22.02.2024	0.42190	0.43596	0.01406	289.95	48.491	23:54
20	23.02.2024	0.41890	0.42340	0.00450	289.95	15.520	23:53
21	25.02.2024	0.41650	0.42220	0.00570	289.95	19.659	23:53
22	26.02.2024	0.42320	0.42670	0.00350	289.95	12.071	23:53
23	27.02.2024	0.42080	0.42300	0.00220	289.95	7.588	23:52

24	28.02.2024	0.42740	0.43000	0.00260	289.95	8.967	23:53
25	29.02.2024	0.42750	0.43110	0.00360	289.95	12.416	23:54
26	1.03.2024	0.42470	0.42990	0.00520	289.95	17.934	23:54
27	2.03.2024	0.42040	0.42590	0.00550	289.95	18.969	23:53
28	3.03.2024	0.41830	0.42590	0.00760	289.95	26.211	23:53
29	4.03.2024	0.41730	0.43198	0.01468	289.95	50.629	23:53
30	5.03.2024	0.42240	0.42630	0.00390	289.95	13.451	23:54
31	6.03.2024	0.42340	0.42800	0.00460	289.95	15.865	23:54
32	7.03.2024	0.42480	0.42790	0.00310	289.95	10.691	23:45
33	8.03.2024	0.41440	0.41780	0.00340	289.95	11.726	23:56
34	10.03.2024	0.42520	0.42890	0.00370	289.95	12.761	23:52
35	11.03.2024	0.42810	0.43900	0.01090	289.95	37.593	23:53
36	12.03.2024	0.41570	0.42820	0.01250	289.95	43.111	23:52
37	13.03.2024	0.41500	0.42420	0.00920	289.95	31.730	23:53
38	14.03.2024	0.41770	0.42770	0.01000	289.95	34.489	23:49
39	15.03.2024	0.42330	0.46199	0.03869	289.95	133.437	23:52
40	16.03.2024	0.42020	0.42826	0.00806	289.95	27.798	23:53
41	17.03.2024	0.42860	0.44830	0.01970	289.95	67.943	23:53
42	18.03.2024	0.42490	0.42850	0.00360	289.95	12.416	23:53
43	19.03.2024	0.42660	0.43398	0.00738	289.95	25.453	23:54
44	20.03.2024	0.42060	0.43820	0.01760	289.95	60.700	23:57
45	21.03.2024	0.42180	0.42990	0.00810	289.95	27.936	23:54
46	22.03.2024	0.42360	0.43130	0.00770	289.95	26.556	23:54
47	23.03.2024	0.41600	0.41907	0.00307	289.95	10.588	22:51
48	25.03.2024	0.41800	0.42080	0.00280	289.95	9.657	23:52
49	29.03.2024	0.42270	0.43550	0.01280	289.95	44.146	23:55
50	30.03.2024	0.42260	0.43970	0.01710	289.95	58.976	23:53
51	31.03.2024	0.42360	0.44800	0.02440	289.95	84.152	23:48
52	2.04.2024	0.42350	0.43490	0.01140	289.95	39.317	23:53
53	3.04.2024	0.41990	0.44940	0.02950	289.95	101.742	23:53
54	4.04.2024	0.42750	0.44980	0.02230	289.95	76.910	23:57
55	5.04.2024	0.41340	0.42330	0.00990	289.95	34.144	23:54
56	6.04.2024	0.42250	0.44060	0.01810	289.95	62.425	23:49
57	7.04.2024	0.41940	0.42970	0.01030	289.95	35.523	23:53
58	8.04.2024	0.42250	0.43050	0.00800	289.95	27.591	23:54
59	9.04.2024	0.42080	0.43267	0.01187	289.95	40.938	23:54
60	10.04.2024	0.42680	0.44908	0.02228	289.95	76.841	23:54
61	11.04.2024	0.41927	0.43990	0.02063	289.95	71.150	23:54
Ortalama						36.028	
S.s						29.946	
Max						168.361	

Tablo 8: Yaz Mevsimine Ait Veriler, İstatistiksel Sonuçlar ve PM10'ların Konsantrasyonları

No	Örnekleme Tarihleri	İlk Tartım (gr) A	Son Tartım (gr) B	Fark (B-A) Tartım (gr)	Günlük geçen hava hacmi (L dk ⁻¹)	PM10 Konsantrasyonları (µg m ⁻³)	YHHÖ Çalışması Günlük (saat)
1	13.06.2024	0.42651	0.43582	0.00931	279.98	33.252	23:54
2	14.06.2024	0.43861	0.45030	0.01169	279.95	41.757	23:53
3	15.06.2024	0.43651	0.45149	0.01498	279.94	53.511	23:53
4	16.06.2024	0.43161	0.44816	0.01655	279.96	59.116	23:54
5	17.06.2024	0.43971	0.46750	0.02779	279.96	99.264	23:54
6	18.06.2024	0.42110	0.45510	0.03400	279.93	121.459	23:52
7	19.06.2024	0.43110	0.45910	0.02800	279.94	100.021	23:53
8	20.06.2024	0.42551	0.46900	0.04349	279.95	155.349	23:54
9	21.06.2024	0.43342	0.44660	0.01318	279.95	47.080	23:54
10	22.06.2024	0.42420	0.43520	0.01100	279.95	39.293	23:53
11	23.06.2024	0.43452	0.45710	0.02258	279.95	80.657	23:54
12	24.06.2024	0.43352	0.45790	0.02438	279.95	87.087	23:53
13	25.06.2024	0.43121	0.45230	0.02109	279.95	75.335	23:54
14	26.06.2024	0.43920	0.44470	0.00550	279.95	19.646	23:54
15	27.06.2024	0.43233	0.43910	0.00677	279.91	24.186	23:50
16	28.06.2024	0.43142	0.43990	0.00848	279.94	30.292	23:51
17	29.06.2024	0.43631	0.44550	0.00919	279.95	32.827	23:54
18	30.06.2024	0.43913	0.44720	0.00807	279.95	28.827	23:54
19	1.07.2024	0.43451	0.44109	0.00658	279.95	23.504	23:51
20	2.07.2024	0.43851	0.45030	0.01179	279.95	42.115	15:54
21	3.07.2024	0.43341	0.45690	0.02349	279.95	83.908	23:51
22	4.07.2024	0.43991	0.48190	0.04199	279.91	150.013	23:53
23	5.07.2024	0.42011	0.46920	0.04909	279.95	175.353	23:54
24	6.07.2024	0.42952	0.43630	0.00678	279.95	24.219	23:54
25	7.07.2024	0.43061	0.43930	0.00869	279.95	31.041	23:50
26	8.07.2024	0.43743	0.44970	0.01227	279.95	43.829	23:52
27	9.07.2024	0.42891	0.44020	0.01129	279.94	40.330	23:53
28	10.07.2024	0.43341	0.44580	0.01239	279.9	44.266	23:51
29	11.07.2024	0.42852	0.46950	0.04098	279.95	146.383	23:54
30	12.07.2024	0.43271	0.47199	0.03928	279.92	140.326	23:54
31	13.07.2024	0.43211	0.46884	0.03673	279.95	131.202	23:54
32	14.07.2024	0.43362	0.46010	0.02648	279.93	94.595	23:54
33	15.07.2024	0.43631	0.45500	0.01869	279.91	66.771	23:54
34	16.07.2024	0.43131	0.45199	0.02068	279.95	73.870	23:54

35	17.07.2024	0.43691	0.44010	0.00319	279.93	11.396	23:54
36	18.07.2024	0.43582	0.46180	0.02598	279.95	92.802	23:53
37	19.07.2024	0.43892	0.45180	0.01288	279.95	46.008	23:54
38	20.07.2024	0.43821	0.44729	0.00908	279.95	32.434	23:54
39	21.07.2024	0.43252	0.44610	0.01358	279.91	48.516	23:54
40	22.07.2024	0.43281	0.44890	0.01609	279.95	57.475	23:54
41	23.07.2024	0.43251	0.43960	0.00709	279.95	25.326	23:50
42	24.07.2024	0.42111	0.42520	0.00409	279.95	14.610	23:51
43	25.07.2024	0.43542	0.44590	0.01048	279.91	37.441	23:54
44	26.07.2024	0.43442	0.44870	0.01428	279.95	51.009	23:54
45	27.07.2024	0.43432	0.43993	0.00561	279.91	20.042	23:52
46	28.07.2024	0.43892	0.44320	0.00428	279.95	15.288	23:54
47	29.07.2024	0.42531	0.43600	0.01069	279.95	38.185	23:54
48	30.07.2024	0.43422	0.45400	0.01978	279.95	70.655	23:54
49	31.07.2024	0.42563	0.44000	0.01437	279.91	51.338	23:52
50	1.08.2024	0.42712	0.43560	0.00848	279.95	30.291	23:54
51	2.08.2024	0.43361	0.44546	0.01185	279.93	42.332	23:51
52	3.08.2024	0.43721	0.44990	0.01269	279.95	45.330	23:54
53	4.08.2024	0.42835	0.44821	0.01986	279.95	70.941	23:54
54	5.08.2024	0.43881	0.45997	0.02116	279.95	75.585	23:54
55	6.08.2024	0.42371	0.44530	0.02159	279.95	77.121	23:54
56	7.08.2024	0.43581	0.45410	0.01829	279.95	65.333	23:54
57	8.08.2024	0.43571	0.45230	0.01659	279.95	59.261	23:51
58	9.08.2024	0.43642	0.45580	0.01938	279.92	69.234	23:54
59	10.08.2024	0.42743	0.44710	0.01967	279.94	70.265	23:54
60	11.08.2024	0.43927	0.44560	0.00633	279.94	22.612	23:54
61	12.08.2024	0.43927	0.44430	0.00503	279.94	17.968	23:54
Ortalama						61.873	
S.s						38.907	
Max						175.353	
Min						11.396	

2024 yılının yaz döneminde Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde gerçekleştirilen aktif atmosferik örnekleme çalışmaları, hem PM_{2,5} hem de PM₁₀'ların partikül madde konsantrasyonlarında dikkat çekici sonuçlar ortaya koymuştur. Yaz sezonunda yapılan ölçümlere göre; PM_{2,5} ortalama konsantrasyonu $54,18 \pm 36,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. PM₁₀'ların ise ortalama konsantrasyonu $61,87 \pm 38,90 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Bayburt gibi düşük nüfus yoğunluğuna sahip ve yarı-kentsel bir alanda dahi yaz aylarında PM kirliliğinin önemli bir sorun olabileceğini açıkça göstermektedir. Diğer taraftan PM_{2,5}'ların yaz konsantrasyonu incelendiğinde ise; PM_{2,5}'lar için en düşük konsantrasyon

5,82 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 17 Temmuz 2024 tarihinde ölçülmüştür. Bu düşük değerin, yaz ortasında kısa süreli yağışlı bir dönemde gerçekleşmiş olabilir. Ya da hava temizliğinin arttığı yüksek rüzgârlı bir gün sonrası gerçekleşmiş olması olasıdır. En yüksek PM_{2,5} konsantrasyon değeri ise 151,15 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 5 Temmuz 2024 tarihinde kaydedilmiştir. Bu olağanüstü yüksek değer, özellikle sıcak, durgun ve rüzgarsız hava koşullarında toprak kaynaklı toz taşınımı ile tarımsal faaliyetlerin etkili olduğu günlerde meydana geldiği düşünülmektedir. Özellikle Haziran sonu ve Temmuz başı döneminde PM_{2,5}'ların seviyelerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu dönemler tarım sezonunun yoğunlaştığı ve toprak yüzeyinin en kuru olduğu zamanlardır. Ayrıca yaz aylarında artan sıcaklıklar, gaz fazlı kirleticilerden ikincil partikül oluşumunu teşvik ederek PM_{2,5} seviyelerini yükseltmektedir. PM₁₀'ların yaz konsantrasyonu değerleri incelendiğinde ise; PM₁₀'ların için en düşük değer 11,40 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile yine 17 Temmuz 2024 tarihinde tespit edilmiştir. PM_{2,5} ile uyumlu şekilde düşük olması, genel hava temizliğinin arttığı kısa süreli meteorolojik iyileşmeleri göstermektedir. PM₁₀'lardan en yüksek konsantrasyon ise 175,35 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile 5 Temmuz 2024 tarihinde ölçülmüştür. Bu değer, PM_{2,5}'tan da yüksek bir artışı temsil etmektedir. Ve büyük partiküllerin (toz, tarımsal serpinti gibi) önemli bir katkı sağladığını işaret etmektedir. Yaz aylarında PM₁₀'ların konsantrasyon değerleri PM_{2,5}'lardan daha fazla artış göstermektedir. Bu durumda, mekanik toz kaynaklarının (toprak yüzeyi, tarım, yol çalışmaları vb.) etkisinin arttığını göstermektedir. Yaz mevsiminde genel PM eğilimi açısından incelenecek olursa; yaz döneminde ölçülen ortalama PM_{2,5} ve PM₁₀'ların değerleri, WHO'ya göre hesaplanan günlük maruz kalma limitlerini (PM_{2,5} için 15 $\mu\text{g m}^{-3}$; PM₁₀ için 45 $\mu\text{g m}^{-3}$) sıklıkla aşmıştır. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların seviyelerinde günlük bazda dalgalanmalar olduğu, fakat genel eğilimin yüksek seviyelerde seyrettiği görülmüştür. PM_{2,5} / PM₁₀ oranları incelendiğinde (yaklaşık 0,87 civarında hesaplanmıştır), hem ince hem kaba partikül modlarının önemli katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Bu oran, yaz mevsiminde ikincil ve birincil partikül kaynaklarının etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca yaz mevsimine ait konsantrasyonların olası nedenleri toprak kaynaklı doğal tozlar, Kuraklık ve tarımsal faaliyetler nedeniyle yüzey tozlarının atmosfere taşınması olarak ifade edilebilmektedir. Ayrıca bir takım kaynaklı faaliyetlere bakıldığında özellikle yaz aylarındaki inşaat faaliyetleri, yaz aylarında artan altyapı ve bina yapım faaliyetleri baş göstermektedir. Bir diğer kaynak ise araç trafiği ve yol tozları; yüksek sıcaklık nedeniyle asfalt ve yol yüzeylerinden toz yükselmesi olayıdır. Bir diğer oluşum olan ikincil partikül oluşumu; Fotokimyasal reaksiyonlarla ozon ve diğer kirleticilerden yeni partikül oluşum şeklidir. Bu faktörler, yaz aylarında gözlenen PM_{2,5} ve PM₁₀'ların artışlarının insan (antropojenik) ve çevre kaynaklı etkilerin birleşimi ile oluştuğunu göstermektedir.

Literatür ile uyumluluk açısından baktığımızda ise; çalışmanın bulguları, daha önce benzer iklim ve yer yapısına sahip Doğu Anadolu bölgelerinde yapılan araştırmalarla uyumludur. Yaz aylarında özellikle tarımsal alanlara yakın yarı-kentsel bölgelerde PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının yükselmesi beklenen bir sonuç olarak düşünülmektedir. Özetle, 2024 yaz döneminde Baberti Kampüsü atmosferinde ölçülen PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyon seviyeleri, insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturabilecek düzeylere çıkmıştır. Bu durumun nedenleri doğal ve insan kaynaklı kirletici etkilerin birleşerek bütüncül bir etki olarak tesir etmesidir.

Bayburt ili Baberti kampüsünde 2024 yılında gerçekleştirilen mevsimsel PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının bilimsel olarak da ele alınacak olursa; kış mevsiminden elde edilen verilere göre PM_{2,5} ortalama konsantrasyonu $28,80 \pm 30,48 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. PM₁₀ ortalama konsantrasyonu ise $36,03 \pm 29,95 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. PM_{2,5}'ların konsantrasyon aralığına bakıldığında ise en düşük $2,25 \mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda en yüksek $144,96 \mu\text{g m}^{-3}$ (03.04.2024) olarakta hesaplanmıştır. Diğer taraftan kaba mod PM'ler içinde PM₁₀ konsantrasyon aralığı en düşük $5,67 \mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) olarak bulunurken, en yüksek $168,36 \mu\text{g m}^{-3}$ (07.02.2024) olarak tesbit edilmiştir. Kış mevsiminde, hem PM_{2,5} hem de PM₁₀'ların değerlerindeki bu dalgalanmalarda özellikle ısınma kaynaklı (ağırlıklı olarak fosil yakıt tüketimi) emisyonların etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca hava sıcaklıklarının kış aylarında oldukça düşük olması İnversiyon olaylarının gerçekleşmesine, bunda PM'leri biriktirerek artırmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda rüzgar hızının düşük, hatta durma zamanlarında bile atmosferik koşullarının etkili olması özellikle kış aylarında kaçınılmaz bir hava koşuludur. Elde edilen veriler incelendikçe PM'lerin konsantrasyonlarının oldukça dalgalı değerler aldığı görülmüştür. Fakat genel olarak bazı günlerden kaynaklı daha düşük konsantrasyon değerlerine sahip bir eğilim izlenmiştir.

Diğer taraftan yaz mevsimine ait tesbit edilen bulgulara tekrardan bakılacak olursa; yaz aylarında yapılan aktif örnekleme sonuçlarına göre, PM_{2,5}'ların ortalama konsantrasyonu $54,18 \pm 36,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenirken, PM₁₀ ortalama konsantrasyonu ise $61,87 \pm 38,90 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Burada da PM_{2,5} konsantrasyon aralığı açısından incelenecek olursa, en düşük değeri $5,82 \mu\text{g m}^{-3}$ (17.07.2024) olarak, en yüksek değeri de $151,15 \mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) olarak bulunmuştur. Diğer taraftan PM₁₀ konsantrasyon aralığı da incelenecek olursa; en düşük değeri $11,40 \mu\text{g m}^{-3}$ (17.07.2024) olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda en yüksek değeride $175,35 \mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) olarak hesaplanmıştır. Yaz mevsiminde belirlenen PM konsantrasyonları, kış mevsimine göre daha az dalgalı ve daha belirgin değerler almıştır. Ayrıca yaz mevsimindeki PM'lerin konsantrasyon değerlerinin kış mevsimine göre fazla

ıkması genellikle çok karşılaşılan bir durum olmasa da, bu durumunda geçerli sebeplerinin olduğuna inanılmaktadır. Bu durumun başlıca nedenlerinden bazıları ele alınacak olursa; toprak yüzeyinin aşırı kuruyup etkili rüzgar hızı ile yüzey tozlarının havalandırılması olabilir. Bir diğer sebep yaz aylarında özellikle tarımsal faaliyetlerin artması PM'ler için ciddi kaynak göstergesidir. Aynı zamanda inşaat çalışmaları da yine yaz aylarında oldukça doğu illerinde aktif olması bu duruma kanıt olma niteliğindedir. Ayrıca rüzgarla taşınan tozlarında yakın ya da uzak menzilli taşınımlarla atmosferik PM'lerin konsantrasyonlarının artırılmasına sebep olduğu söylenebilir. Aynı zamanda Bayburt ili çevresinde merkeze yakın taş ocaklarının olması ve yazın özellikle bu ocaklarda hem taş kırılması hem de kamyonlar ile malzeme taşınması ciddi manada PM'lerin konsantrasyonlarını artıracakını aşıkar ortaya koymaktadır. Ayrıca yaz aylarında yüksek sıcaklıklardan dolayı bazı gazların (NO₂, VOC'ler gibi) ikincil partikül oluşumuna katkı sağladığı da düşünülmektedir. Bu çalışmaya göre PM_{2,5} ve PM₁₀ değerleri yaz aylarında yaklaşık % 88-90 oranında artmıştır. Yaz aylarında ayrıca ortalama konsantrasyon değerleri de artmıştır. Aynı zamanda maksimum değerler kış aylarına göre daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu durum, doğal kaynaklardan (toz, tarım, inşaat vb.) daha fazla partikül salınımlarının olduğu ve buda özellikle yaz mevsiminde PM'lerin belirgin bir şekilde arttığını göstermektedir. Kış aylarında ise en çok ısıtma kaynaklı olarak fosil içerikli yakıtların yakılması sebep olmaktadır. Aynı zamanda kışın inversiyon tabakaları gibi Meteorolojik olaylarında etkili PM kaynakları olup, yoğun salınımlar olduğunu göstermektedir. Yine de bu çalışmada kış mevsimine ait PM'lerin konsantrasyonları yaz mevsimine göre sınırlı kalmıştır.

Bu çalışmasının sonuçları açısından tekrardan toparlanacak olursa, Bayburt ilinde yer alan Baberti Kampüs atmosferinin PM konsantrasyonları, mevsimsel hareketlenmelere bağlı olarak önemli seviyelerde değişikliklere ev sahipliği etmiştir. Kış aylarında PM'lerin kaynakları daha çok ısınmadan kaynaklanırken, yazın ise doğal toz taşınımları, zeminden havalanabilecek emisyonlar ve ikincil PM'lerin oluşumu dikkat çekmektedir. Sonuçlar, diğer literatür çalışmalarının ortak konusu olan benzer iklim ve yerleşim yapısına göre yapılan çalışmalarla da uyumlu olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan örnekleme günlerine ait konsantrasyon değişimleri incelendiğinde ise; ciddi manada PM konsantrasyonlarının arttığı görülmüştür. Böylece bu PM artışlarının ya da bazı günler oldukça yüksek çıkma durumlarına karşı bir takım önleyici yöntemlere geçilmesi oldukça önemli bir durum olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu açıdan bakıldığında; yazın özellikle kuru sıcak havalarda tozların daha fazla havalanma riskinin olduğu yol ve işlek taşınım alanlarda yapılabilcek en iyi işlemlerden biri olan toprağın yüzeyinde su püskürtme işlemleri, toz bastırmada oldukça önemli bir mücadele yöntemidir. Aynı zamanda kışın ise yakıt kalitesi artırılabilir. Böylece alternatif temiz enerji kaynaklarına teşviklerin cazibeli hale getirilmesi sağlanarakda, PM'lerin konsantrasyonları bu şekilde

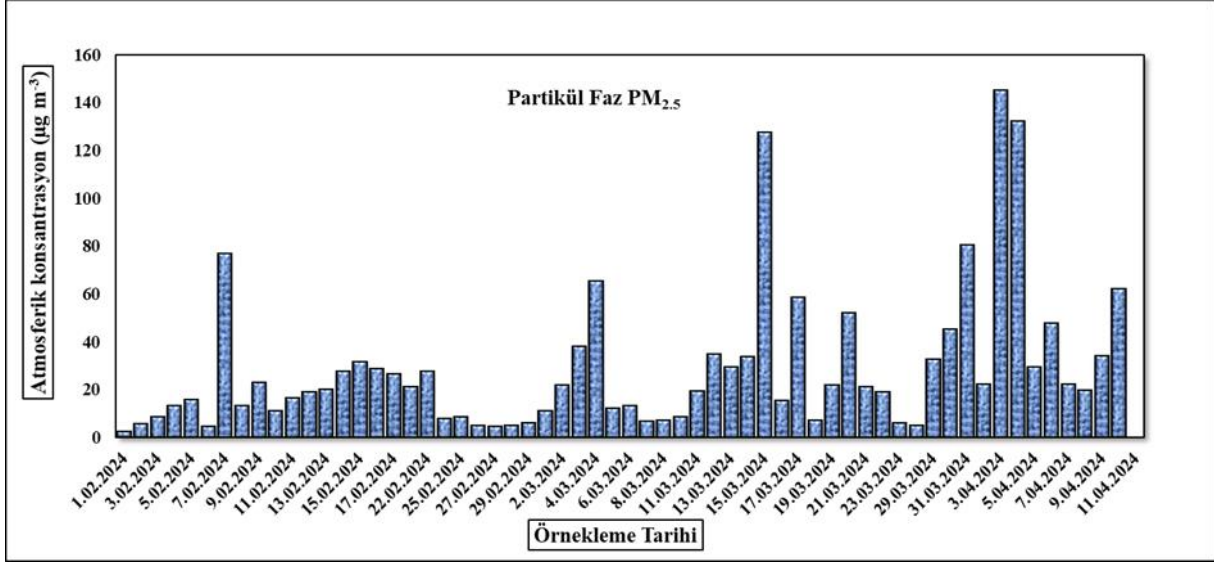
azaltılabilir. Ayrıca yıl boyunca meteorolojideki değişiklikler de dikkate alınarak, hava kalitesinin PM içerikli değerlerini daha fazla izleyecek programlarla güçlendirilmelidir.

3.1.4. Atmosferik PM'lerin Konsantrasyonları (Kış Mevsimi: PM_{2,5} ve PM₁₀)

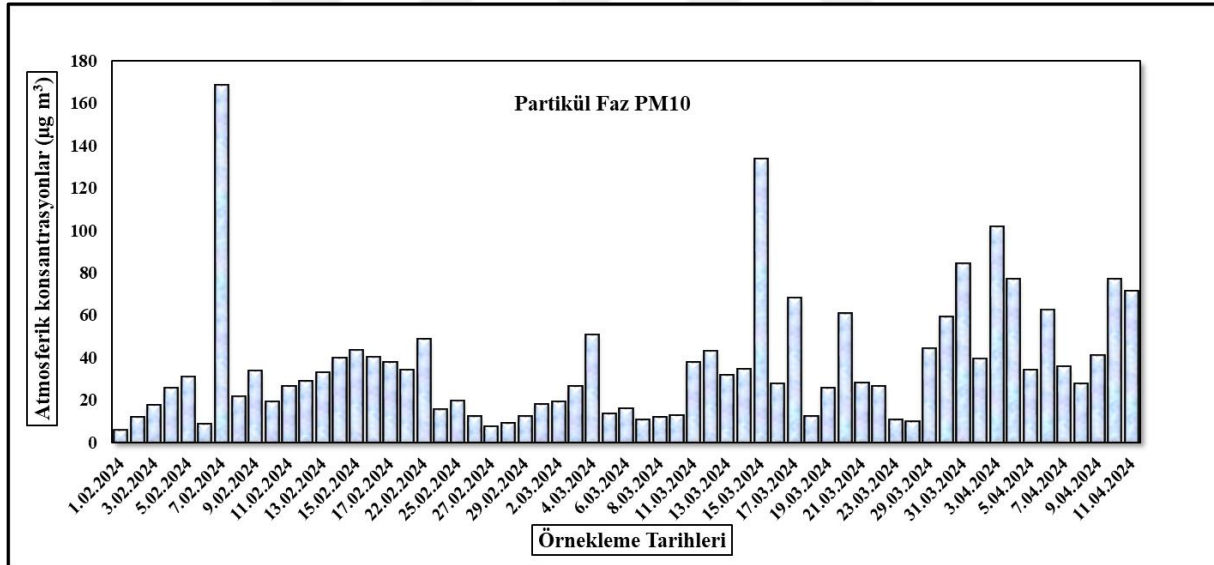
Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde yapılan aktif atmosferik örnekleme çalışmasında, kış mevsimine ait PM_{2,5}'ların konsantrasyon değerleri Şubat ve Mart aylarında günlük olarak ölçülmüştür. Şekil 17'den de görüleceği gibi, günlük olarak PM_{2,5} konsantrasyonları oldukça dalgalı değişimler yapmıştır. Elde edilen verilere bakıldığında, 1 Şubat 2024 tarihinde PM_{2,5} konsantrasyonu $2,25 \mu\text{g m}^{-3}$ gibi oldukça düşük bir değerle başlamıştır. Ardından gelen günlerde bu değer kademeli olarak artış göstermiştir. Özellikle de 7 Şubat 2024 tarihinde $76,79 \mu\text{g m}^{-3}$ ile önemli bir yükselme yaşanmıştır. Bu ani artış, özellikle bölgede yaşanan hava durumu değişikliklerinden kaynaklanabilmektedir. Ya da fosil içerikli yakıt yakılmasındaki aşırı artışta sebep olabilmektedir. Ya da İnversiyon tabakasının oluşum etkileri gibi hem Meteorolojik hem de Antropojenik faktörlere bağlanabilmektedir. Şubat sonu Mart ayı başlangıcında, PM'lerin konsantrasyon değerlerinin belirli günlerde (örneğin 4 Mart ve 17 Mart) $65,16 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $58,23 \mu\text{g m}^{-3}$ gibi oldukça yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Ancak asıl dikkat edilmesi gereken durum ise, 3 Nisan 2024 tarihinde ölçülen $144,96 \mu\text{g m}^{-3}$ değeriyle tüm kış aylarının en yüksek PM_{2,5} konsantrasyon değeri kaydedilmiştir. Bu oldukça olması zor olan değer, büyük ihtimalle ilk bahara geçiş dönemlerinde Meteorolojik faktörlerin bozulması olayı görülmektedir. Böylece toz taşınımı gibi doğal olayların tetiklenmesi ve PM'lerin seviyelerinin dalgalanmasının sebepleri ile ilişkilendirilebilir.

Genel olarak PM'lerin dağılımlarına bakıldığında, Şubat ayının ilk yarısında konsantrasyon değerlerinin çoğunlukla $5-20 \mu\text{g m}^{-3}$ aralığında kaldığı görülmektedir. Mart ayında ise özellikle de 10 Mart sonrasındaki dönemde konsantrasyonların $30 \mu\text{g m}^{-3}$ 'ün üzerinde değerler çıktığı tesbit edilmiştir. Bu durum, kış mevsiminde özellikle erken dönemde sıcaklıklarda düşmeler olmasıyla açıklanabilir. Böylece kar yağışlarının artarak PM'lerin artışlarını baskılayabilmektedir. Ancak sıcaklıkların artmasıyla da yeniden yükselmelerin olacağı şeklinde yorumlanabilmektedir. Ayrıca, Mart ayındaki sıcaklık artışları sayesinde yüzeyde biriken kirleticiler atmosfere kolaylıkla karışabilmektedir. Aynı zamanda yerel ısınmaların konut ve sanayilerde de sürmesi gibi etkiler de PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarındaki artışlara sebep olduğu düşünülmektedir. Çalışmadan elde edilen bu bulgular, literatürdeki benzer kış örneklemelerine yakın sonuçlar aldığı görülmüştür. Sonuç olarak, Baberti Kampüsü'nde kış boyunca PM_{2,5} konsantrasyonlarının sıcaklık değişimlerinden etkilendiği açık bir şekilde görülmüştür. Aynı zamanda meteorolojik faktörlerdeki dalgalanmalarında önemli etkisi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca Antropojenik kaynaklardan da bol miktarda PM'lere

kaynak emisyon salınımlarında sağlayarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Mart ayındaki PM'lerin artışları, iklim geçiş dönemlerinde yani ilk bahar aylarında PM'lerin konsantrasyonlarında artışlara sebebiyet verdiğinden oldukça dikkatli olunması gerektiğini bir kere daha ortaya koymuştur.



Şekil 17: PM_{2,5} Konsantrasyonları (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)



Şekil 18: PM₁₀ Konsantrasyonları (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)

Bu çalışmada, PM_{2,5} gibi PM₁₀'larında konsantrasyon değerleri Şubat ve Mart aylarında günlük olarak kaydedilmiştir. Şekil 18'de görülen verilere göre, PM₁₀ konsantrasyon seviyelerinde de dikkat çekici bir dalgalanma olduğu gözlenmiştir. Ölçüm sonuçları, Meteorolojik koşulların oldukça önemli ve etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca insan kaynaklı aktivitelerinin etkisinin ne kadar çok olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

Çalışmanın ilk günlerinde, 1 Şubat 2024 tarihinde PM₁₀ konsantrasyonu $5,67 \mu\text{g m}^{-3}$ gibi düşük bir seviyede bulunmuştur. İlk günlerde PM₁₀'ların konsantrasyon değerleri nispeten düşük kalmaktadır. 7 Şubat 2024 tarihinde ise ölçülen $168,36 \mu\text{g m}^{-3}$ ile örnekleme yapılan

tüm kış günlerinin en yüksek PM10 konsantrasyonu olarak kaydedilmiştir. Bu ani yükselişin sebeplerine bakılacak olursa, başta Meteorolojik dengenin bozulduğu fikrini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca İnversiyon tabakalarının da etkisinin olduğunu göstermektedir. Ya da yakıt tüketimindeki artışın olduğu bir dönemi işaret etmektedir. Genel olarak Şubat ayında PM10'ların konsantrasyonlarının düşükten orta seviyeye doğru dalgalandığı görülmektedir. Mart ayında ise PM konsantrasyon değerlerinde gözle görülür bir artış olduğu belirlenmiştir. Özellikle 15 Mart 2024 tarihinde tekrardan ciddi bir yükseliş daha görülmüştür ($133,44 \mu\text{g m}^{-3}$), bu durumda ilkbaharın ilk geçiş döneminde atmosferik şartlardaki değişimlerin PM'lerin artmasına sebep olduğunu ortaya koymuştur. Mart ayının son günlerine doğru ise PM10 konsantrasyonlarının genel olarak yüksek seviyelerde devam ettiği görülmüştür. Örneğin 3 Nisan 2024 günü $101,74 \mu\text{g m}^{-3}$ değeri alınırken, 4 Nisan 2024 günü $76,91 \mu\text{g m}^{-3}$ ve 10 Nisan 2024 günü de $76,84 \mu\text{g m}^{-3}$ gibi değerlerin olduğu görülmektedir. Bu durum ise, mevsimsel geçişlerde rüzgarın hızının artmasıyla birlikte hem yerel merkezi noktalardan hem de uzak kaynaklı uzun menzilli toz taşınımalarının etkili olabileceğini akla getirmektedir.

Kış boyunca tesbit edilen PM10'ların konsantrasyonlarının genel ortalaması $36,03 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu görülmektedir. Bu değer WHO'nun mevzuatında sunulan 24 saatlik sınır değer (50 $\mu\text{g m}^{-3}$) altında kaldığını göstermektedir. Fakat bazı günlerde de bu sınır değerini aştığı tespit edilmiştir. Özellikle 7 Şubat, 15 Mart, 17 Mart ve 3 Nisan tarihlerinde bu sınır değerini aştığı günler olarak bilinmektedir. Bu durumda hava kalitesinde oldukça önemli ve geçici bozulmaların yaşandığını göstermektedir.

Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre genel bir yorum yapılacak olursa; Şubat ayında düşük sıcaklıklar ve sabit atmosferik yapının olması PM'lerin çökmesini desteklemiştir. Buna karşın Mart ayında sıcaklık artışları ve artan yüzey rüzgarların PM'lerin yeniden artışına sebep olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bölgede ısınmadan kaynaklı emisyonlar ve yerel hareketlilik de PM10'ların konsantrasyonlarını belirlemede en önemli faktörler arasına girmektedir. Sonuç olarak, Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde kış boyunca PM10'ların ölçümleri belirli bir çalışma programına göre oldukça hassas bir şekilde yapılmıştır. Bu ölçümler atmosferdeki PM konsantrasyonlarını, doğrudan hava sıcaklıkları ile atmosferik kararlılık ve insan aktivitelerine bağlı olarak değiştirdiğini göstermektedir. Ayrıca PM10'ların konsantrasyon seviyelerindeki artışlara karşı bir takım önlemler alınması gerekmektedir. Özellikle de hava kirliliğinin mevsimsel geçiş zamanlarında daha dikkatle bir şekilde izlenmesi gerekliliğini göstermektedir. Ayrıca PM10'ların konsantrasyon artışlarına karşı önleyici çevre yönetim politikalarının da geliştirilmesi gerekmektedir.

3.1.5. Atmosferik PM Konsantrasyonları (Yaz Mevsimi: PM2,5 ve PM10)

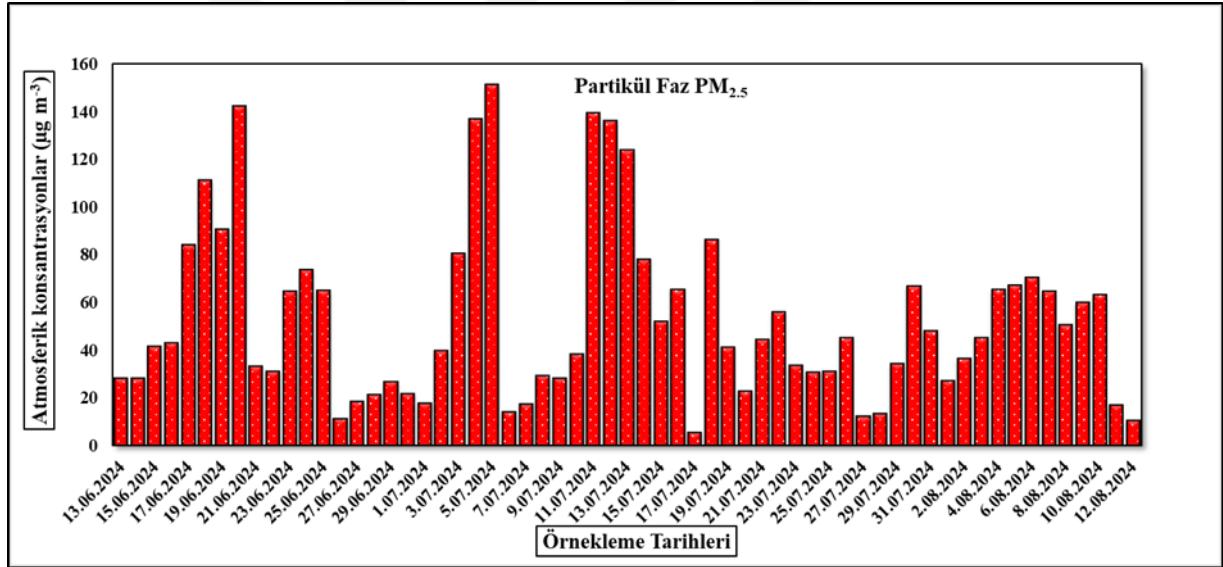
Yaz mevsiminde gerçekleştirilen örnekleme işlemleri, Haziran ayının ikinci haftası itibarıyla başlatılmıştır. Ağustos ayının da ortalarına kadar ara vermeden günlük örneklemler alınmıştır. Yapılan aktif örneklemler sonucunda elde edilen veriler ise, yaz mevsiminde de PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarında günlük dalgalanmaların olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Aşağıdaki Şekillerde (Şekil 19 ve Şekil 20) sunulan grafiksel verilere incelendiğinde, kış döneminde gözlenen dalgalı yapıya benzer günlük durumların yaz döneminde de benzer şekilde olduğu görülmektedir. Bu benzerliğe karşı yaz dönemi konsantrasyon değerlerinin kış dönemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yaz mevsiminin en sıcak ayı olan Ağustos ve Temmuz aylarında, özellikle PM2,5 konsantrasyonlarının ciddi ölçülerde yükseldiği gözlenmektedir. Özellikle 5 Temmuz 2024 tarihinde PM2,5 değerinin $151,15 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmesi, maksimum seviyelere ulaşıldığını göstermiştir. Bu durumun yaz mevsiminde bölgesel karakterle uyumlu olarak yoğun toz taşınımlarının olması etken faktör olarak görülmektedir. Ayrıca tarımsal faaliyetlerinde yaz aylarında yoğunlaşması yine bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Yine az bir ihtimalde olsa toprak yüzeyinin kuruması gibi doğal ve antropojenik kaynaklı faktörlerin PM'lerin konsantrasyonlarını ciddi ölçüde artırdığını göstermektedir. Benzer bir durum da PM10'ların konsantrasyonları açısından da olmuştur. Bu duruma göre en yüksek PM10 konsantrasyon değeri yine yaz aylarının başında, 5 Temmuz 2024 tarihinde $175,35 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak ölçülerek kaydedilmiştir.

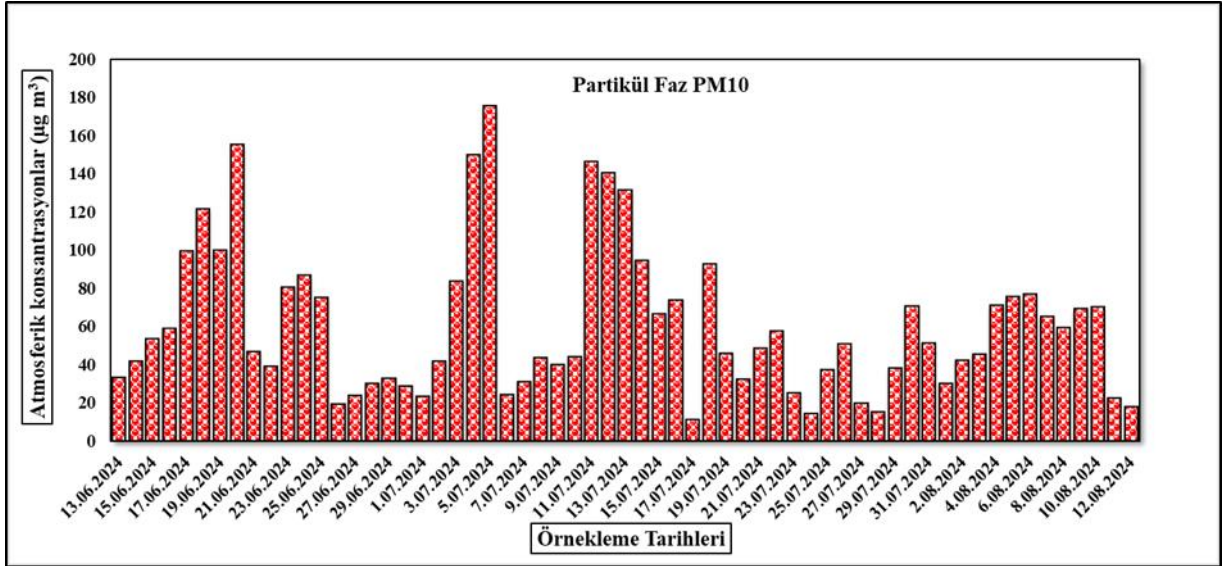
Şekil 19'dan da görüldüğü üzere PM2,5'ların günlük değişimleri incelendiğinde ise; 13-20 Haziran tarihlerinde ve 1-10 Temmuz tarihlerinde belirgin bir şekilde artış gözlenmektedir. Ardından da sıcaklığın kademeli düşmesiyle PM2,5'ların konsantrasyonlarında azalmalar görülmüştür. Şekil 20'de verilen PM10 değişimlerinde ise benzer durum yaşanmaktadır. Yazın sıcaklığın en fazla olduğu günlerde PM10'ların konsantrasyonları oldukça yüksek ölçülmüştür. ilerleyen tarihlerde ise sıcaklık ve buharlaşmada meydana gelen düşüşlerle PM konsantrasyon birikimlerinde de düşüşler olmuştur. Bu durum yaz döneminde yağışın az ve sıcaklığın fazla olduğu günlerde özellikle toprak yüzeylerinin kuruması ile açıklanabilmektedir. Aynı zamanda yüksek sıcaklık ve düşük nemin olduğu günlerde bu duruma etken faktör olduğu düşünülmektedir. Ayrıca rüzgar kaynaklı toz emisyonlarının artması diğer etken faktörler arasındadır. Tarımsal aktiviteler ve inşaat gibi insan aktivitelerinin artışı da yine PM'lerin havadaki konsantrasyonlarını artırdığını önemli ölçüde desteklemektedir. Diğer taraftan, yaz mevsiminde örneklenen PM2,5'ların konsantrasyon değerlerinin günlük olarak $5,82 \mu\text{g m}^{-3}$ ile $151,15 \mu\text{g m}^{-3}$ arasında tesbit edilmiştir. PM10'lar ise $11,396 \mu\text{g m}^{-3}$ ile $175,353 \mu\text{g m}^{-3}$ arasında

olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler, yaz örnekleme boyuncu WHO'nun belirlediği sınır değerleri fazlasıyla çoğu günlerde aştığı görülmektedir. elde edilen bu sonuçlardan yola çıkılarak insanların sağlıklarına da ciddi zararlar verebilecekleri kanısına varılabilmektedir.

Sonuç olarak, yaz mevsiminde yapılan aktif atmosferik örneklemelelerde, Bayburt'un yarı-kentsel atmosferinde PM kirliliği özellikle yaz sıcaklarının arttığı aylarda sınır değerleri aşarak kritik seviyelere ulaşmıştır. Yaz mevsimi açısından, PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları kış mevsimine oranla, hem ortalama değerler açısından hem de maksimum pikler açısından daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu durum, Bayburt ili hava kalitesinin korunmasına yönelik ciddi bir şekilde mevsimsel çalışmaların geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle yaz aylarında toprak ile alakalı toz kontrol önlemlerine oldukça önem verilmelidir. Aynı zamanda açık alanlarda rüzgarlarla getirilebilecek PM kaynaklarının azaltılmasına yönelik ivedili çalışmaların başlatılması gibi benzer çalışmalar çevresel açıdan hava kalitesinin korunması için sürdürülebilirlik çalışmaları olarak oldukça büyük önem arz etmektedir.



Şekil 19: PM_{2,5} Konsantrasyonları (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)



Şekil 20: PM10 Konsantrasyonları (Yaz Mevsimi Örneklem Tarihleri)

3.1.6. Kış ve Yaz Mevsimine Ait PM2,5 ve PM10 Konsantrasyonlarının Bilimsel Açıdan Karşılaştırılarak Değerlendirmesi

Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde yapılan aktif atmosferik örneklemeler sonucunda, PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyon değerlerinde kış ve yaz ayları boyunca önemli ölçüde değişimlerin olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler, mevsimsel etkilerin PM'lerin birikimi ve dağılımı üzerinde belirleyici olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. İlk olarak kış mevsimi verileri incelendiğinde, PM2,5 ortalama konsantrasyonu $28,80 \pm 30,48 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca PM10'ların da ortalama konsantrasyon değeri $36,03 \pm 29,95 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Tesbit edilen bu değerler, özellikle soğuk havaların en çok yaşandığı Şubat ayında düşük seviyelerde bulunmuştur. Mart ayında ise havalar az da olsa ısınması ile birlikte PM'lerin konsantrasyon değerlerinde belirgin yükselmeler olmuştur. Mart ayının ilerleyen günlerinde de, PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyon değerlerinin zaman zaman Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlemiş olduğu sınır değerlerini fazlası ile aştığı görülmüştür. Kış mevsiminde ölçülen en yüksek PM2,5 değeri $144,96 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak 3 Nisan 2024 tarihinde rapor edilmiştir. PM10 konsantrasyonu ise $168,36 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak en yüksek konsantrasyon değerini 7 Şubat 2024 tarihinde belirlenmiştir.

Kış aylarına karşın yaz mevsimi ölçümlerinde de PM2,5'ların ortalama konsantrasyon değeri $54,18 \pm 36,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bu mevsimde PM10'ların ortalama konsantrasyonu ise $61,87 \pm 38,91 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak tespit edilmiştir. Yaz aylarındaki PM konsantrasyonlarının kış aylarına nazaran fazla olarak tesbit edilmesi yukarıda da bahsedildiği gibi; sıcaklık artışlarından dolayı atmosferik karışımın artması veya tozların yerel ya da uzak bölgelerden taşınımı gibi doğal faktörlerin etkisiyle PM'lerin konsantrasyonları genel olarak daha yüksek seviyelerde bulunmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Özellikle Temmuz

ayının ilk günlerinde PM_{2,5}'lerin konsantrasyonları 151,15 µg m⁻³ gibi oldukça sınır değerden yüksek değerlere ulaşmıştır. PM₁₀'ların konsantrasyon değerleri ise yine Temmuz ayında 175,35 µg m⁻³ olarak tesbit edilerek oldukça yüksek bir değer olarak literatür tarihine geçmiştir. Bu durumun sebepleri bazı açılardan incelenecek olursa; ilk olarak yaz mevsiminde sıcaklıklar ile birlikte toprak yüzeyinin kuruması neticesinde yerel tozlanmalar ile uzak bölgelerden taşınımlara ev sahipliği yapmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca diğer bir etken faktörde sıcak havalarda insan aktivitelerinin artmasının da önemli etkiler oluşturduğuna inanılmaktadır.

Kış ve yaz mevsimleri bir arada karşılaştırıldığında ise; yaz aylarında hem PM_{2,5} hem de PM₁₀'ların konsantrasyon ortalamalarının kış mevsimine göre yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Yazın artan sıcaklık ve kuraklıklardan dolayı, doğal toz emisyonlarını taşınımı artmaktadır. Ayrıca insan kaynaklı kirleticilerinde insan faaliyetleri sonucunda artması durumlarının hepsi etkileşerek PM'lerin atmosferik konsantrasyonlarını yükseltmiştir. Bu duruma karşılık da kış aylarında ise; düşük sıcaklıkların artması ve karasal inversiyon tabakasının oluşum koşulları PM'lerin birikimine temel sebep olmuştur. Ancak genel konsantrasyon ortalamaları açısından yazın elde edilen verilerin oldukça gerisinde kalmıştır.

Özellikle PM_{2,5}'larda yaz ve kış aylarında oldukça yüksek değerler görülmüştür. Bu değerler çoğu gün WHO'nun belirlediği sınır değer olan 15 µg m⁻³ (2021 sonrası güncellenmiş limit) değerini çok ciddi ölçülerde geçtiği görülmektedir. Bu durum da, yaz ve kış aylarında solunabilir PM'lerin insan sağlığı açısından gerçekten zararlı etkiler oluşturabileceğini ispat emektedir. Ayrıca bu durum özetlenecek olursa; Bayburt ilinin yarı-kentsel atmosferinde hem kış hem de yaz dönemlerinde PM'ler açısından önemli bir kirlilik ve bununla beraberde çevresel sorun olarak kendini gösterebilmektedir. Diğer taraftan kış aylarında fosil içerikli yakıtların yakılması, yaz mevsiminde ise doğrudan doğal kaynaklı emisyonların etkisi ile Meteorolojik faktörlerdeki değişkenlikler önemli bir kısmı kaplamaktadır. Her iki durumda da hava kalitesinin korunması ve kontrol edilmesi için mevsimsel yeni çalışmalarla önemli stratejilerin geliştirilmesinin gerekliliği aşikar olmuştur. Özellikle yaz aylarında rüzgardan ve sıcaklıklardan kaynaklanan tozların taşınımlarına karşı ciddi önlemler alınmalıdır. Kış aylarında ise konut ısınmasında fosil yakıt değilde daha temiz doğal gaz gibi yakıtların kullanılmasına insanların teşvik edilmesi gerekmektedir.

3.2. PM'LERİN KONSANTRASYONLARINA METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN ETKİSİ

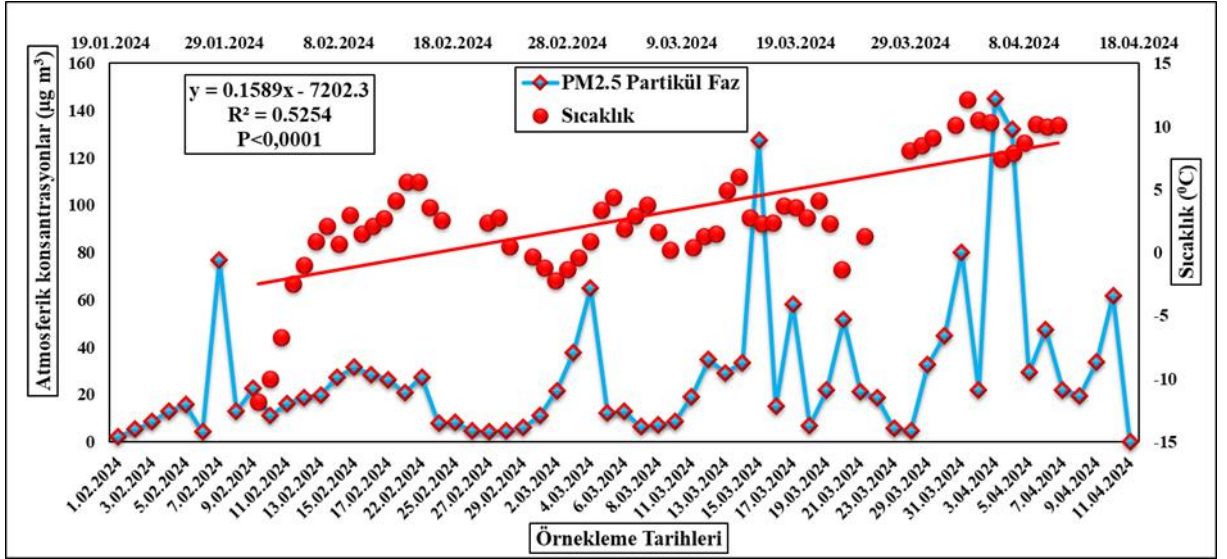
3.2.1. PM_{2,5} ve PM₁₀'lara Meteorolojik Faktörlerin Etkisi; Kış Mevsimi

Son zamanlarda yapılan bir çok bilimsal çalışmalarda rüzgâr hızı, sıcaklık, rüzgar yönü, yağış, nem ve basınç gibi bazı meteorolojik parametrelerin ciddi manada kentsel ya da kırsal alanlardaki PM'lerin konsantrasyonlarına etki ettiğine dair açıklamaları bulunmaktadır (Bozlaker vd., 2008; Wang vd., 2015). Sıcaklığın Şekil 21 ve Şekil 22'deki gibi PM_{2,5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarına etkisi incelenecektir. Burada öncelikli olarak PM_{2,5}'ların konsantrasyonları ve sıcaklık ilişkisi ele alınacaktır. Şekil 21 ve aşağıdaki açıklamalar ile birlikte grafikteki regresyon analizine göre, PM_{2,5}'ların konsantrasyonu ile sıcaklık arasında anlamlı bir ilişki (pozitif yönlü) gözlenmiştir. Çalışmada R^2 değeri yaklaşık olarak 0,53 civarında çıkmıştır. Bu 0,53'lük oran da sıcaklık dalgalanmaları PM_{2,5}'ların konsantrasyonundaki varyasyonun yaklaşık %53'ünü tam olarak açıklayabildiğini ifade etmektedir. Pozitif eğim değeri olarak sıcaklık arttıkça PM_{2,5} konsantrasyonunda da artışlı eğilim olduğu göstermektedir. Ancak p-değeri %5 güven aralığında bulunmuştur. Bu durumda “p” sınırda olup, ilişki olarak anlam bakımından en iyi açıklanacak durum “ılımlı güçlü” olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer taraftan yine kış mevsimine ait PM₁₀'larla sıcaklık ilişkisi incelendiğinde ise; PM₁₀'ların konsantrasyonu ile sıcaklık arasında da PM_{2,5}'lara benzer şekilde pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. R^2 değeri PM_{2,5}'lardan biraz daha yüksek bulunmuştur. Burada R^2 yaklaşık olarak 0,52 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda da sıcaklığın PM₁₀'ların değişimlerinde, PM_{2,5}'lara göre biraz daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. PM₁₀'larda ayrıca eğim yine pozitif bulunmuştur. Böylece sıcaklık artışıyla birlikte PM₁₀'ların konsantrasyonlarında artışlı eğilimler görülmektedir. Ayrıca p değeri burda da anlamlılık sınırlarını geçerek aralarındaki etkileşimli ilişkiyi istatistiksel açıdan destekleyerek, doğrulamaktadır.

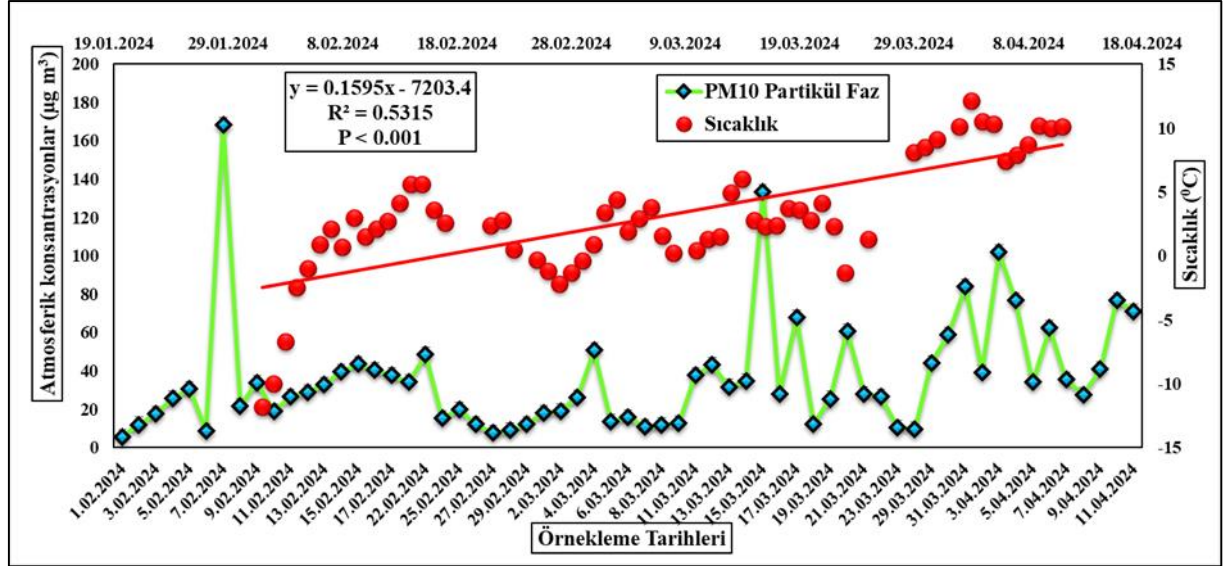
Kış mevsiminde atmosferik sıcaklığın -11,8 °C gibi çok düşük değerlerden başlamış ve 10-12 °C seviyelerine kadar yükselmeli artışlar olmuştur. Sıcaklığın en düşük olduğu Şubat ayının ilk haftalarında PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyon değerleride oldukça düşük bulunmuştur. Mart ve Nisan aylarının başlarına doğru sıcaklıkların artmasıyla, özellikle 3-4 Nisan tarihli günlerde PM_{2,5}'lar 144,96 µg m⁻³ olarak, PM₁₀'ların ise 101,74 µg m⁻³ gibi çok yüksek konsantrasyonlara ulaşılmıştır. Görülen bu sıcaklık artışlarının toprağın üst kısmından yeniden toz kalkmasına sebep olabilmektedir. Aynı zamanda kuruyan toprak yüzeylerinden özellikle ince mod PM'ler atmosfere yükselebilmektedir. Böylece sıcaklık artışlarıyla birlikte ısınan havanın daha fazla kirleticiyi bünyesinde tutarak taşınması gibi durumlar nedeniyle PM'lerin konsantrasyon seviyelerinde görülen ani yükselişlere sebep olduğu düşünülmektedir.

Özellikle, kış aylarında karla mücadele için dökülen tuz, toprak ve diğer PM türleri, sıcaklığın katkısıyla da daha kolay atmosfere taşınabilmektedirler. Bu düşünceleri desteklemek için farklı açılarda çalışılan bilimsel araştırmaların yorumlarında incelenmiştir. Bu çalışma yorumlarına göre; kışın sıcaklıkların artması ile birlikte PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında da bariz bir şekilde oldukça belirgin artışlarda gözlenmiştir. PM₁₀'lar, daha büyük yapıları olmasına rağmen, sıcaklıkların yükselmesiyle beraber daha yüksek R² değeri almıştır. Bu durumda sıcaklıktan kaynaklanan yeniden toz kalkışlarının daha yakın olduğu aşikar olmuştur. PM_{2,5}'lar açısından bakıldığında ise, PM_{2,5}'lar daha çok eksik ya da tam yanma kaynaklıdır. Ayrıca ikinci oluşum partikülleri oldukları için sıcaklık artışlarından daha az etkilenebilmektedir. Bu durum da biraz daha düşük ve azda olsa anlamlı bir duyarlılık göstermektedir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında ise; örneğin, Tai ve arkadaşlarının (2010)'da yaptıkları çalışmalarda, sıcaklık artışı olduğu zamanlar İnversiyon etkisinin azaldığını ifade ederek, PM'lerin atmosferik ortamda daha serbest şekillerde birikimlerinin arttığını desteklemektedirler. Ayrıca ısıtma maksatlı yakıt kullanımı ya da araç trafiği gibi günlük yaşam aktivitelerinin azalması da yine sıcaklığa bağlı değişimlere yapılan bir çok yoruma ek bir açıklama sunabilmektedir.

Sonuçta, kış mevsiminde yapılan bu çalışmada sıcaklığın PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları arasında orta-yüksek seviyede pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sıcaklıkların artmaya başladığı Mart ve Nisan aylarında ise PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında ani yükselmeler olmuştur. Bu durumda, sıcaklığın PM'lerin konsantrasyon değişimlerinde önemli bir etken parametre olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu bulgular, Bayburt ilinin kış mevsiminde yaşanan atmosferik koşullarında, sıcaklıklardaki değişimlerinin PM'lerin konsantrasyonları üzerindeki etkisini açıkça ortaya koyulmuştur. Bayburt ilinde yaşanan bu durum literatürdeki benzer çalışmalarla da uyumlu olup özgün bir katkı sağladığına inanılmaktadır.



Şekil 21: Sıcaklık - PM2,5 Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)



Şekil 22: Sıcaklık - PM10 Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)

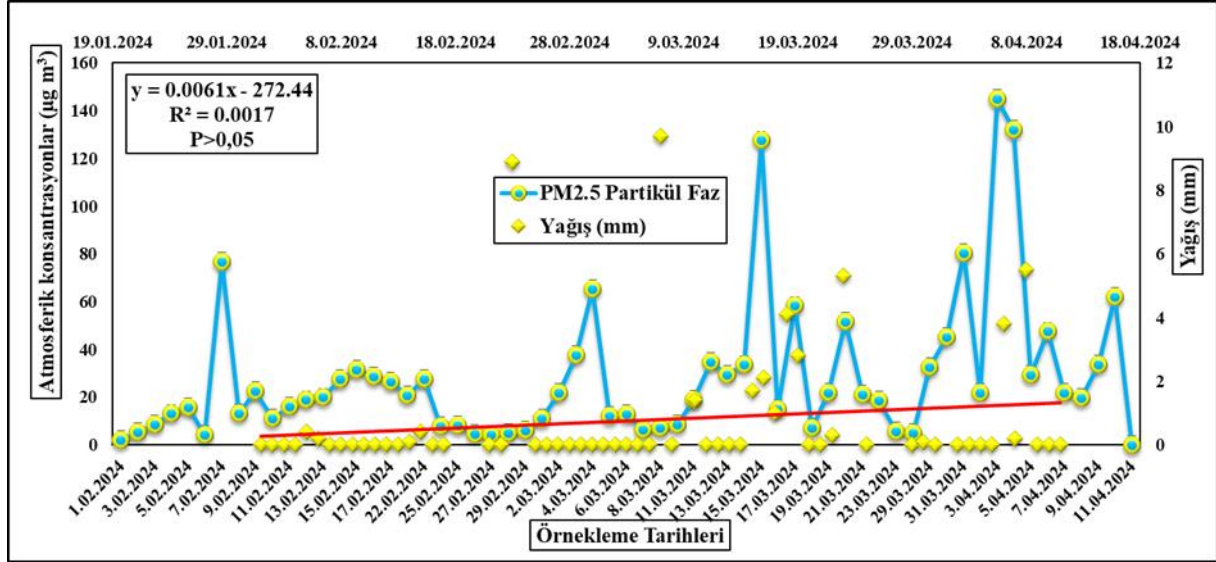
Meteorolojik faktörlerden bir diğeri olan yağışın etkisi de incelenecek olursa; kış mevsiminde atmosferik PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarının yağış ile etkileşimlerinin grafiksel gösterimleri Şekil 23 ve Şekil 24'de sunulmuştur. PM2,5'ların yağış etkileşimli ilişkisinde; R^2 değeri yaklaşık 0,0017 olarak hesaplanmıştır. Bu değer çok zayıf bir ilişki göstermektedir. Aynı zamanda eğim açısından bakılacak olursa negatif eğim görülmektedir. Bu durum yağışların artmasıyla PM2,5'ların konsantrasyonlarında düşme eğiliminde olacaklarını ifade etmektedir. Bir diğer istatistiksel yaklaşım olarak $p > 0,05$ olması anlamlı olmadığını gösteriyor. Diğer taraftan PM10'larla yağış ilişkisi de incelenecek olursa; R^2 değeri yaklaşık 0,025 olarak hesaplanan bu değer çok zayıf bir ilişki göstermektedir. Burda da eğimin negatif olduğu görülmektedir. Yağışlardaki artmalar oldukça PM10'ların konsantrasyonlarında azalmalar da olmaktadır. Aynı zamanda $p > 0,05$ olarak PM10'larda da yağış ilişkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı anlaşılmaktadır. Genel olarak her iki PM boyutlarında

yağışla etkileşimlerinde negatif yönlü bir korelasyon göstermiştir. Ama bu durum olmasına rağmen istatistiksel anlamlılık bulunmamaktadır. Yani, yağış bazı günlerde PM'lerin konsantrasyonlarını azaltmış olsa da, bu azaltma sürekli ve güçlü bir etki oluşturmamıştır.

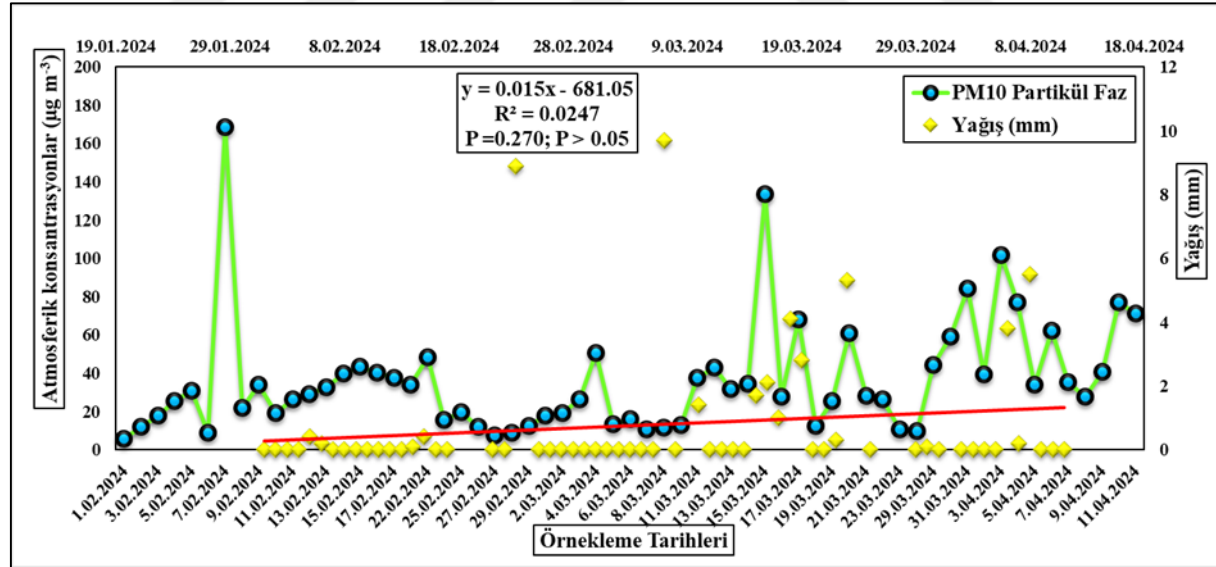
Yağışların genel etkileşimleri incelendiğinde; yağışlar sayesinde partikülleri atmosferden yıkayarak (wet deposition) çöktürülmesinde ya da uzaklaştırılmasında oldukça etkili bir faktördür (Seinfeld ve Pandis, 2016). Ancak Bayburt'ta kışın yağış miktarlarının düşük olduğu kaydedilmiştir. Özellikle günlük yağış miktarlarının çoğusunda 0 mm olduğu görülmektedir. Sadece birkaç günde (23 Şubat, 7 Mart, 15-16-17 Mart gibi) yoğun yağış (8,9 mm, 9,7 mm, 1,7-2,1-1 mm) olmuştur. Yağışın az olduğu günlerde, ya da yağışsız veya çok düşük yağışlı (0-0,4 mm gibi) günlerde, PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında anlamlı bir azalma olduğu açıkça görülmüştür. Çünkü bu kadar küçük yağış miktarları PM'leri tutup çöktürmek için yetersiz kalmaktadır (Jacob, 1999). Yağışın yoğun olduğu günlerde ise; 23 Şubat 2024 tarihinde (PM_{2,5} değeri 7,79 $\mu\text{g m}^{-3}$, yağış oranı 8,9 mm), PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında gözle görülür kısmi düşüşler olmuştur. Aynı zamanda 7 Mart 2024 tarihinde (PM_{2,5} değeri 6,47 $\mu\text{g m}^{-3}$, yağış miktarı 9,7 mm), PM'lerin konsantrasyonları oldukça çok düşük hesaplanmıştır. 15 Mart 2024 (PM_{2,5} değeri 127,49 $\mu\text{g m}^{-3}$, yağış miktarı 1,7 mm) tarihinde ise, yağışların yağmasına rağmen yüksek konsantrasyonda PM_{2,5}'lar tesbit edilmiştir. Çünkü bu durum 1-2 mm'lik yağış yağmasıyla da ani çöktürme etkisini oluşturmamaktadır.

Görülen bu az sayıdaki yüksek yağış günlerinde bile, PM'lerin konsantrasyonları tamamen baskılanmadığı bazı farklı durumlar görülmüştür. Bu durum ele alınacak olursa; atmosferik inversiyonların olması, yerel kaynaklardan emisyon salınımlarının devamlı olması, hatta ani yağış sonrası yeniden toz kalkışı olayları gibi faktörlerle görülebilmektedir. Genel olarak incelenecek olursa, Bayburt ili Baberti bölgesi gibi yarı-kentsel alanda, kışın yağışın azaltıcı bir etkisinin olabilmesi için, yağışların sürekli ve yoğun yağışlar şeklinde yağması gerekmektedir. Bu çalışmada yağışların süresi ve miktarı yeterince yüksek olmadığı görülmektedir. Böylece PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı düşüşler de olmuştur. Ayrıca literatür verileri incelendiğinde ise; Seinfeld ve Pandis (2016) yılında yaptıkları çalışmaya göre "Atmospheric Chemistry and Physics" kitaplarında, PM'lerin atmosferden uzaklaştırılmasında etkili yağış oranlarının genellikle $>5 \text{ mm gün}^{-1}$ olduğunu açıklamışlardır. Aynı zamanda Jacob'un (1999) çalışmasında ise küçük yağış miktarlarının ($<1 \text{ mm}$) PM'ler üzerinde etkisinin ihmal edilebilir olabileceğini raporlamıştır. Diğer bir çalışma olan Mohan vd. (2011)'e göre de, kışın atmosferik inversiyon koşulları, yağışlar olsa bile PM'lerin konsantrasyonlarının düşmesini engelleyebileceğini bildirmiştir.

Sonuçta, yağışlarla PM'lerin konsantrasyonları arasında olumsuz bir ilişki tespit edilmiştir (negatif yönlü). Ancak bu etkileşimli ilişki de zayıf ve istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yoğun yağışlı günlerde ise, PM'lerin konsantrasyonlarında kısmi düşüşler olsada, düşük ve kısa süreli yağışlar etkisiz kalmıştır. Bayburt'un kış mevsimindeki iklim yapısına göre, atmosferik PM'lerin konsantrasyonları yerel kaynaklardan (ısıtma, trafik vb.) ve Meteorolojik faktörlerin etkisinden değişerek şekillendiği görülmüştür (Şekil 23, Şekil 24).



Şekil 23: Yağış - PM2,5 Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)



Şekil 24: Yağış - PM10 Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)

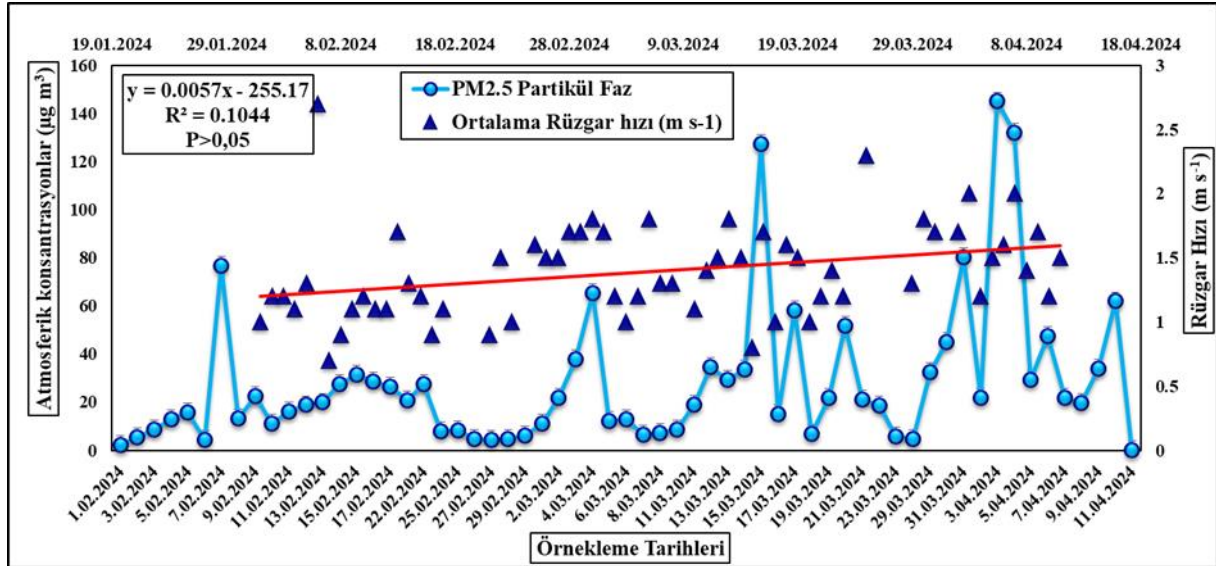
Bir diğer Meteorolojik faktör olan rüzgarın kış mevsiminde atmosferik PM2,5 ve PM10 konsantrasyonlarına etkisi Şekil 25 ve Şekil 26'da sunulmuştur. PM2,5'lar ile rüzgâr hızı ilişkisi incelendiğinde, R^2 yaklaşık olarak 0,1044 belirlenmiştir. Eğim ise negatif yönlü olup, rüzgar hızı arttıkça da PM2,5'ların konsantrasyonlarında azda olsa düşüşler görülmüştür. Ayrıca $p > 0,05$ olarak belirlendiğinden çok da anlamlı olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan PM10'ların konsantrasyonlarına ortalama rüzgâr hızının etkileşim açısından bakıldığında da,

R^2 değeri yaklaşık 0,0947 olarak bulunmuştur. Burada eğim ise yine negatif olup, rüzgar hızının artışı PM10'ların konsantrasyonlarını azaltma yönünde eğilimlidir. Ayrıca $p>0,05$ olarak belirlenmeside, bu etkileşimin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Böylece rüzgâr hızında meydana gelen artış, PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarında azalmaya yol açtığı görülmüştür. Fakat budurum her ne kadar azaltma eğilimde olsa da, bu etkileşimli ilişki istatistiksel açıdan zayıf ve anlamlı olmadığı kanaatine varılmıştır.

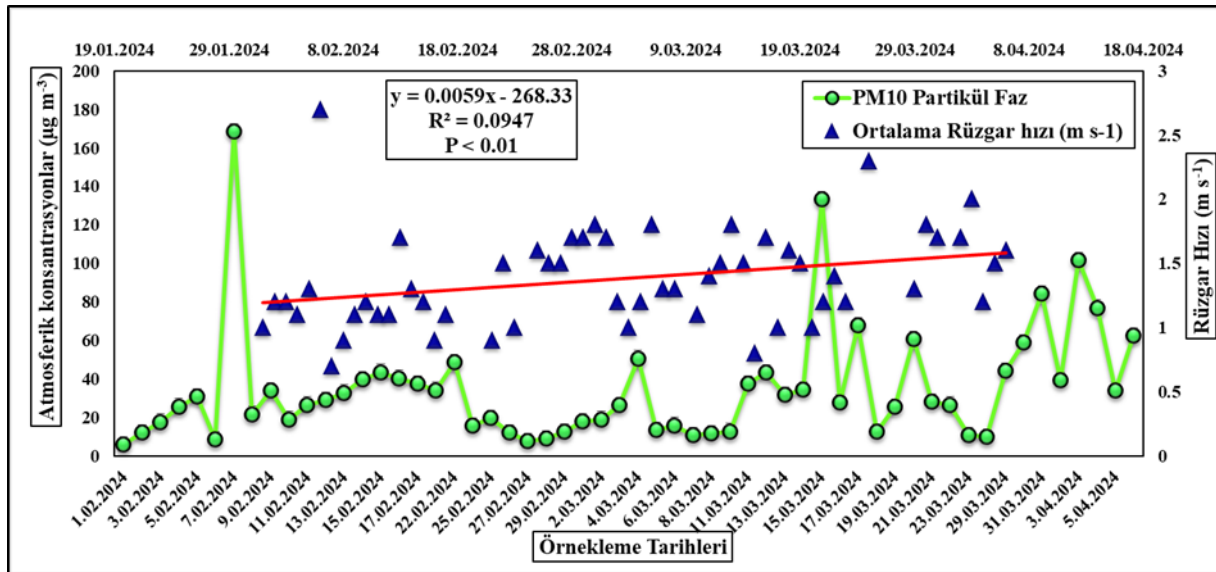
Bilimsel açıdan da bakılacak olursa, fiziksel olarak, rüzgâr hızındaki artış atmosferik toz karışımlarını ve dağılımlarını artırarak PM'lerin konsantrasyon artışlarını önlemektedir (Seinfeld ve Pandis, 2016). Diğer taraftan düşük rüzgâr hızlarında ise hava tabakalarının hareketliliğide daha sabit durağan bir halde olur. Bu dum PM'lerin atmosferde daha uzun süre askıda kalabilmelerine imkan tanımaktadır. Kışın Bayburt ilinde oldukça özel durumlar olup genelde düşük rüzgâr hızlarına sahiptir (ortalama $1,2 - 1,8 \text{ m s}^{-1}$ aralığı). Bu düşük hızlar sebebiyle de PM'lerin atmosferde askıda kalmasına sebep olmuştur. Ve bu durağan rüzgar hızlarından dolayı kirlilik dağılımlarına engel olmuştur. Ayrıca rüzgâr hızındaki aniden yükselmelerin olduğu günlerde de (örneğin 6 Şubat $2,7 \text{ m s}^{-1}$ gibi) PM'lerin konsantrasyonlarında azda olsa düşüşler görülmüştür. Ancak bu değişimler sürekli kalan ya da genel bir durum olacak kadar güçlü olmamıştır. Aynı zamanda 6 Şubat 2024 tarihi özel bir gün gibi görünmektedir (rüzgâr hızı $2,7 \text{ m s}^{-1}$; PM2,5 değeri $4,32 \mu\text{g m}^{-3}$, PM10 değeri $8,67 \mu\text{g m}^{-3}$). Bu açıdan incelenecek olursa; oldukça görülebilir düşük konsantrasyonlar gözlenmiştir. Aynı zamanda 7 Şubat 2024 tarihinde de (rüzgâr hızı $0,7 \text{ m s}^{-1}$, PM2,5 değeri $76,79 \mu\text{g m}^{-3}$, PM10 değeri $168,36 \mu\text{g m}^{-3}$), oldukça düşük rüzgar hızları sayesinde ciddi bir PM miktarlarında artış olmuştur. Bir diğer özel gün olan 3-4 Nisan 2024 tarinde (rüzgâr hızı $2,0 \text{ m s}^{-1}$ ve $1,2 \text{ m s}^{-1}$; PM2,5 değerleri $144,96 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $132,03 \mu\text{g m}^{-3}$) ise; bu tarihte normalde olması gerekenin zıttına rüzgarın olmasına rağmen PM'lerin konsantrasyonlar yüksek değerlerde hesaplanmıştır. Bu durum bize, rüzgâr yönündeki ani değişmelerin olabiceğini, yerel emisyonların etkisini ve atmosferde o gün içerisinde oluşmuş olan İnversiyonun etkili olabileceğini göstermiştir. Genel açıdan bakıldığında ise; ortalama rüzgâr hızları $1-2 \text{ m s}^{-1}$ seviyesinde olduğu için atmosferde oluşabilecek dağılımların (dispersiyon) etkisi de sınırlı kalmıştır. Bu nedenle, Bayburt ilinde kışın PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarına rüzgar hızının tek başına güçlü bir etkisi olmamıştır. Daha kuvvetli rüzgâr sistemlerinde PM'lerin atmosferden giderimleri daha belirgin olabileceği düşünülmektedir. Literatür çalışmalarına bu konu ile ilgili bakıldığında ise; Seinfeld ve Pandis'in (2016) yılına ait yaptıkları çalışmada, düşük rüzgâr hızlarının PM'lerin konsantrasyonlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca Dung ve arkadaşlarının (2019) yılı çalışmalarında da, PM'lerin atmosferde kalma durumları, özellikle

kışın İnversiyon tabakasının katkısı ve düşük rüzgâr hızlarının olması ile birlikte daha fazla PM'lerin konsantrasyonlarını artırdığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, ortalama rüzgâr hızının PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonları üzerinde negatif yönlü, olumsuz bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Fakat bu etki istatistiksel olarak bakıldığında anlamlı bulunmamaktadır. Çünkü PM'lerin konsantrasyonlarını güçlü bir şekilde düşürememiştir. Ayrıca Bayburt ilinde kışın atmosferik PM'lerin konsantrasyonlarını temel olarak belirleyicileri durumlar incelenecek olursa; ısınma kaynaklı oluşan emisyonlar, atmosferde meydana gelen inversiyonlar hatta düşük dispersiyon koşullarının sebep olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca elde edilen sayısal ve grafiksel verilere göre ifade edilmelidir ki, rüzgâr hızı tek başına PM'lerin konsantrasyonlarını azaltmada fazla etkili olamamıştır. Ancak diğer Meteorolojik faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde önemli rol üstlendiği görülmüştür.



Şekil 25: Rüzgâr Hızı - PM2,5 Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)



Şekil 26: Rüzgâr Hızı - PM10 Konsantrasyon Etkileşimi (Kış Mevsimi Örneklem Tarihleri)

3.2.2. Kış Ayları için PM_{2,5} ve PM₁₀'ların Konsantrasyonlarına Etki Eden Meteorolojik Faktörlerin Etkisilerinin Ortak Değerlendirmesi (Sıcaklık, Yağış ve Rüzgar Hızı Bakımından)

Atmosferik PM'lerin (PM_{2,5} ve PM₁₀) konsantrasyonları, sadece bölgesel kaynaklardan çıkan emisyonlara bağlı değildir. Aynı zamanda atmosferik koşullardan olan özellikle de sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi Meteorolojik faktörlerle doğru orantılıdır. Bu kısımda Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde kış döneminde belirlenen PM_{2,5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının Meteorolojik faktörlerle olan etkileşimli ilişkileri aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur;

3.2.2.1. Sıcaklığın PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi

Sıcaklığın etkisi açısından PM_{2,5}'lar ilk olarak incelendiğinde; R² değeri yaklaşık 0,52 olarak bulunmuştur. Aynı zamanda anlamlılık açısından p<0,05 olarak anlamlı ilişki olduğunu göstermiştir. Diğer tarfatan PM₁₀-sıcaklık etkileşimi incelenecek olursa; burada da R² değeri 0,53 olarak bulunmuştur. Aynı zamanda p<0,05 olarak bulunması yine anlamlı bir ilişki olduğunu göstererek, hem PM₁₀'lar hem de PM_{2,5}'lar için sıcaklıkla etkileşimlerin anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu değerlere göre elde edilen varsayımlar ise; sıcaklık artışı ile PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında net bir artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. Özellikle Şubat ayı boyunca sıcaklıklar -11,8 °C gibi düşük değerlerde hissedilmektedir. Bu koşullarda PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları oldukça düşük olduğu tesbit edilmiştir. Aynı zamanda Mart ayında sıcaklıkların artmaya başlamasıyla birlikte PM'lerin konsantrasyon seviyelerinde de hızlı artışlar olmuştur. Örneğin 3-4 Nisan 2024 tarihlerinde sıcaklık 10 °C üzerine çıktığı zaman, PM_{2,5} konsantrasyonunun değeri 144,96 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Ve aynı zamanda PM₁₀ konsantrasyon değeri ise 101,74 µg m⁻³ gibi oldukça yüksek değerlere ulaştığı tesbit edilmiştir. Böylece bu durumlardan ortaya çıkan sonuç şunu göstermektedir ki, bölgede sıcaklık artışları sayesinde, karasal bölgelerin toprak ya da diğer kaplama yüzeylerin yüzey tabakasını kurutarak toz kalkışlarını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca evsel ısınma ya da araç emisyonları etkisi ile birlikte ısınan hava kütlesi ile birlikte ortama yayılan PM'lerin atmosferik dispersiyonunu sınırlandırabilmektedir. Böylece PM'lerin konsantrasyonları da beklenenden daha fazla yükselebilmektedir.

3.2.2.2. Yağışların PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi

Yağışın olup ya da olmadığı günler açısından PM_{2,5}'lar için hesaplanan R² değeri 0,0017 olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda anlamlılık açısından p>0,05 olarak belirlenmesi yağışlar ile PM_{2,5}'ların konsantrasyon ilişkisinin anlamlı olmadığını ortaya koymaktadır.

Diğer taraftan PM₁₀'lar için de R^2 değeri 0,025 olarak bulunmuştur. Burada PM₁₀ - yağış etkileşiminde anlamlılık kısmına bakıldığında $p>0,05$ olarak değerlendirildiğinde, anlamlı bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır. Böylece elde edilen sayısal ve grafiksel görüntülerden de yola çıkarak; yağışlar ile PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları arasında etkileşim açısından güçlü bir korelasyon bulunamamıştır. Ancak bireysel günü birlik bazı yağışlı günlerde, yağışın PM'lerin konsantrasyonlarını etkilediği de görülmüştür. Bu durumu ifade edebilecek örnek tarihlere de bakılacak olursa; 23 Şubat 2024 tarihinde 8,9 mm yağış yağmıştır. Aynı zamanda bu yüksek oranlı yağış neticesi ile PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyon seviyelerinde ciddi azalmalar görülmüştür. Diğer bir örnek gün olarak, 7 Mart 2024 tarihinde de 9,7 mm yağış yağarak, PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarında hızlı ve ani düşüşlerin ($6,47 \mu\text{g m}^{-3}$) olduğu görülmüştür. Bir diğer örnek gün incelenecek olursa, 8 Nisan 2024 tarihinde de 5,5 mm yağış yağmıştır. Bu yoğun yağış neticesinde PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarında gözle görülür azalmalar olmuştur. Bu durumları bir çok bilim insanı şu şekilde açıklamaktadır; yağışlar sayesinde, atmosferdeki PM'ler doğrudan yıkanarak yere indiren “ıslak çökeltme / wet deposition” olayını gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda yağış yoğunluklarına göre de atmosferik PM'ler ya yıkanarak çöker, ya da uzak bölgelere taşınarak miktarları azaltılabilmektedir (Seinfeld ve Pandis, 2016). Ancak bu çalışma takviminde günlük yağın yağış miktarlarının genellikle çok düşük (0-2 mm) olması, PM'lerin yıkanması ya da çökertilmesi açısından sistemli bir etki oluşturamamıştır.

3.2.2.3. Rüzgâr Hızının PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi

PM'ler üzerinde etken diğer bir Meteorolojik faktör olan rüzgarlar ele alındığında ise; rüzgar hızlarının PM'ler üzerindeki etkisi, PM_{2,5} için R^2 değeri 0,1044 olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda rüzgar hızı - PM_{2,5}'lar arasındaki anlamlılık ilişkisi ise $p>0,05$ olarak bulunduğundan anlamlı bir ilişki tesbit edilememiştir. Diğer taraftan PM₁₀'ların rüzgar hızları ile olan etkileşimlerinde ise; R^2 değeri yaklaşık olarak 0,094 olarak hesaplanmıştır. PM_{2,5} da olduğu gibi PM₁₀'lar ile rüzgar hızı arasındaki anlamlılık ilişkisi de $p>0,05$ olarak tesbit edildiğinde çok tutarlı bir anlamlılık ilişkisi PM₁₀'lar içinde bulunamamıştır. Bu duruma göre de, ortalama rüzgar hızları $1-2 \text{ m s}^{-1}$ arasında sürekli dalgalanmalar olmuştur. Böylece PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarını anlamlı seviyelerde düşürmemiştir. Özellikle bu duruma örnek gün olarak 6 Şubat 2024 tarihi gibi daha yüksek $2,7 \text{ m s}^{-1}$ gibi rüzgâr hızlarında PM'lerin konsantrasyon seviyelerinde ciddi düşüş görülmüştür. Ancak genel durumda oldukça düşük rüzgar hızlarında PM'lerin konsantrasyonlarındaki artışların olduğunu göstermektedir. Ayrıca rüzgâr hızlarının PM'lerin dağılımlarında / dispersiyonlarında oldukça önemli bir parametredir. Örneğin 2 m s^{-1} altında esen rüzgarlar PM'lerin yatay taşınımını oldukça minimum

seviyelere düşürüp, atmosferik birikimlerini kolaylaştırabilmektedir. Bayburt’da örnekleme döneminde yaşanan kış koşullarında düşük rüzgar hızlarına çoğu gün rastlanılmıştır. Bu düşük rüzgarlarda, özellikle sabah ve akşam saatlerinde PM’lerin atmosferde askıda kalmasına sebep olarak bu durumları kolaylaştırıcı bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Diğer taraftan kış mevsiminde PM’lerin konsantrasyon verilerinden elde edilen sayısal ve grafiksel veriler genel özet çizelge olarak aşağıdaki Tablo 9’da sunulmaktadır;

Tablo 9: Kışın Meteorolojik Faktörlerin PM’lerin Konsantrasyonlarına Etkisinin Özet Durumu

Meteorolojik Faktörler	PM2,5’lara Etkisi	PM10’lara Etkisi	Oluşan Durumun Açıklanması
Sıcaklık	Artırıcı ve Anlamlıdır	Artırıcı ve Anlamlıdır	Paralel ve Doğru Orantılıdır
Yağış	Azaltıcı ve Zayıftır	Azaltıcı ve Zayıftır	Ters Orantılı bazen de Etkisizdir
Rüzgar Hızı	Azaltıcı ve Zayıftır	Azaltıcı ve Anlamsızdır	Ters Orantılıdır

Ortak değerlendirme açısından sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ise; sıcaklık artışları PM’lerin seviyelerini anlamlı bir şekilde artırmıştır. Rüzgâr ve yağışlar ise istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş gösterememiştir. Bayburt’ta yapılan bu çalışmanın yarı-kentsel ve karasal iklim koşullarına sahip bölgeleride ele alındığında; özellikle kış aylarında PM’lerin konsantrasyonlarına etki eden en önemli Meteorolojik faktörün sıcaklık olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Bayburt ili Baberti Kampüsü’nde kış mevsimine ait atmosferik PM2,5 ve PM10’ların konsantrasyonları üzerinde en güçlü Meteorolojik etkinin sıcaklık faktörü ile ilişkili olduğu net bir şekilde ispatlanmıştır. Ayrıca rüzgar hızı ve yağışlar gibi diğer Meteorolojik faktörler, belirli bir kaç atmosferik olaylar dışında PM’lerin konsantrasyonlarına ciddi manada bir etkileri olmamıştır. Bu bulgu sayesinde, yarı-kentsel alanlarda kış aylarında sıcaklık dalgalanmalarının hava kalitesi üzerinde oldukça etkili bir rol aldığını bu çalışma verileriyle de bir kez daha ispatlanmıştır.

3.2.3. PM2,5 ve PM10’ların Konsantrasyonlarına Meteorolojik Faktörlerin Etkisi, Yaz Mevsimi

Şekil 27 ve Şekil 28’den de görüldüğü gibi, yazın PM2,5 ve PM10’ların konsantrasyonlarına sıcaklığın etkisi adı altında görselleri ve çalışma sayısal verileri bulunmaktadır. Yaz çalışma programı 13 Haziran - 12 Ağustos 2024 tarihleri arasında Bayburt ili Baberti Kampüsü’nde, aktif atmosferik örnekleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Böylece

PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları ile aynı gün ölçülen ortalama sıcaklık verileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve analiz sonuçları Tablo ve Grafikler şeklinde hazırlanmıştır (Şekil 27, Şekil 28). Bu kısımdaki amaç, günlük ortalama sıcaklık değişimlerinin PM'lerin konsantrasyon seviyelerine etkisini istatistiksel ve grafiksel yöntemlerle açıklamaya çalışmaktır. Grafiklerin çiziminde korelasyon katsayıları (R^2) ve regresyon analizleri temelde ele alınarak kullanılmıştır.

3.2.3.1. Sıcaklığın PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi (yaz)

Burada önce PM_{2,5} konsantrasyonu ile sıcaklık ilişkisi ele alınacaktır. İlk gözlenen verilere göre sıcaklıkların artması ile PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarında doğru orantılı olacak şekilde artışlar olmuştur. Özellikle sıcaklığın 20 °C üzerinde olduğu günlerde PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarında önemli artışların olduğu görülmüştür (örneğin 20-21 Haziran 2024 ve 4-5 Temmuz 2024 tarihlerinde PM_{2,5}'ların konsantrasyonları 140-150 µg m⁻³ gibi yüksek değerlere ulaşmıştır). Bu ilişki için yapılan doğrusal regresyon analizinde, PM_{2,5}'ların konsantrasyonu ile sıcaklık arasında çoğunlukla pozitif yönlü bir ilişki tesbit edilmiştir. Fakat çalışmanın geneline yayılınca bu ilişki, orta düzeyde bir ilişki olarak görülmüştür. Bu etkileşimli ilişki çalışmasında R^2 yaklaşık 0,0032 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu değere göre, günlük sıcaklıklar arttıkça PM_{2,5}'ların konsantrasyon seviyelerinde de genel olarak artış olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca bu sıcaklık-PM_{2,5} konsantrasyon etkileşimli ilişkinin diğer faktörlerden olan rüzgar, atmosferik karışım yüksekliği gibi etkenlerden de etkilendiğini göstermektedir. Sıcaklık-PM_{2,5} konsantrasyon etkileşimli ilişkisini istatistiksel açıdan da incelendiğinde ise; ilk önce anlamlılık durumuna bakmak için p-değeri hesaplanmıştır. Burada $p < 0,05$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre, PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarındaki değişimlerin günlük olarak sıcaklıktaki değişimlerle istatistiksel açıdan anlamlı seviyede bir ilişki olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda eğim değeri açısından da bakıldığında; pozitif yönlü olduğu tesbit edilmiştir. Burada sıcaklıklar her 1 °C arttığında PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarında da gözle görülür bir artış eğilimi olmuştur. Diğer taraftan sıcaklıkların artması ile artan PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarına bazı faktörlerin etkisi olduğu inanılmaktadır. Bunların başında, özellikle yaz aylarında artan fotokimyasal reaksiyonlar ciddi etki yaptığı düşünülmektedir. Aynı zamanda yer seviyesinde Ozon oluşumunda etkili bir mekanizma olarak düşünülmektedir. Ayrıca son zamanlarda iyice artan farklı insan aktiviteleri (inşaat işleri, taşımacılık aktiviteleri, tarımsal faaliyetler, trafik yoğunluğu vb.) ile de ciddi etkileşim olduğuna inanılmaktadır. Diğer taraftan sıcaklığın fazla olduğu günlerde atmosferik dikey yönlü karışım kapasitesininde sınırlandırıldığı bilinmektedir. PM'lerin atmosferik ortamda daha uzun süre askıda kalmasına sebep olur ki (Seinfeld ve Pandis, 2016), bu durumda etken bir faktör olarak

düşünülebilir. Diğer taraftan PM10'ların konsantrasyonları ile sıcaklık arasındaki etkileşimli ilişki incelendiğinde ise; PM2,5'lara benzer olarak, PM10'ların konsantrasyonları ile sıcaklık arasında da anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Özellikle pozitif yönlü olarak tesbit edilmiştir. Fakat bu ilişki sayısal ve grafiksel açıdan incelendiğinde PM2,5'lara kıyasla biraz daha güçlü değerler aldığı görülmektedir. PM10'ların konsantrasyonları sıcaklığın özellikle 20 °C'nin üzerinde olduğu günlerde yine PM2,5'larda olduğu gibi gözle görülür bir artış olduğu kaydedilmiştir (özellikle 20-22 Haziran, 4-5 Temmuz tarihlerinde PM10'ların konsantrasyonları sırasıyla 150-175 $\mu\text{g m}^{-3}$ gibi oldukça yüksek değerler almıştır).

Diğer taraftan PM10'lar için Regresyon analizi ile elde edilen korelasyon katsayısı R^2 değerinde yaklaşık 0,003 olarak bulunmuştur. Bu durum, sıcaklık - PM10'ların konsantrasyonları arasındaki etkileşimli ilişkilerin, PM2,5'lardan biraz daha farklı ve daha güçlü olduğunu göstermektedir. Bu ilişkinin p-değeri ise $p < 0,01$ olarak hesaplanmıştır. Bu belirlenen değer burada bize şunu göstermektedir; sıcaklık-PM10'ların konsantrasyonlarındaki etkileşimli değişimlerde günlük olarak değişen sıcaklıkların PM10'ların konsantrasyonlarına yüksek seviyede anlamlı bir korelasyon ilişkisine sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda eğim değeri açısından yapılan çalışmalarda da pozitif olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca günlük sıcaklıklardaki her 1 santigrat derecelik artışlarda, PM10'ların konsantrasyonlarında da ciddi manada artışların olduğunu göstermiştir. Burada PM10'ların konsantrasyonlarındaki bu artışlara en etken faktörler ise; özellikle yine yazın toz kaynaklı PM'lerin tarımsal alanlardan yükselen tozlar, kuraklaşmış toprak ya da farklı zemin yüzeylerinden uçuşan PM'lerin ve hatta inşaat alanlarından, madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan kaba mod PM'lerin oluşumunun, günlük sıcaklıkların artmasıyla sıcak hava kütleleri ile beraber arttığı düşünülmektedir. Elde edilen tüm sayısal, grafiksel ve bilimsel yorumlardan da anlaşılacağı gibi, yaz aylarında PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonları ile günlük sıcaklıklar arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Bu etkileşimli ilişki de özellikle günlük tesbit edilen sıcaklıkların 20 °C'nin üstünde olduğu günlerde oldukça netleşmiştir. Ayrıca yapılan bu teferruatlı gözlemlerde görülmüştür ki; PM10'ların konsantrasyonları, sıcaklık değişimlerine PM2,5'lardan biraz daha fazla etkileşimli bir artış olmuştur. Ayrıca bu sonuçlara destek fikir verebilecek bazı aktivitelerde düşünülmektedir. Bunlardan başlıcaları; atmosferik karışım yüksekliğinin azalması ilk akla gelendir. Aynı zamanda, fotokimyasal aktivitelerin artması düşünülebilir. Ayrıca yüzey kaynaklı PM'lerin emisyonlarının yükselmeside düşünülmektedir.

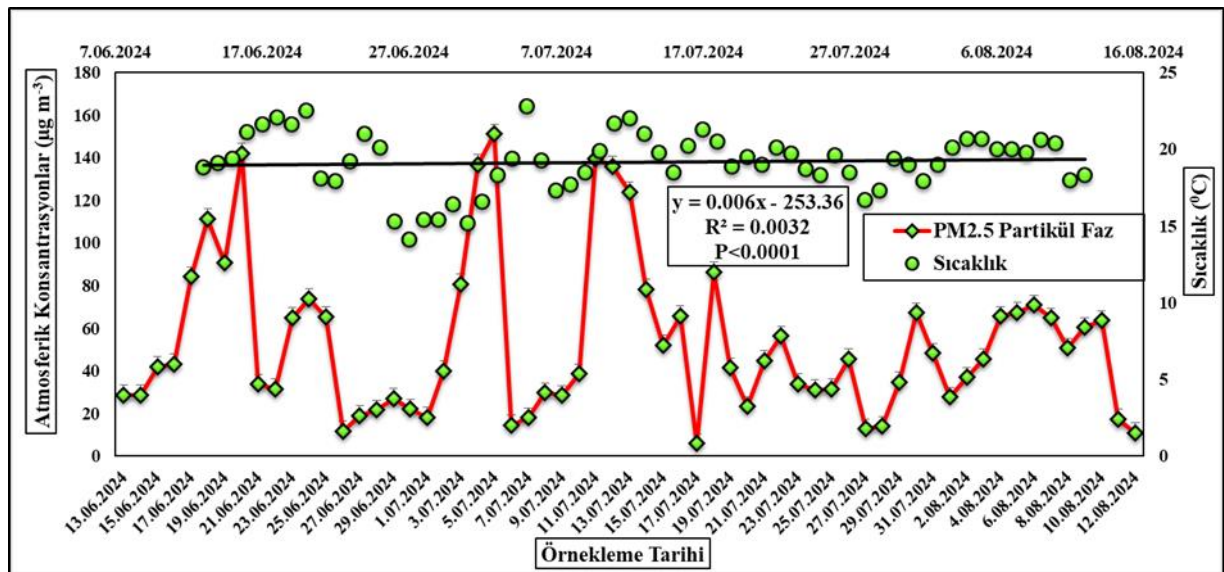
Diğer taraftan sıcaklığın PM'lere olan etkileşimlerini etkisini biraz daha açılacak olursa; örnekleme çalışmalarının yapıldığı Baberti Kampüsü'nde Haziran-Ağustos 2024 tarihleri arasında günlük PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonları ile aynı günlere ait ortalama sıcaklık

verileri de karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın yapılmasındaki başlıca amaç, günlük sıcaklıkların PM'lerin konsantrasyonlarına nasıl etki ettiğini bulmaktır. Bu işlemlerde yaparken istatistiksel ve bilimsel bir açıdan yaklaşarak elde edilen sonuçları ortaya koymaktır. Bu amaçlar doğrultusunda regresyon analizi ve korelasyon katsayıları ayrı ayrı sayısal olarak hesaplanarak grafiksel olarakta gösterilmiştir. Ayrıca günlük sıcaklık değişimlerine bağlı PM'lerin konsantrasyon etkileşimleri de incelenmiştir. İlk olarak PM_{2,5}'ların konsantrasyonları ile günlük sıcaklıklar arasındaki ilişki ele alınmıştır. Bu ilişkiye göre de PM_{2,5} konsantrasyonu ile sıcaklık arasında pozitif yönlü, orta kuvvette bir etkileşim tesbit edilmiştir. Yapılan doğrusal regresyon analizi sonucuna göre de p-değeri $p < 0,05$ olarak hesaplanmıştır. Sonuçta ilişkinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca en yüksek sıcaklığın olduğu gün 5 Temmuz 2024'te, sıcaklık 22,8 °C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklıkta PM_{2,5}'ların konsantrasyonu 151,15 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda en düşük sıcaklık ise 27 Haziran 2024 tarihinde 14,1 °C olarak ölçülmüştür. Bu günün PM_{2,5} konsantrasyonu ise 18,99 µg m⁻³ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre sıcaklığın 14,1 °C gibi düşük olduğu bir günde PM_{2,5} konsantrasyonu da 18,99 µg m⁻³ gibi oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Bunun zıttı bir durum olan sıcaklığın 22,8 °C'ye çıktığı günde PM_{2,5}'ların konsantrasyonunun neredeyse 8 kat artarak 151,15 µg m⁻³ gibi çok yüksek bir seviyeye çıktığı görülmüştür. Bu duruma göre, sıcaklık artışları sayesinde PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarını ciddi manada tetikleyerek önemli ölçülerde artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca sıcak havalarda atmosferik karışım yüksekliğinin azalması da diğer bir etken faktör olarak gösterilebilir. Ve ayrıca yatay hava hareketlerinin de zayıflaması PM'lerin konsantrasyonlarının artmasına etken olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan PM₁₀'ların konsantrasyon - sıcaklık etkileşimli ilişkisi farklı bir açıdan yeniden incelenecek olursa; PM₁₀'ların konsantrasyonu ile günlük sıcaklıklar arasındaki pozitif yönlü ve biraz daha güçlü bir ilişki olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca regresyon analizinden de p-değeri $p < 0,01$ olarak hesaplanmıştır. Böylece bu ilişkinin yüksek düzeyde anlamlı olduğunu açıklamaktadır. Aynı zamanda yine burada da en yüksek sıcaklığın olduğu gün 5 Temmuz 2024 tarihidir. Bu güne ait sıcaklık 22,8 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen bugünün ortalama PM₁₀ konsantrasyonu ise 175,35 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda en düşük sıcaklığın olduğu 27 Haziran 2024 gününde ise sıcaklık 14,1 °C ölçülmüştür. Bu günün PM₁₀ konsantrasyonu da 24,19 µg m⁻³ olarak bulunmuştur. Bu durumda benzer şekilde, sıcaklığın düşük olduğu 27 Haziran'da PM₁₀ konsantrasyonu 24,19 µg m⁻³ seviyesinde kaldığı görülmüştür. Bu duruma zıt olarakta sıcaklığın en yüksek olduğu 5 Temmuz'da PM₁₀ konsantrasyonu ise 175,35 µg m⁻³ seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Bu durumda PM₁₀'ların konsantrasyon seviyelerinin sıcaklık artışına, PM_{2,5}'lardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Bu anlatılan durumları destekleyen bazı faktörler ele alınacak olursa; yine başta

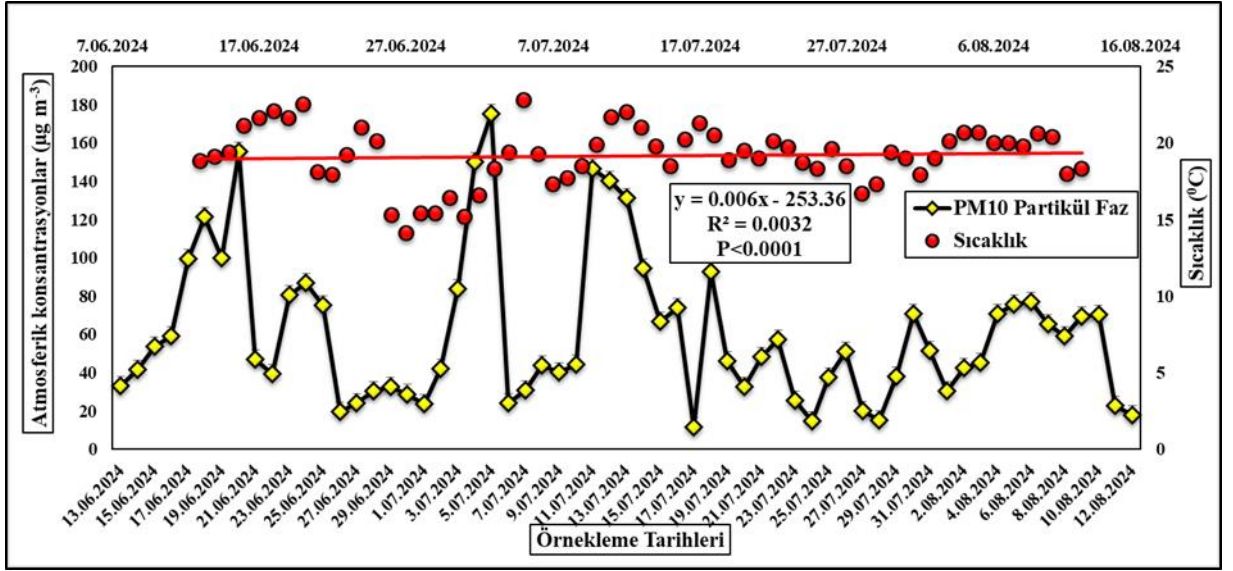
sıcaklığın fazla olduğu günlerde yer seviyesinde Ozon oluşumunun artmasıdır. Aynı zamanda fotokimyasal reaksiyonlarla yeni PM'lerin üretiminin tetiklenmesiyle PM10'ların konsantrasyonlarındaki artışında etkili olduğunu göstermektedir (Tai vd., 2010; Jing vd., 2020).

Bu çalışmaya benzer diğer literatür çalışmalarına bakıldığında ise; Tai ve arkadaşları (2010) yılında yaptıkları çalışmada sıcaklıklardaki artışlarının özellikle fotokimyasal aerosollerin oluşumunu tetikleyerek PM'lerin konsantrasyonlarında meydana gelen ani değişimlere hatta yükselmelere neden olduğunu göstermiştir. Diğer benzer bir çalışma olan Seinfeld ve Pandis'in (2016) yılında yaptıkları çalışmada, atmosferik ortamda sıcak hava şartlarında karışım tabakasının oldukça incelebileceği ve bu durumunda PM'lerin konsantrasyonlarının artmasında ya da birikimlerinde ivme kazandıracağını vurgulamışlardır. Ayrıca Jing ve arkadaşlarının (2020) yılında yaptıkları çalışmada da, yazın sıcak günlerinde PM2,5'ların konsantrasyonlarında 2-3 kat artışların olabildiğini savunmuşlardır. Hatta bu artışların doğrudan sıcaklıklarla bağlantılı olduğunu da göstermişlerdir. Literatürde yapılan bu çalışmalara paralel olarak, yapılan bu tez çalışmasının da yaz örneklemesinde sıcaklık artışları PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

Elde edilen tüm verilere göre yeniden sonuç değerlendirmesi yapılacak olursa; yaz aylarında sıcaklık arttıkça, PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarında anlamlı artışlar oluşmuştur. PM10'ların sıcaklığa verdiği tepkimeler ise, PM2,5'lardan biraz daha fazla olmuştur. Sıcaklıkların 20 °C'yi geçtiği günlerde ise PM'lerin konsantrasyonlarında gözle görülür artışlar kaydedilmiştir. Bu durum doğal toz emisyonları ve Antropojenik kaynaklı PM'lerin bol miktarda salınımları ile ilişkilendirilebilmektedir.



Şekil 27: Sıcaklık - PM2,5 Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örnekleme Tarihleri)



Şekil 28: Sıcaklık – PM10 Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örneklem Tarihleri)

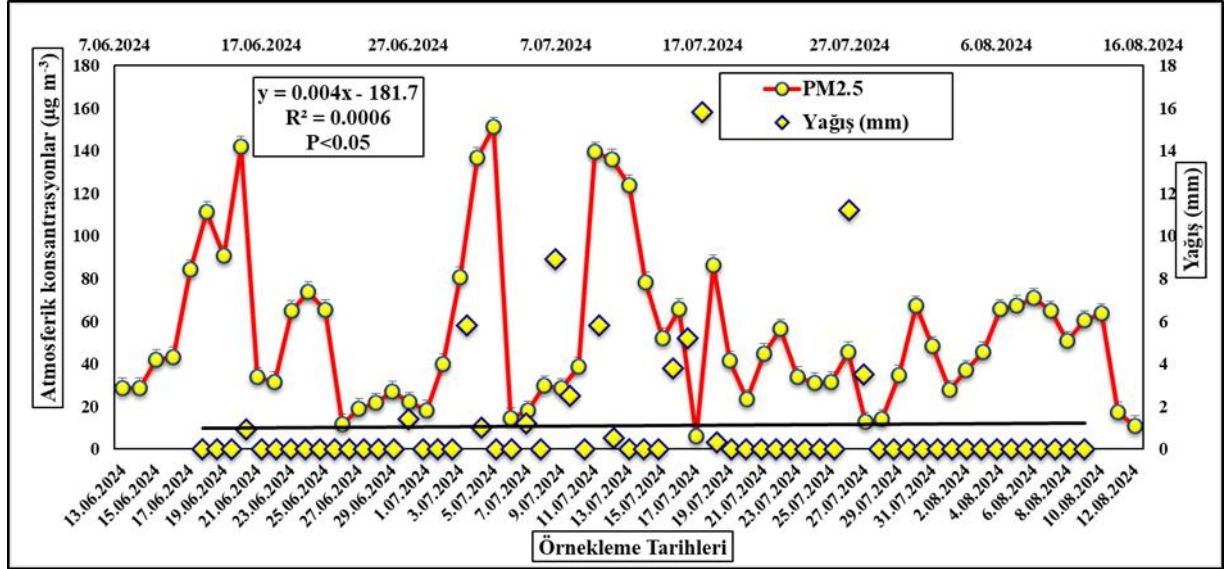
3.2.3.2. Yağışların PM’lerin konsantrasyonlarına etkisi (yaz)

Şekil 29 ve Şekil 30’da da görüldüğü gibi, örneklemelerde elde edilen atmosferik PM_{2,5} ve PM₁₀’ların konsantrasyonları ile aynı günlerde kaydedilen yağış miktarlarının etkileşimli ilişkileri açıklanmıştır. Bu grafikler incelendiğinde ciddi manada yağışların PM’lerin konsantrasyonlarına etkisinin tesbiti araştırılmıştır. Bu araştırma çalışmalarında, “mm” cinsinden yağışların şiddeti kabul edilerek, PM’lerin konsantrasyonlarındaki değişimler arasındaki olabilecek korelasyonlarla analiz edilmiş ve bilimsel açıdan diğer benzer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Ayrıca, yağışlardan etkilenebilecek PM’lerin örneklediği özel günlerdeki farklılıklar da açıklanmaya çalışılmıştır. Bu açıdan PM_{2,5}’ların konsantrasyonları ile yağışların etkileşimli ilişkileri incelendiğinde; yağış kısmında hesaplanan regresyon analizinde yağış - PM_{2,5} konsantrasyonu arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu, R²’nin yaklaşık olarak 0,0006 değerinde bulunmasıyla anlaşılmıştır. Çalışmanın bu kısmında p-değeri ise p<0,05 olarak hesaplanmıştır. Görülen bu yağış-PM_{2,5} konsantrasyon ilişkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca gözle görülür öne çıkan günlük değişimler ele alınacak olursa; en yüksek PM_{2,5} konsantrasyonu 5 Temmuz 2024 günü 151,15 µg m⁻³ olarak tesbit edilmiştir. Bu tarihli günde yağışların şiddeti ise 1,2 mm (hafif yağış, önemli miktarda PM artışı var). Ayrıca en düşük PM_{2,5} konsantrasyonu ise, 17 Temmuz 2024 gününde 5,82 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir. Yine bu tarihli günün yağış şiddeti ise, 15,8 mm (şiddetli yağış, belirgin PM azalışları var) olarak ölçülmüştür. Böylece yazın özellikle hafif yağış (0-1,2 mm) denilen yağış biçimlerinde PM_{2,5}’ların konsantrasyonlarında anlamlı olarak azaltmamıştır. Ancak 17 Temmuz’da 15,8 mm yağışın olduğu ve yoğun yağış günleri olarak tanımlanacak bu yağış şiddetinin olduğu günde PM_{2,5}’ların konsantrasyonlarında önemli ölçülerde azalmalar olmuştur. Bu durumda yağışın yıkayıcı etkisinin (washout effect) önemli bir rol oynadığı bu

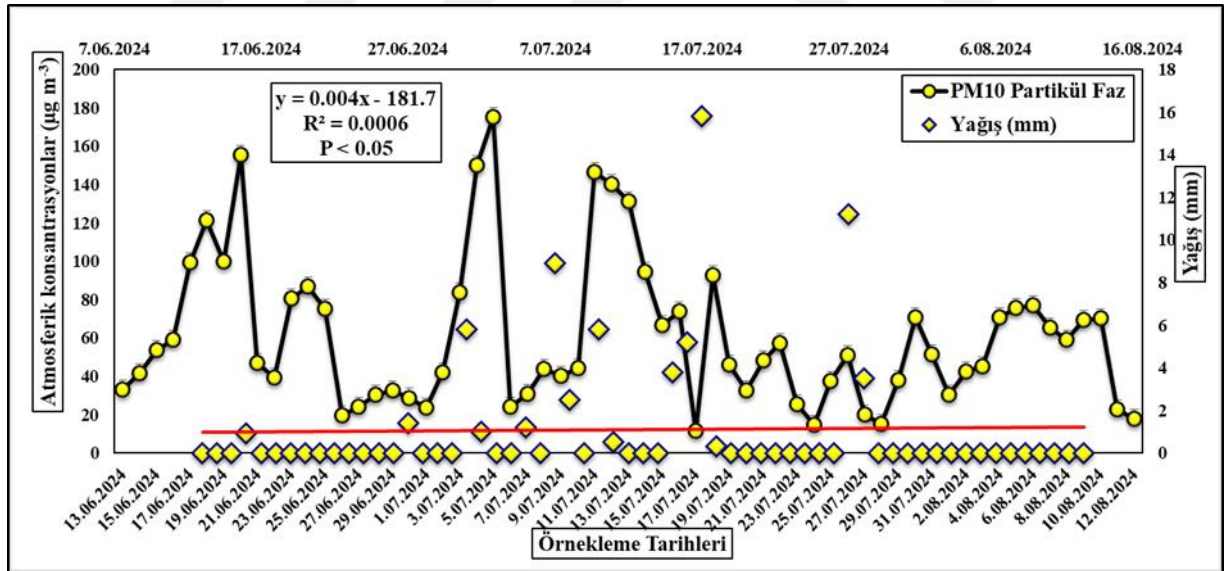
çalışmada da ortaya çıkarmıştır. Bu durumu diğer araştırmacılar yönünden bakarsak, Guo ve arkadaşları (2015) yılında yaptıkları çalışmalarında bu durum belirtilmiştir. Ayrıca Guo ve arkadaşları araştırmalarında hafif yağışların PM'leri temizliğinde yetersiz kalabildiğini ifade etmişlerdir. Fakat yoğun yağışların ise havadaki PM'leri etkili bir şekilde süpürdüğü rapor edilmiştir. Diğer taraftan PM10'ların konsantrasyonuna yağışların etkileşimli ilişkisi incelendiğinde ise; PM10'ların konsantrasyonu ile yağış arasında da negatif bir korelasyon bulunmuştur (R^2 yaklaşık 0,31 olarak hesaplanmıştır). Ayrıca anlamlık durumu için de p-değeri yine $p < 0,05$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda PM10 konsantrasyonları - yağış ilişkisi açısından istatistiksel olarak anlamlıdır. Öne çıkan günlük değişimler incelendiğinde ise; çalışma günlerine göre en yüksek PM10 konsantrasyon değeri 5 Temmuz 2024 tarihli günde $175,35 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu güne ait yağış şiddeti ise 1,2 mm ile hafif yağış grubunda değerlendirilmiştir. Diğer taraftan en düşük PM10 konsantrasyonu ise 17 Temmuz 2024 tarihli günde $11,40 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu güne ait yağış miktarı ise 15,8 mm (şiddetli yağış) oldukça yağışlı ölçülmüştür. Elde edilen verilerden yola çıkarak, PM10 konsantrasyonları da PM2,5'lar gibi yoğun yağış sonrası gözle görülür bir azalma gerçekleşmiştir. Özellikle de 17 Temmuz gibi şiddetli yağışların olduğu günlerde PM10'ların konsantrasyon seviyelerinde ciddi azalışlar görülmüştür. Ancak, hafif yağışlı günlerde ise PM'lerin artarak birikimleri büyük ölçüde devam etmiştir. Hatta konsantrasyonları oldukça da yüksek seviyelerde kalmıştır. Bu çalışmayı destekler nitelikte bir kaç literatürden bir çalışma örnek verilecek olursa; Bae ve arkadaşlarının (2012) yılında yaptıkları çalışmalarında da belirtildiği gibi, 2 mm'nin altındaki yağışlar atmosferde asılı PM10'ların kirlilik yükünü azaltmak için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır, bunu istatistiksel olarakta anlamlı düzeyde yetersiz diye de açıklanabilmektedir. Aynı zamanda Bae ve arkadaşlarının (2012) yılında yaptıkları çalışmada; PM10'ların çapı büyük / kaba mod partiküller olduğundan hafif yağışta temizlenmelerinin oldukça zorlaştığını vurgulamışlardır. Ancak yoğun ve şiddetli yağışlarda etkili bir çökeltme sağlanabileceğini açıklamışlardır. Ayrıca bazı benzer bilimsel çalışmalarda da şöyle açıklamada bulunmuşlardır; şiddetli yağışlar sonrası PM2,5'ların konsantrasyonlarında %50'ye kadar varan ciddi düşüşler rapor edilmiştir. Bahsedilen bu durumlardaki literatür çalışmaları ile bu çalışmamızın oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Guo ve arkadaşlarının (2015) yılında yaptıkları çalışmalarında yağışın PM'leri süpürme ya da yıkamadaki etkisi, yağışın süresine ve şiddetine doğrudan bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Burdan çıkarılacak ana başlıkta; kısa süreli ve düşük şiddette yağışlar PM'lerin konsantrasyon seviyelerini düşürmede etkili değildir.

Genel olarak sonuçlandırıldığında ise; hafif yağışlar (0-2 mm arasındaki) PM2,5 ve PM10'lar üzerinde oldukça sınırlı bir etki yapabilmektedirler. Aksine olduğu yoğun yağışlarda

(>5 mm) PM'lerin konsantrasyonlarında keskin gözle görülür azalışlar sağlanmaktadır. PM10'ların kaba mod partikül boyutlarından dolayı yağışla daha hızlı uzaklaştırılmaktadır. Fakat PM2,5'lar ise ince mod ve hafif yapılarından dolayı atmosferik ortamda daha uzun süre asılı olarak kalabilmektedir. Açıklanan bu durumlar yaz aylarında hava kalitesi açısından yağışın oldukça önemli bir okadarda düzenleyici faktör olduğunu, bu çalışma verileri ile de bir kez daha doğrulanmıştır (Şekil 29 ve Şekil 30).



Şekil 29: Yağış - PM2,5 Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örneklem Tarihleri)



Şekil 30: Yağış - PM10 Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örneklem Tarihleri)

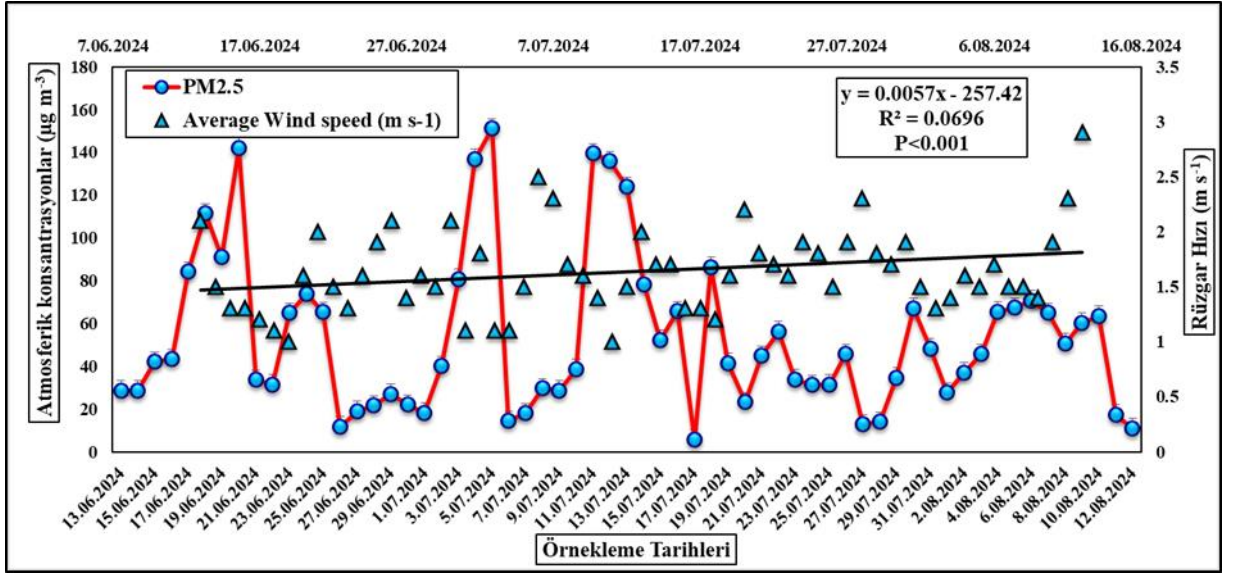
3.2.3.3. Rüzgar hızının PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi (yaz)

Yaz ayları için PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarına rüzgar hızının etkisi incelendiğinde; örnekleme çalışmalarının yaz mevsimi takviminde PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarının aynı günlerde ölçülen ortalama rüzgar hızları ile olan etkileşimli ilişkileri incelenmiştir. Bu kısımdaki amaç, günlük rüzgar hızındaki değişimlerin PM'lerin

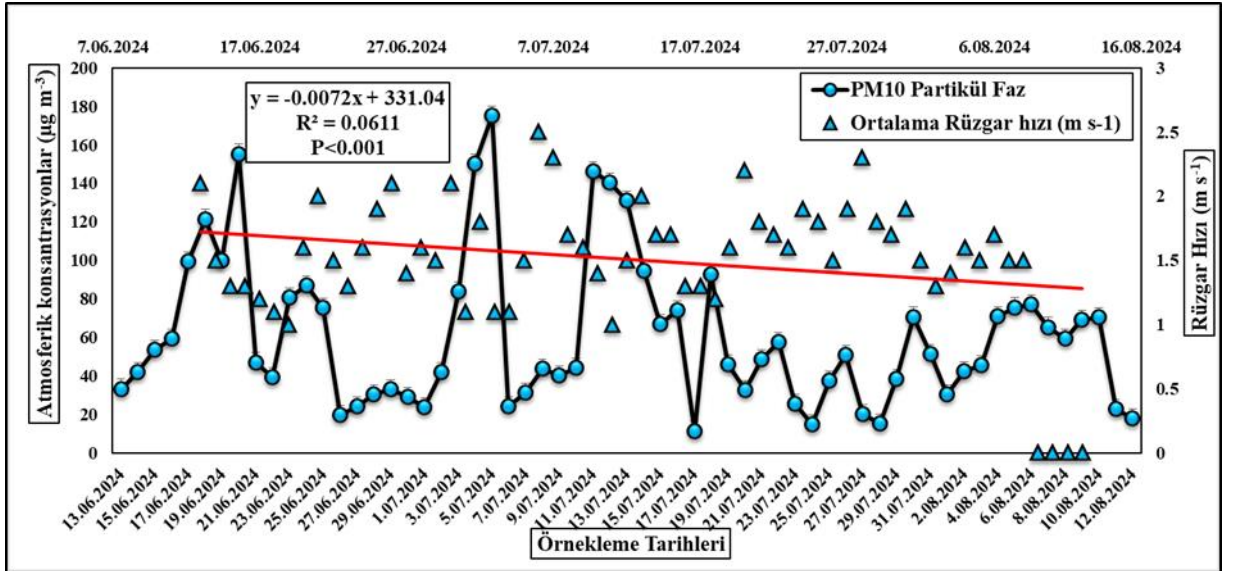
konsantrasyonlarına olan etkisini bilimsel olarak açıklanmasıdır. Bu açıdan PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarının rüzgar hızından etkilenmesi açısından incelendiğinde; negatif yönlü bir korelasyon tesbit edilmiştir. Burada R² değeri yaklaşık olarak 0,070 bulunmuştur. Ayrıca anlamlılık açısından ilişkinin netlendirilmesinde p-değeri, p<0,05 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaba göre PM_{2,5}-yağışların etkileşim ilişkisi istatistiksel olarak anlamlı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yağışlı günlerde yapılan ve öne çıkan günlük değişimler de incelenecek olursa; en yüksek PM_{2,5} konsantrasyonunun hesaplandığı tarihte yani 5 Temmuz 2024 tarihli günde PM_{2,5} konsantrasyon değeri 151,15 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir (rüzgar hızı bu günde 1,5 m s⁻¹). Böylece düşük rüzgar hızında yüksek PM birikiminin olacağını göstermiştir. Diğer taraftan en düşük PM_{2,5} konsantrasyonları ise 12 Ağustos 2024 tarihli günde 10,95 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir (rüzgar hızı ise bu günde 2,9 m s⁻¹). Burada da yüksek rüzgar hızında oldukça düşük PM değerini alabileceği görülmüştür. Genel açıdan bakılacak olursa, yazın rüzgar hızının artması neticesinde PM_{2,5}'ların atmosferdeki seyrelip dağılması ve uzaklaştırılmasını daha da kolaylaştırmaktadır. Bu taşınım sonucunda PM'lerin konsantrasyonlarında ciddi düşüşler görülebilmektedir. Özellikle 2 m s⁻¹ üzerindeki rüzgar hızlarında, PM_{2,5}'ların konsantrasyonlarında ciddi ölçülerde azalmalar olduğu görülmüştür. Bu sonuçları destekleyici benzer bir literatür çalışması da incelenecek olursa; Tai ve arkadaşlarının (2010) yılında yaptıkları çalışmada da yukarıda son bahsedilen bulgularıyla uyumlu oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca çalışmada düşük rüzgar hızlarında (0-2 m s⁻¹ aralığında) PM'lerin bölgesel konsantrasyonları artmaktadır. Fakat yüksek hızlarda ise PM'lerin dispersiyonla dağılarak serpiştikleri belirtilmiştir. Diğer taraftan PM₁₀'ların konsantrasyonlarına rüzgar hızının etkileşimli ilişkisi incelendiğinde ise; PM₁₀'ların konsantrasyonu ile rüzgar hızı arasında PM_{2,5}'lar da olduğu gibi negatif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Burada da R² değeri yaklaşık olarak 0,061 olarak bulunmuştur. Aynı zamanda p-değeri de p<0,05 olarak tesbiti bu ilişkinin istatistiksel açıdan, anlamlı olduğu kanaatine varılmıştır. Ayrıca konsantrasyon değerlerini ciddi manada etkileyen önemli günlerin günlük değişimleri incelenecek olursa; rüzgar hızının düşük olup en yüksek konsantrasyonlarda tesbit edilen PM₁₀, 5 Temmuz 2024 tarihli günde 175,35 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Böylece düşük rüzgar hızında oldukça yüksek PM miktarlarının olabileceği kanıtlanmıştır. Ayrıca en düşük PM₁₀ konsantrasyonu ise 12 Ağustos 2024 tarihli günde 17,97 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir (rüzgar hızı bu günde 2,9 m s⁻¹). Bu sonuca göre de yüksek rüzgar hızlarında gözle görülür belirgin PM'lerin konsantrasyonlarında azalmalar olmuştur. Bu durumda PM₁₀'ların partikül boyutları kaba mod ve daha büyük olduklarından dolayı düşük rüzgar hızlarında bile askıda kalmaları oldukça zordur. Ayrıca düşük rüzgar hızında bölgesel kaynaklardan bırakılan PM salınımlarının havada kalması ya da kaldıkça PM'lerin

konsantrasyon artışlarında kaçınılmaz olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle yaz ayları boyunca 1-1,5 m s⁻¹ gibi düşük rüzgar hızlarında, PM₁₀'ların konsantrasyon artışları oldukça dikkat çekmiştir. Rüzgarın 2 m s⁻¹ üzerindeki hızları PM'lerin dağılımlarını artırıp hızlandırarak konsantrasyonlarında düşüşler olmuştur. Bu sonuçlar benzer literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında; Jacob ve Winner'ın (2009) yılında yaptıkları çalışmalarıyla da benzer uyumda oldukları görülmüştür. Ayrıca düşük rüzgar hızlarında PM'lerin birikerek oluşturdukları kirliliğinin şehir merkezlerinde hatta kırsal alanlarda bile önemli ölçülerde arttığını göstermektedir. Bir diğer benzer Literatür çalışmalarına bakıldığında; Tai ve arkadaşları (2010) yılında yaptıkları bu konuya yakın araştırmalarında; rüzgar hızı 2 m s⁻¹ altında olduğu günlerde PM kirliliği özellikle yazın ciddi konsantrasyonlara ulaşabildiğini açıklamışlardır. Diğer bir çalışma olan Jacob ve Winner'ın (2009) yılındaki çalışmalarında PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının değişimleri Meteorolojinin dispersiyon faktörleriyle özellikle de rüzgar hızı ile oldukça güçlü bir şekilde etkileşimli ilişkileri söz konusudur. Diğer bir benzer çalışma olan Wang ve arkadaşları (2015) yılında yaptıkları çalışmalarında rüzgar hızının artması PM'lerin bölgesel artışlarını azaltacağını vurgulamışlardır. Fakat 5 m s⁻¹ ve üstü çok şiddetli rüzgarlar haricinde, tamamen PM'lerin birikimlerinin temizlenmesinin beklenmeyeceğini de açıklamışlardır. Bu literatür bulgularıda teker teker incelendiğinde Baberti Kampüsü'nde yapılan bu çalışmanın ölçümleri ve bilimsel yaklaşımlarına tam bir paralellik gösterdiği görülmektedir.

Genel olarak sonuçlandırılacak olursa, genelde düşük rüzgar hızlarında (1,5 m s⁻¹ civarında) PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durumun aksine yüksek rüzgar hızlarında da (2 m s⁻¹ civarı) PM konsantrasyonlarında oldukça görülür bir azalma olduğu gözlenmiştir. Ayrıca şu durumu ifade etmede de fayda vardır; rüzgar hızındaki artışlar atmosferik dispersiyonları artırarak PM'lerin oldukça kolay bir şekilde uzaklaşmalarını sağlamaktadır. Sonuç olarak, yaz aylarında rüzgar ve rüzgarın değişken olan hızları, PM'lerin konsantrasyonlarını kontrol eden en etkili olabilecek Meteorolojik faktörlerden biri olmuştur (Şekil 31 ve Şekil 32).



Şekil 31: Rüzgar Hızı - PM2,5 Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örneklem Tarihleri)



Şekil 32: Rüzgar Hızı – PM10 Konsantrasyon Etkileşimi (Yaz Mevsimi Örneklem Tarihleri)

3.2.4. Yaz Ayları için PM2,5 ve PM10'ların Konsantrasyonlarına Etki Eden Meteorolojik Faktörlerin Etkilerinin Ortak Değerlendirmesi (Sıcaklık, Yağış ve Rüzgar Hızı Bakımından)

Atmosferik PM2,5 ve PM10'ların varlıkları, taşınımları ve konsantrasyonları, çevresel koşullar ve Meteorolojik faktörlerden doğrudan etkilenebilmektedir. Yazın sıcaklık artışlarıyla, yağışların düzensiz serpilmesi ve rüzgar hızındaki ani değişimler, PM'lerin konsantrasyon değerlerinde önemli dalgalanmalara neden olmaktadır. Bu çalışmada, Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde yaz sezonunda (Haziran–Ağustos 2024) elde edilen PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyon verilerinin değişim seviyeleri, sıcaklık, yağış ve rüzgar hızları ile birlikte ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Buradaki amaç ise, yaz aylarında her ne kadar değişken olsada yine de en önemli parametrelerden olan Meteorolojik faktörlerin PM'lerin

konsantrasyonları üzerindeki etkilerini bir bütüncül yaklaşımla açıklayarak bazı spesifik durumları da ortaya koymaktır.

3.2.4.1. Sıcaklığın PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi

PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları ile sıcaklık arasında pozitif yönlü anlamlı bir korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. İstatistiksel olarakta, PM_{2,5} için R^2 değeri 0,0032 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan PM₁₀'lar içinse R^2 değeri 0,2800 olarak hesaplanmıştır. Her iki ilişkide de $p < 0,05$ düzeyinde bulunarak anlamlı bir ilişki olduğu sonuçlandırılmıştır. Günlük değişimlerden bakılarak öne çıkanlar incelendiğinde ise; örnekleme günlerinden en yüksek sıcaklıklar 5 Temmuz 2024 tarihli günde (sıcaklık bu günde 22,8 °C) ölçülmüştür. Bu günde, PM_{2,5} konsantrasyonu 151,15 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan PM₁₀ ise 175,35 µg m⁻³ olarak oldukça yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca en düşük sıcaklıklar da 27 Haziran 2024 (sıcaklık bu günde 14,1 °C) tarihinde görülmüştür. Bu günde PM_{2,5} konsantrasyonu 18,99 µg m⁻³ olarak, PM₁₀ ise 24,19 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar ele alınıp incelendiğinde ise; günlük sıcaklıklar arttıkça bölgesel emisyon kaynaklarının (özellikle toz kalkışları, tarımsal faaliyetler, biyo enerjik süreçler gibi) etkisi de doğru orantılı olacak şekilde artmıştır. Aynı zamanda atmosferdeki PM'lerin konsantrasyon seviyelerinde önemli ölçüde yükselmelere sebep olmuştur. Bu durumu benzer literatür çalışmaları ile karşılaştırdığımızda; Tai ve arkadaşları (2010) yılındaki çalışmalarında ve ayrıca Jacob ve Winner'ın (2009) yılı çalışmalarında da çok yakın değerler ile belirtilmiştir. Aynı zamanda bu bilim insanları sıcaklığın artması ile birlikte fotokimyasal reaksiyonların hızlandığını ve toz kalkışmalarıyla atmosferik uçuşlarını kolaylaştırıldığını özellikle vurgulanmışlardır. Bu durumlar özellikle 20 °C üzerindeki sıcaklıklarda PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında oldukça pik yükselmelerin olduğunu göstermiştir. Ve aynı zamanda, yaz aylarında PM'lerin konsantrasyonlarındaki artışlar günlük sıcaklık değişimleri ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

3.2.4.2. Yağışların PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi

PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları ile yağış miktarı arasında elde edilen istatistiki bilgilere göre negatif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir. PM_{2,5}'lar için R^2 değeri yaklaşık olarak 0,18 bulunurken, PM₁₀'lar için de R^2 değeri yaklaşık olarak 0,20 olarak hesaplanmıştır. Ancak bu çalışmada yağışlı ve yağışsız günler karşılaştırıldığında, yağışsız günlerin daha fazla olması nedeniyle etkileşimli ilişki zayıf ama anlamlı ($p < 0,05$) olarak bulunmuştur. Ayrıca bazı önemli günlük değişimlerden öne çıkanlarda incelenecek olursa; çalışmada yüksek yağışlı günler 17 Temmuz 2024 tarihli günde görülmüş (15,8 mm yağış) ve PM_{2,5} konsantrasyonu 5,82 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan PM₁₀ konsantrasyon değeri ise 11,40 µg m⁻³

olarak ölçülmüştür. Bu durumda da oldukça belirgin olarak PM'lerin konsantrasyonlarında azalmalar olmuştur. Diğer taraftan 7 Temmuz 2024 tarihli günde de (8,9 mm yağış) PM_{2,5} konsantrasyon değeri 17,93 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca PM₁₀ konsantrasyon değeri de 31,04 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak tebit edilmiştir. Çalışmanın yağışsız geçen günlerinde (örneğin 4 Temmuz 2024) PM_{2,5} (136,86 $\mu\text{g m}^{-3}$) ve PM₁₀ (150,01 $\mu\text{g m}^{-3}$) konsantrasyon değerlerinin oldukça yüksek olduğu tesbit edilmiştir. Böylece yağışların, atmosferde askıda bulunan PM'leri "ıslak çökeltme" yoluyla temizlenerek taşınmasını sağlamıştır. bu durumda da PM'lerin konsantrasyonlarında birden ani düşüşlere sebebiyet vermiştir. Özellikle 5 mm ve üzerindeki yoğun yağışlarda bu etkinin daha da belirgin olduğu gözlenmiştir. Seinfeld ve Pandis 2016 yılında yaptıkları çalışmada, yağışın PM'leri temizlemesinde anahtar bir faktör olduğunu söylemişlerdir. Özellikle de ince mod PM'lerin (PM_{2,5}, PM₁ gibi) yağmur damlalarına bağlanarak uzaklaştırıldığını vurgulamışlardır. Bu bulgular ile yaz aylarında tesbit edilen deneyimler birbirine tam uyum göstermektedir.

3.2.4.3. Rüzgar hızının PM'lerin konsantrasyonlarına etkisi

PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları ile rüzgar hızı arasında istatistiksel açıdan korelasyon negatif yönlü anlamsız bir ilişki bulunmuştur. Rüzgar hızının etkileşim araştırmasında PM_{2,5}'lar için R^2 değeri yaklaşık olarak 0,070 hesaplanmıştır. Diğer taraftan PM₁₀ için de R^2 değeri yaklaşık 0,061 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel açıdan incelendiğinde anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde tesbit edilmiştir. Bu kısımdaki günlük öne çıkan önemli değişimler incelenecek olursa; düşük rüzgar hızlarında (1-1,5 m s^{-1} gibi) PM'lerin konsantrasyonları önemli ölçüde yüksek değerlerde bulunmuştur. Yüksek rüzgar hızlarında ise (2 m s^{-1} ve üzeri), PM'lerin konsantrasyonlarında gözle görülür düşüşler görülmüştür (örneğin 12 Ağustos 2024 günü PM_{2,5} konsantrasyon değeri 10,95 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu güne ait rüzgar hızıda 2,9 m s^{-1} olarak ölçülmüştür). Bu durumda rüzgar hızındaki artışlar, PM'lerin atmosferde kolayca disperse olmasını sağlamıştır. Böylece PM'lerin konsantrasyonlarındaki birikimlerini azaltmıştır. Ancak çok düşük rüzgar hızlarında ise (1,5 m s^{-1}) bölgesel kaynaklardan salınan PM'ler çoğalarak oldukça yüksek konsantrasyonlara ulaştığı da tesbit edilmiştir. Bu durumu, Wang ve arkadaşları (2015) yılındaki çalışmalarında ortaya koydukları "rüzgar dispersiyon etkisi" kavramı ile birebir örtüşmektedir.

Genel bir şekilde yorum yapılacak olursa; sıcaklık artışları ile birlikte PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında belirgin bir şekilde yükselmeler meydana gelmiştir. Diğer bir etken faktör olan yağışlar ise; özellikle de orta-yüksek yağışlı günlerde PM'lerin konsantrasyonlarında bariz bir şekilde belirgin düşüşler olmuştur. Bir diğer önemli faktör olan rüzgar hızı ise; düşük rüzgar hızlarında PM'lerin konsantrasyonları artmıştır. Diğer taraftan

yüksek rüzgar hızlarında ise PM'ler atmosferde kolay bir şekilde dağılarak konsantrasyonları hızlıca azalmıştır. Sonuç olarak yazın, sıcaklık artışı PM'lerin konsantrasyonlarını artırıcı etkisini göstermiştir. Yağış ve rüzgarlar ise azaltıcı faktörler olarak oldukça etkili olmuşturlar. Bu etkileşimler, bölgedeki yaz sezonu hava kalitesinin mevsimsel koşullara ve Meteorolojik faktörlere duyarlılığını güçlü şekilde ortaya koymuştur.

3.2.5. Kış ve Yaz Mevsimlerinde PM_{2,5} ve PM₁₀ Konsantrasyonlarının Meteorolojik Faktörlerle olan İlişkilerinin Ortak Değerlendirilmesi

Atmosferik PM'ler (PM_{2,5}, PM₁₀ vb.), çevresel hava kalitesini ciddi oranda etkileyen faktörler arasında yer almaktadırlar. Aynı zamanda bu konu, canlıların sağlıkları üzerindeki ciddi zararlı etkilerinden dolayı da önemli ölçüde titizlikle takip edilmektedir. Mevsimsel değişimlerin PM'lerin konsantrasyonları üzerindeki etkisi, sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi meteorolojik faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, Bayburt Baberti Kampüsü'nde gerçekleştirilen kış (Şubat-Nisan 2024) ve yaz (Haziran-Ağustos 2024) dönemlerindeki aktif örneklemelerden PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca çalışma dataları eş zamanlı olarak meteorolojik verilerle birlikte değerlendirilmiştir. Aynı zamanda her iki mevsim olan yaz ve kış ayları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri de Şekil 33 ve Şekil 34'te incelendiğinde; kış aylarında PM_{2,5} konsantrasyonlarının ortalama değeri 28,80 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda maksimum değeri 144,96 $\mu\text{g m}^{-3}$ (03.04.2024) olarak bulunurken, minimum değeri de 2,25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan PM₁₀'ların konsantrasyonları ise ortalama olarak 36,03 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Burada da maksimum değerleri 168,36 $\mu\text{g m}^{-3}$ (07.02.2024) olarak belirlenirken, minimum değerleri ise 5,67 $\mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca kış mevsiminde PM'lerin konsantrasyonları genellikle düşük sıcaklıklarda düşük seviyelerde bulunmuştur. Özellikle ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımının arttığı günlerde (örneğin Şubat sonu - Mart başı) PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyon seviyelerinde gözle görülür yükselmeler olmuştur. Bu duruma göre yaz aylarında yapılan yaz mevsimi örneklemelerinde, PM_{2,5}'ların konsantrasyonları ortalama 54,18 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu hesap istatistiğinde maksimum değeri 151,15 $\mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) olarak belirlenirken, minimum değeri ise 5,82 $\mu\text{g m}^{-3}$ (17.07.2024) olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan PM₁₀'ların konsantrasyonları için de ortalama 61,87 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Burada maksimum değer 175,35 $\mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanırken (05.07.2024), minimum değeri de 11,40 $\mu\text{g m}^{-3}$ (17.07.2024) olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre yazın PM'lerin konsantrasyonları, kışa göre daha yüksek olarak bulunmasını bir takım önemli olaylar ile açıklamak gerekir ise; yer seviyelerinde uçuşarak artan toz taşınımları,

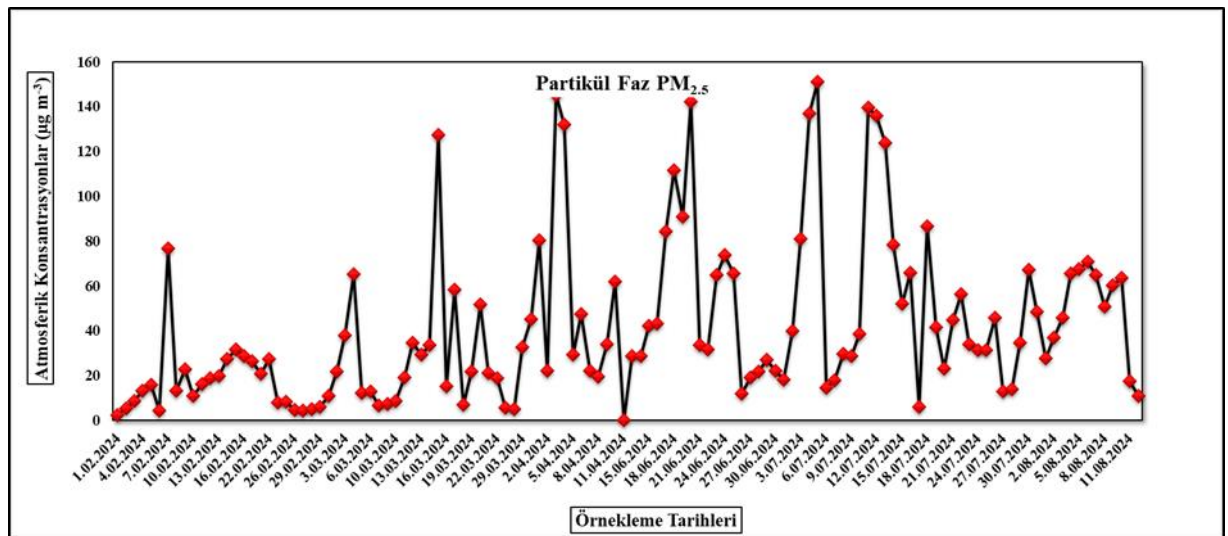
tarımsal faaliyetler, araç trafiği ve düşük yağış miktarları gibi oldukça önemli faktörlerle açıklanmaktadır. Bir diğer faktör olan meteorolojik faktörlerin PM_{2,5} ve PM₁₀'ların üzerindeki etkileri incelendiğinde ise, ilk parametre olan sıcaklık açısından ele alınırsa; kışın sıcaklıklar ile PM_{2,5} ve PM₁₀'lar arasında zayıf pozitif bir ilişki (R^2 değeri yaklaşık 0,16-0,17 arasında) saptanmıştır. Ayrıca hissedilir derecede sıcaklıkların artışı, İnversiyon tabakalarında farklı sebeplerden dolayı kırılmaların gerçekleşmesi ve PM'lerin dikey taşınması sonucunda PM'lerin konsantrasyonları hafif miktarlarda artışlar görülmüştür. Diğer taraftan yaz aylarında ise sıcaklık ile PM'lerin konsantrasyonları arasında da gözle görülür bir negatif korelasyon eğilimi (R^2 değeri yaklaşık olarak 0,09-0,14 arasında) tesbit edilmiştir. Özellikle sıcaklığın 22 °C üzerindeki değerlerde PM'lerin konsantrasyon seviyelerinde görülür bir azalma olmuştur. Bu durumu, artan sıcaklıklarla beraber atmosferik karışımın iyileşmesi ve ayrıca PM'lerin dağılmasıyla açıklanabilmektedir. Aynı zamanda sıcaklık artışıyla birlikte karışım yüksekliğinin de artması PM'lerin dağılarak seyrelmesine sebep olmaktadır (Tai vd., 2010). Diğer bir Meteorolojik parametre olan yağış açısından incelendiğinde; kış aylarında yağış ile PM'lerin konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif bir ilişki bulunamamıştır. Özellikle düşük miktarlardaki yağışlarda (0,1-2 mm arasında), PM'lerin konsantrasyonlarında önemli bir değişiklik söz konusu olmamıştır. Ayrıca yaz aylarında ise 5 mm ve üzeri şiddetli yağışların olduğu günlerde PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarında da görülür düşüşler olmuştur. Özellikle 7 Temmuz 2024 tarihinde (8,9 mm yağış yağmış) PM_{2,5} 17.93 $\mu\text{g m}^{-3}$ seviyelerine kadar düştüğü görülmüştür. Bu durumu yağışların, atmosferik PM'ler farklı mekanizmalar altında yıkanarak yer zeminine çökmesini hızlandırması olarak açıklanabilmektedir. Ayrıca bu durum özellikle “yaz aylarında daha etkin temizlik sağlar” düşüncesine tam destek vermektedir (Seinfeld ve Pandis, 2016). Bir diğer meteorolojik parametre olan Rüzgar hızı açısından da incelendiğinde; çalışmanın kış aylarında rüzgar hızının 2 m s⁻¹'yi geçmediği günlerde PM'lerin konsantrasyonları genel olarak yüksek değerlerde hesaplanmıştır. Ayrıca zayıf rüzgar hızlarında, PM'lerin artmasına sebep olmuştur. Diğer taraftan yaz aylarında ise rüzgar hızı ile PM_{2,5} ve PM₁₀'lar arasında yine istatistiksel olarak zayıf bir negatif ilişki (R^2 değeri yaklaşık olarak 0,10-0,15 arasında) bulunmuştur. Özellikle 2,5 m s⁻¹ ve üzerindeki günlerde PM'lerin konsantrasyonlarında bariz bir şekilde düşüşler olmuştur. Bu duruma örnek teşkil edecek literatür çalışmasında, rüzgar hızı PM'lerin taşınımını ve dispersiyonunu doğrudan etkilediğini açıklamışlardır. Ayrıca yüksek rüzgarlarda, PM'lerin konsantrasyon seviyelerinde düşüşlere sebebiyet verdiğini açıklamaktadır (Zhou vd., 2024). Aşağıdaki Tablo 10'dan da görüldüğü gibi yukarıda anlatılanların hepsinin genel özeti olarak ifade edilmiştir;

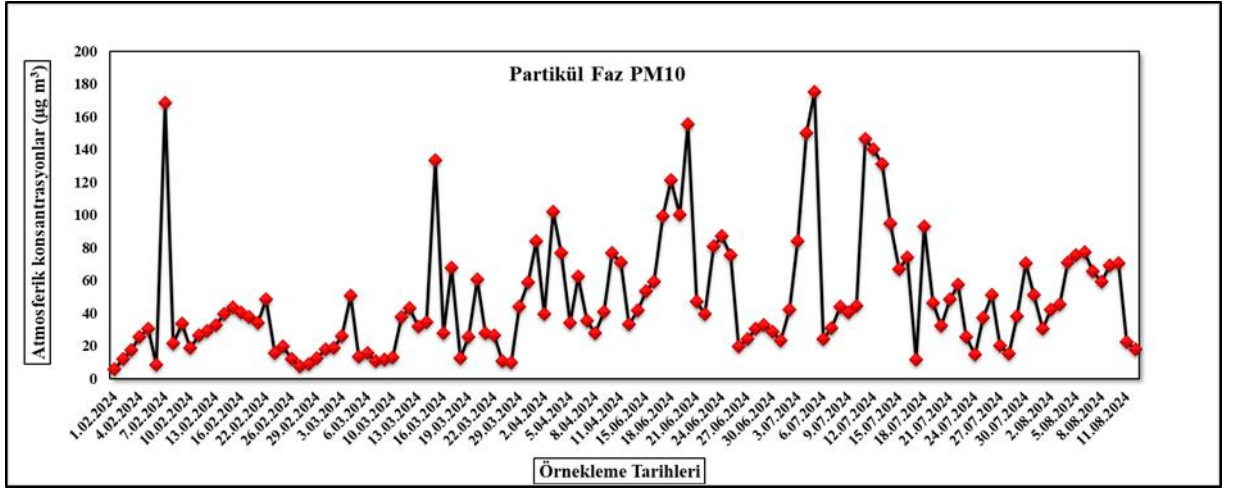
Tablo 10: PM 2,5 ve PM10'lara Meteorolojik Faktörlerin Etkisinin Özet Gösterimi

Mevsimler	PM2,5 Ortalaması ($\mu\text{g m}^{-3}$)	PM10 Ortalaması ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Sıcaklıkların Etkisi	Yağışların Etkisi	Rüzgar Hızlarının Etkisi
Kış	28,80	36,03	Hafif Pozitif Yönlü	Etkisiz	Zayıf
Yaz	54,18	61,87	Hafif Negatif Yönlü	Etkili	Zayıf

Kış aylarına dikkat edilecek olursa, sıcaklıklar düşük, yağışlar etkisiz, rüzgar hızı da düşük olduğundan PM'lerin konsantrasyonlarının artış eğilimi bulunmaktadır. Diğer taraftan yazın, sıcaklık yükseldikçe PM'lerin dağılımları artmıştır, yağışlı günlerde PM'lerin konsantrasyonları oldukça düşmektedir. Her iki mevsimde de rüzgar hızı PM'lerin konsantrasyonlarında küçük değişimlere sebep olmuştur.

Elde edilen tüm verilerden yola çıkarak bu çalışma, atmosferdeki PM2,5 ve PM10'ların konsantrasyonlarının sıcaklık, yağış ve rüzgar hızı gibi meteorolojik faktörlerden doğrudan etkilendiğini göstermektedir. Kış mevsiminde ısınmaya bağlı bazı emisyonlar PM'lerin artışına sebep verirken, yaz mevsiminde ise özellikle yağışlar ve sıcak hava hareketleri vesilesiyle PM'lerin temizlenmesini oldukça kolaylaştırmıştır. Bu sonuçlar, bölgesel hava kalitesi yönetimi açısından mevsimsel stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini önemle ortaya koymaktadır. Aynı zamanda Meteorolojik tahminler sayesinde hava kalitesi için tahmin edilebilen öngörülerin de önemli bir değişken parametre olarak faydalanılabileceğini göstermektedir.

**Şekil 33:** PM2,5 Konsantrasyonları (Zamansal ve Mevsimsel: Kış + Yaz)



Şekil 34: PM10 Konsantrasyonları (Zamansal ve Mevsimsel: Kış + Yaz)

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde araştırılan atmosferik PM'ler (PM_{2,5} ve PM₁₀) ilk olarak mevsimsel ve zamansal olarak örnekleme çalışması yapılmıştır. Örnekleme çalışmaları yaz ve kışın belirli aylarında günlük örneklemeler alınarak gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda aktif örnekleme yöntemi ve bu yöntemde kullanılmak üzere 2 adet farklı başlıklarda (PM_{2,5} ve PM₁₀ başlıklı) yüksek hacimli hava örnekleyicileri ile çalışılmıştır. Ardından toplanan örneklerin gravimetrik yöntemlerle analizlenmesi için laboratuvar ortamında bir takım çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra analiz çalışmaları ile birlikte PM'lerin konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla bir yıllık geniş ve kapsamlı bir araştırma yürütülmüştür. Elde edilen veriler ise zamansal (günlük ve mevsimsel) ve mevsimsel (kış ve yaz mevsimleri) açıdan kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, Bayburt ili Baberti Kampüsü'nde PM₁₀ ve PM_{2,5}'lerin mevsimsel değişim gösteren partikül kirlilikleri de araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, kış döneminde ısınma kaynaklı emisyonlardan en çok kaynaklandığı anlaşılmıştır. Yaz döneminde ise doğal toz taşınımı ve inşaat faaliyetlerinin hava kalitesi üzerinde daha belirgin etkilerinin olduğunu göstermiştir. Ayrıca PM'lere etki eden Meteorolojik faktörler ve etkileşimli ilişkileride araştırılarak önce sayısallaştırılmıştır. Ardından da grafiksel görsellerle istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ayrıca Meteorolojik verilerle yapılan değerlendirmelerde ise; sıcaklığın artmasıyla PM'lerin konsantrasyonlarının çoğu zaman arttığı bazı günlerde de soğuk kış günlerinde yüksek konsantrasyonlarda PM'lerin seviyelerde olduğu görülmüştür. Aynı zamanda rüzgar hızının artmasıyla PM'lerin konsantrasyonlarında seyreltme etkisi ile düşük seviyelerde PM'lerin konsantrasyonları bulunmuştur. Ayrıca yağışlarla da PM'ler yıkanarak ve çöktürülerek konsantrasyonlarının düşürülmesine sebep verdiği anlaşılmaktadır. Genel olarak çalışma; Bayburt'ta düşük sanayi varlıklarına rağmen, meteorolojik faktörlerin ve bölgesel ısınma durumlarının hava kalitesini olumsuz etkileyebildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, bölgenin ulusal ve uluslararası hava kalitesi standartlarını zaman zaman aşabildiğini de göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı insan sağlığı açısından risk içeren durumların olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca PM'lerin analizinde konsantrasyonların hesaplanması amaçlandığından, örnekleme ve laboratuvar süreçlerinde son derece dikkatli çalışılmıştır. Böylece verilerin güvenliği, tekrar edilebilirlikleri ve karşılaştırmalı doğrulama yöntemleri her seferinde ön planda tutulmuştur. Ölçülen tüm değerler, çalışmada kullanılan cihazların belirleme sınırlarının üzerinde tespit edilmiştir. Ayrıca tesbit edilen bu bulgular aşağıda sırasıyla sonuçlandırılarak sunulmuştur;

PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları biraz daha açıklanarak sonuçlandırılacak olursa; yapılan örnekleme çalışmalarında PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonları yaz aylarında belirlenen değerler, kış aylarına göre genel olarak daha fazla miktarlarda tesbit edilmiştir. Aynı zamanda kış aylarında ortalama PM_{2,5} konsantrasyonu $28,80 \pm 30,48 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında ise ortalama PM_{2,5} konsantrasyonu $54,18 \pm 36,25 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre mevsimsel ortalama değeri $41,74 \pm 35,69 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca istatistiksel olarakta maksimum değer yaz aylarında $151,15 \mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) olarak bulunmuştur. Minimum değer ise kış aylarında $2,25 \mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) olarak kaydedilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, özellikle kışın ısınmaya bağlı olarak emisyonların artışı, PM'ler ciddi manada kaynak oluşturduğu düşünülmektedir. Ayrıca atmosferik inversiyon gibi Meteorolojik koşullarda ciddi manada PM'lerin seviyelerine etki etmiştir. Diğer taraftan PM₁₀'lar değerlendirilecek olursa, kış ortalaması $36,03 \pm 29,95 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda yaz ortalaması ise $61,87 \pm 38,91 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenirken, mevsimsel ortalaması da $48,75 \pm 36,86 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiştir. PM₁₀'larda istatistiksel olarak sayısallaştırılacak olursa; PM₁₀'ların maksimum değeri $175,35 \mu\text{g m}^{-3}$ (05.07.2024) olarak bulunurken, minimum değeri de $5,67 \mu\text{g m}^{-3}$ (01.02.2024) olarak belirlenmiştir. Ayrıca PM₁₀ ölçümlerinde de mevsimsel değişkenlikler görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre PM₁₀'lar yaz aylarında toz taşınımı ve tarımsal faaliyetlerin etkisiyle kışa göre daha yüksek değerler de kaydedilmiştir.

Meteorolojik verilerle kıyaslama yapılacak olursa; yaz ve kış mevsimleri arasında görülen PM'lerin konsantrasyon farklılıklarının temel nedenlerinden biri de Meteorolojik faktörlerdeki değişimlerdir. Bu durum açıklanacak olursa; Meteorolojik verilerin tek tek analizlenmesi sonucunda, yaz mevsiminde sıcaklık ile PM_{2,5} ve PM₁₀ arasında anlamlı pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir (PM_{2,5}'ların R^2 değeri yaklaşık 0,5254 olarak bulunurken, PM₁₀'ların R^2 değeri de yaklaşık 0,5315 olarak belirlenmiş ve anlamlılık değeri olan $p < 0,0001$ olarak tesbit edilmiştir). Kış aylarında ise sıcaklıkla anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Diğer taraftan yağış ve rüzgâr hızı gibi diğer Meteorolojik faktörlerde yazın ve kışın PM'lerin konsantrasyonlarıyla zayıf ve negatif yönlü korelasyonlar görülmüştür. Ayrıca rüzgar hızının etkisi yaz ve kış aylarında oldukça düşük olarak tesbit edilmiştir (yazın PM_{2,5}'ların R^2 değeri yaklaşık 0,0696 olarak bulunurken, PM₁₀'ların da R^2 değeri yaklaşık 0,0611 olarak belirlenmiştir). Bu sonuçlara göre, sıcaklığın özellikle yaz aylarında PM'lerin konsantrasyonlarını belirleyici olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda yağışlar ve rüzgâr hızı gibi meteorolojik faktörlerin ise PM'lerin dağılımını sınırlı ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Meteorolojik faktörlerden ilk olarak sıcaklık – PM etkileşimli ilişkisi sonuçlandırılacak olursa; yaz mevsiminde ortalama sıcaklıklar 14,1–22,8 °C aralığında ölçülmüştür. Diğer taraftan kış mevsiminde de bu değerler -11,0 ile 12,12 °C arasındaki geniş sıcaklık aralığında seyretmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre düşük sıcaklıklar, özellikle kış aylarında evsel ısınma kaynaklı PM'lerin konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırmıştır. Aynı zamanda rüzgar hızı ise; yaz mevsiminde ortalama rüzgar hızları 1-2,9 m s⁻¹ arasında ölçülmüştür. Ayrıca kış mevsiminde de bu değerler 1,5–1,8 m s⁻¹ aralığı olan dar bir şiddette kalmıştır. Burada da düşük rüzgar hızları PM'lerin dağılmasını engelleyerek özellikle kış aylarında PM'lerin konsantrasyon yoğunluklarını artırmıştır. Ayrıca yağışlarında PM'lerin konsantrasyonlarına etkileri sonuçlandırılacak olursa; kış aylarında görülen yoğun kar yağışları PM'lerin çökmesine destek olmuştur. Diğer taraftan yaz aylarında ise görülen kısa süreli yağmur yağış şekilleri PM'lerin atmosferden temizlenmesinde yeterince etken faktör olmamıştır. Bu Meteorolojik faktörler, PM'lerin konsantrasyonlarına ve mevsimsel dağılımlarına etkileri açısından açıklamak oldukça kritik özellikler içerdiği anlaşılmıştır. Özellikle kış aylarındaki düşük sıcaklıklar, İnversiyon tabakalarının oluşumlarından kaynaklı etkileri ve sabit hava koşulları sayesinde PM'lerin konsantrasyonlarının artıp azalmasında oldukça önemli rol oynamıştır.

Bu çalışma verilerinden elde edilen sonuçlar bilimsel olarak tartışılacak olursa; elde edilen veriler, Türkiye'nin kuzeydoğu bölgelerinde yapılmış ya da yapılmakta olan benzer diğer bilimsel çalışmalarla büyük ölçüde uyum içinde olduğunu göstermiştir. Kışın PM'lerin artışı Erzurum, Bayburt ve Doğu Anadolu'daki diğer önemli kentlerde de tesbitlenen bulguları destekler niteliktedir. Bu durum, başta fosil içerikli katı yakıtların yakılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda Meteorolojik olarak inversiyon tabakalarının etkileri ile birlikte coğrafik konumdan da kaynaklanabilen sınırlı hava hareketlilikleriyle açıklanabilmektedir. Bu çalışma, Bayburt ilinde kent merkezi üzerinde yapılan ilk kapsamlı bir çalışma olarak literatür tarihine geçmiştir. Özellikle farklı boyuttaki PM'lerin (PM_{2,5} ve PM₁₀) varlıklarını, konsantrasyonlarını ve etkileştiği faktörlerle karakterizasyon çalışması açısından literatüre de önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle bölgesel kaynakların ve Meteorolojik faktörlerin hava kalitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması yapılmıştır. Böylece ilerleyen zamanlarda yapılabilecek kirlilik kontrol tesbitleri için, bu alanda benzer tüm çalışmalara bilimsel bir ilk basamak / altlık oluşturmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler ile hava kalitesi açısından değerlendirilip sonuçlandırılacak olursa; Bayburt ilinde gerçekleştirilen bu çalışma, atmosferdeki PM'lerin konsantrasyonlarının değişken olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda genel hava kalitesinin bazen kirli bazen de temize yakın bir durumda olduğunu açıklamıştır. Elde edilen bulgular

sayesinde, yarı-kentsel ya da kırsal alanlarda, özellikle bölgesel sanayinin ve yoğun trafik kaynaklarının bulunmadığı bölgelerde, atmosferik kirleticilerin doğal olarak arka plandaki etkileşimli ilişkilerinin teyiti oldukça önem arz etmiştir. Literatürde benzer özellikteki çalışmalarda düşük yoğunluklu bölgelerde PM'lerin konsantrasyonlarının çok düşük olduğu, zıt özellikli yerlerde ise PM'lerin konsantrasyonlarının orta ya da yüksek değerlerde olduğu tesbit edilmiştir. Bu çalışma verilerinde her ne kadar günlük dalgalı PM konsantrasyonları belirlense de, genel olarak bakıldığında Bayburt iline göre oldukça yoğun PM konsantrasyonu içerdiği görülmüştür. Bu durum neticesinde Bayburt kent atmosferinin solunabilir hava kalitesini düşürüp insanların sağlığını büyük oranda tehdit etmektedir. Bu durumda acil önlem ve tedbirler alınarak, PM kirliliğini başta kaynaktan giderim yöntemleri ile doğrudan azaltma politikaları geliştirilerek bir takım öncü tedbirler hızlı bir şekilde hayata geçirilmelidir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre dikkate alınması gereken başlıca öneriler ise; resmi kurumlar açısından, kış aylarında doğal gaz kullanımının yaygınlaştırılmasını tam kapasiteli olarak teşvik edilmesi gerekir. Aynı zamanda fosil atık içerikli katı yakıtların kullanımının da azaltma çalışmalarının başlatılmalıdır. Bir diğer önlem olarak, Meteorolojik koşullarda oluşan İnversiyon zamanlarında erken uyarı sistemleri kurulmalıdır. Ayrıca kısa süreli emisyon kontrol tedbirleri de artırılmalıdır. Bir diğer önlem ise, yerleşim alanlarının yakınında bulunan inşaat, madencilik ve tozlu faaliyetlerin kontrol altına hızlı bir şekilde alınması gerekmektedir. Ayrıca Bayburt ilinde sürekli olarak hava kalitesi izleme istasyonlarının sayısının da artırılması gerekmektedir.

Diğer taraftan bilimsel çalışmalar için sunulacak öneriler açısından incelenecek olursa; PM_{2,5} ya da PM₁ gibi ultra ince mod PM'lerin hem varlıkları, hem konsantrasyonları hem de bağlanabilecek ağır metal ya da organik kirliticilerin (PAH, PCB, OCP vb.) analizlerinin yapılması gerekmektedir. PM'lerin kaynaklarında giderilebilmesi için kaynak tesbiti modelleri (PMF vb.) kullanılarak PM'lerin kaynaklarının oranlarının ne olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda mevsimsel dataların uzun yıllara kadar yayılması gerekmektedir. Böylece öncü olabilecek analiz çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca insan sağlığına etkilerin belirlenmesi için de risk değerlendirme (HQ/HI, CR, vb.) çalışmalarının eklenmesi de oldukça önem arz etmektedir. Diğer taraftan zamanlamaya bağlı çözüm önerileri de ele alınacak olursa; Bayburt ilinde yoğunlukla görülen dar vadilerdeki hava sirkülasyon yetersizliğinin şehir planlama zamanlarında öncü konu olarak ele alınıp alternatif çözümlerin değerlendirilmesi gerekir. Aynı zamanda eğitim ve farkındalık çalışmaları ile evsel ısınma ve doğru yakıt kullanımı bilincinin tüm vatandaşların beynine yerleştirilmesi gerekir. Bu önerileri, çalışma bulgularına dayanarak, Bayburt'ta sürdürülebilir hava kalitesi yönetimi

için yol gösterici bir rehber olacağı düşünülmektedir. Ayrıca gelecekte bu tarz konuları araştıran çalışmalar için de hem teknik açıdan hem de bilimsel yönden geliştirilmesi gereken yönleriyle birlikte ortaya konulması gerekmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre başlıca alınması gereken tedbirler ise; örnekleme sürekliliği açısından, elde edilen bu temize yakın hava kalitesi raporuna rağmen, atmosferde meydana gelebilecek Meteorolojik değişkenlikler ve olası yeni PM kirlilik kaynaklarının da takip edilebilmesi için, benzer örnekleme çalışmalarının ilerleyen yıllarda yıllık olarak ve bu programda oldukça uzun vadeli olarak tekrarlanması önerilmektedir. Özellikle mevsimsel olarak yapılan tarımsal faaliyetler, kent içi farklı sektörlerdeki büyümeler ya da yeni sanayi yatırımları gibi farklılıkların verebileceği zararları takip eden zamanlar içerisinde değerlendirilmesi oldukça kritik öneme sahip olacaktır. Meteorolojik faktörlerle etkileşimleri ve uyumlarına bakılacak olursa, PM_{2,5} ve PM₁₀'ların konsantrasyonlarındaki değişimlerin daha ayrıntılı anlaşılabilmesi için rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, nem, atmosferik basınç gibi meteorolojik parametrelerin detaylı bir şekilde eş zamanlı olarak izlenmesi gerekmektedir. Böylece özellikle kış aylarındaki inversiyon gibi atmosferik koşulların PM'lerin konsantrasyonlarına etkileri daha doğru bir şekilde hesaplanabilecektir. Ayrıca toplum sağlığı ve risk değerlendirmesi açısından, elde edilen düşük konsantrasyonlu PM'ler, Bayburt ili için olumlu bir tablo sunsa da, ileride yapılacak çalışmalarla bu bulguların sağlık risk değerlendirmesinin (özellikle PM_{2,5} solunabilir partiküller için) yapılması oldukça faydalı olacaktır. Mevcut zaman aralığında ve gelecekteki canlı nesiller için çevre ve toplum sağlığını korunması öncelikli hedefler arasında olmalıdır. Böylece bölge halkının eğitimlerle bilgilendirilmesi ve farkındalıklarını en üst safaya çekme faaliyetlerin düzenlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Aynı zamanda karşılaştırmalı bölgesel çalışmalar sayesinde, Bayburt ili gibi düşük kirlilik seviyesine sahip iller ile sanayileşmiş büyük bölgeler arasında yapılacak karşılaştırmalı çalışmalar yapılmalıdır. Bu sayede çevreyi ilgilendiren yönetim politikaları ve bölgesel olarak alınacak önlemler için oldukça önemli veriler oluşturacaktır. Ayrıca bölgesel olarak hava kalitesini etkileyebilecek uzun menzilli taşınım süreçlerinin de dikkate alınması gerektiği önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması; Bayburt ilinin atmosferik PM'ler kirliliği açısından bazı günler oldukça yüksek konsantrasyonların tesbit edilmesi açısından temiz bir hava profiline sahip olmadığı kanaatine varılmıştır. Aynı zamanda bilimsel verilerle de bu kanı desteklenmiştir. Ayrıca Baberti kampüsü'nde 2024 yılının kış ve yaz dönemlerinde aktif örnekleme Bayburt'un yarı-kentsel bir alanda yapılmasına rağmen PM_{2,5} ve PM₁₀'lar açısından "sürekli temiz" bir havaya sahip olmadığını elde edilen verilere dayanarak net

biçimde söylenebilmektedir. Özellikle PM_{2,5}'ların yıllık konsantrasyon ortalamalarının ve bir çok gününün değreleri WHO'nun 24 saatlik PM_{2,5} değerini oldukça fazla aştığı görülmektedir. Bu durumda solunabilir hava kalitesi açısından insanların sağlığında ciddi tehditler ve riskler oluşturmaktadır. Yaz aylarının PM'ler açısından ortalamaları, kışa göre belirgin bir şekilde arttığı bu çalışma sayesinde belirlenmiştir. Bu durum kuraklık, yüzey tozu, tarımsal / inşaat faaliyetleri, yol-trafik kaynaklı yeniden tozlaşmalar ve olası taş ocaklarının etkisi gibi benzer mekanik şartlardan ve bölgesel kaynaklardan desteklenerek PM birikimlerini güçlendirmektedirler. Kış aylarında ise ısınma kaynaklı fosil içerikli yakılan eksik / tam yanma emisyonları ve atmosferde oluşan inversiyon tabakaları belirli günlerde PM'lerin konsntrasyonlarını ciddi ölçüde artırarak kısa süreli de olsa "kötü hava" koşullarını oluşturmuştur. Bu sonuçlardan yola çıkılarak bütüncül bir tablo halinde ele alınacak olursa, Baberti kampüs atmosferinin PM'ler açısından hava kalitesinin dönemsel olarak kirli ve dalgalı bir karakter sergilediğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla da özellikle yaz ayları için toz kontrolleri sıkı yapılmalıdır. Aynı zamanda kış ayları içinde ısınmadan dolayı ısınma kaynaklarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca ister bilimsel çalışmalarla isterse de ilgili bakanlıklar aracılığıyla olsun, ileriye yönelik PM seviyelerinin izlenmesi, giderim modellemelerinin geliştirilmesi ve insan sağlığı odaklı çalışmalar için güçlü bir alt yapı oluşturulması gerekmektedir. Böylece yapılacak olan düzenli olarak PM'lerin izleme ve giderim hedeflerine yönelik yerel azaltım çalışmaları sayesinde, Bayburt ilinde solunabilir bir hava kalitesini iyileştirmede önemli adımlar atılmış olacaktır. Ayrıca son olarak ifade edilmelidir ki, yürütülen çalışmaların devamlılığı açısından, farklı alanlara ait disiplinler arası iş birlikleri de artırılmalıdır. Ayrıca daha kapsamlı izleme programlarının hayata geçirilmesi şiddetle tavsiye edilmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, F., Bayazid, A. Z. M., Islam, M. M., Rahaman, M. M., & Muntasir, M. F. A. (2024). The terrible air pollution in Dhaka city is getting worse. *GSC Advanced Research and Reviews*, 19(1), 42–52. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.19.1.0133>
- Afzal, A., & Mahreen, N. (2024). Emerging insights into the impacts of heavy metals exposure on health, reproductive and productive performance of livestock. *Frontiers in Pharmacology*, 15, Article 1375137. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1375137>
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Belle, G., Schoeman, Y., & Oberholster, P. J. (2024). Source to receptor: Assessing health risks from heavy metal exposure in mining soils. *Minerals*, 14(9), 858. <https://doi.org/10.3390/min14090858>
- Boateng, T. K., Opoku, F., & Akoto, O. (2019). Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: A case study of Oti landfill site, Kumasi. *Applied Water Science*, 9(2), Article 33. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0915-y>
- Bae, S. Y., Park, R. J., Kim, Y. P., Woo, J.-H., & Lee, H. (2012). Effects of below-cloud scavenging on the regional aerosol budget in East Asia. *Atmospheric Environment*, 58, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.065>
- Bilgi Ustam. (2026, 26 Ocak). *Sağlığınızı tehdit eden 5 ağır metal: Cıva, kurşun, alüminyum, kadmiyum, arsenik*. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.bilgiustam.com/sagliginizi-tehdit-eden-5-agir-metal-civa-kursun-aluminyum-kadmiyum-arsenik/>, adresinden edinilmiştir.
- Boğaziçi Yönetim A.Ş. (2026, 26 Ocak). *Hava kirliliği nedir, nasıl önlenabilir?* Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.bogaziciyonetim.istanbul/hava-kirliligi-nedir-nasil-onlenebilir/>, adresinden edinilmiştir.
- Chen, S., & Ding, Y. (2023). Tackling heavy metal pollution: Evaluating governance models and frameworks. *Sustainability*, 15(22), 15863. <https://doi.org/10.3390/su152215863>
- Dobut, S., Buengbon, S., & Suwanarung, T. (2024). Formaldehyde, TVOCs, PM2.5, and PM10 concentrations at outdoor street food in Kalasin, Thailand. *Asian Health, Science and Technology Reports*, 32(4), 10–20. <https://doi.org/10.69650/ahstr.2024.2549>
- Dung, N. A., Son, D. H., Hanh, N. T. D., & Tri, D. Q. (2019). Effect of meteorological factors on PM10 concentration in Hanoi, Vietnam. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7, 138–150. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.711010>
- Ediagbonya, T., Ukpebor, E. E., Okiemen, F., & Momoh, O. L. Y. (2014). Elemental concentration of inhalable and respirable particulate matter in urban areas during wet season. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 18(1), 79–84. <https://doi.org/10.4314/jasem.v18i1.11>
- Gholami, A., Nabavi-Pelesaraei, A., & Mostafaeipour, A. (2019). Spectral and structural evaluation of airborne particles in semi-rural environments. *Atmospheric Environment*, 207, 15–23.
- Godoy, A. R. L., Silva, A. E. A., Bueno, M. C., Pozza, S. A., & Coelho, G. P. (2021). Application of machine learning algorithms to PM2.5 concentration analysis in the state of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 56(1), 152–165. <https://doi.org/10.5327/z21769478782>

- Gonçalves, P. B., Nogarotto, D. C., Canteras, F. B., & Pozza, S. A. (2022). The relationship between the number of COVID-19 cases, meteorological variables, and particulate matter concentration in a medium-sized Brazilian city. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 57(2), 167–178. <https://doi.org/10.5327/z217694781300>
- Grafkina, M., Pitryuk, A. V., & Goryacheva, E. V. (2023). Soil pollution by heavy metals. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 1229(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1229/1/012005>
- Gutierrez, J., Chica, E., & Perez, J. F. (2022). Parametric analysis of a gasification-based cookstove as a function of biomass density, gasification behavior, airflow ratio, and design. *ACS Omega*, 7(9), 7481–7498. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05137>
- Gerçekoğlu, H. (2026, 26 Ocak). *PM2.5 nedir, neden tehlikelidir?* Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://drhakangercekoglu.com/genel/pm2-5-nedir-neden-tehlikelidir.html>, adresinden edinilmiştir.
- Guo, L., Lee, S. C., Ho, K. F., & Zou, S. C. (2015). Significance of wet deposition to removal of atmospheric particulate matter and organic pollutants. *Atmospheric Environment*, 108, 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.12.041>
- He, Y., Xu, Y., Cao, F., Gao, Z., Ge, M., Tian, H., ... Pan, H. (2024). Association of long-term exposure to PM2.5 constituents and green space with arthritis and rheumatoid arthritis. *GeoHealth*, 8(11), Article e2024GH001132. <https://doi.org/10.1029/2024GH001132>
- Huang, X., Wang, X., Wu, Q., Zhang, Z., Yang, H., & Wen, X. (2023). Effects of multiple-metal-compound contamination on the soil microbial community in typical karst tea plantations. *Forests*, 14(9), 1840. <https://doi.org/10.3390/f14091840>
- IQAir. (2026, 26 Ocak). *Türkiye hava kalitesi verileri*. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.iqair.com/turkey>, adresinden edinilmiştir.
- IndyTürk. (2026, 26 Ocak). *Görünmez sessiz katil: PM10 ve PM2.5 kirliliği*. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.indyturk.com/node/440731/t%C3%BCrkiye%CC%87yedensesle r/g%C3%B6r%C3%BCnmez-sessiz-katil-pm10-ve-pm25-kirlili%C4%9Fi>, adresinden edinilmiştir.
- Jaaffar, F. S. A., Aizuddin, A. N., & Ahmad, N. (2024). Environmental risk factors of Parkinson's disease: A scoping review. *International Journal of Public Health Research*, 14(1), 1823–1831. <https://doi.org/10.17576/ijphr/1401.2024.10>
- Jacob, D. J. (1999). *Introduction to Atmospheric Chemistry*. Princeton University Press.
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>
- Jing, Z., Liu, P., Wang, T., Song, H., Lee, J., Xu, T., & Xing, Y. (2020). Effects of meteorological factors and anthropogenic precursors on PM2.5 concentrations in cities in China. *Sustainability*, 12(9), 3550. <https://doi.org/10.3390/su12093550>
- Jitkajornwanich, K., Vijaranakul, N., Jaiyen, S., Srestasathien, P., & Lawawirojwong, S. (2024). Enhancing risk communication and environmental crisis management through satellite imagery and AI for air quality index estimation. *MethodsX*, 12, 102611. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102611>
- Kara, M., Hopke, P. K., Dumanoğlu, P. K., Altınok, Y., Elbir, H., Odabaşı, M., & Bayram, A. (2015). Characterization of PM using multiple site data in a heavily industrialized region of Turkey. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(1), 11–27.

- Kılıç, E. (2008). *Bayburt ili hava kalitesinin değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 232808)
- Liu, Z., Shen, L., Yan, C., Du, J., Yang, L., & Zhao, H. (2020). Analysis of the influence of precipitation and wind on PM_{2.5} and PM₁₀ in the atmosphere. *Advances in Meteorology*, 2020, 5039613. <https://doi.org/10.1155/2020/5039613>
- Mao, C., Chen, J., Yuan, X., Yang, Z., & Ji, J. (2011). Seasonal variations in the Sr–Nd isotopic compositions of suspended particulate matter in the lower Changjiang River: Provenance and erosion constraints. *Chinese Science Bulletin*, 56(22), 2371–2378. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4589-6>
- Medeiros, P. R. P., Cavalcante, G. H., Melo, E. R., & Brandini, N. (2018). The São Francisco River (NE): Review on the interannual loading of particulate matter suspended to the ocean and impacts of dams. *International Journal of Hydrology*, 2(2). <https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00067>
- Milliyet. (2026, 26 Ocak). *Bayburt haritası, ilçeleri ve nüfusu*. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.milliyet.com.tr/egitim/haritalar/bayburt-haritasi-bayburt-ilceleri-nelerdir-bayburt-ilinin-nufusu-kactir-kac-ilcesi-vardir-6310617>, adresinden edinilmiştir.
- Moreno, T., Querol, X., & Alastuey, A. (2006). Differences in atmospheric PM₁₀ content and composition between summer and winter seasons. *Atmospheric Environment*.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2026, 26 Ocak). *İl ve ilçelere ait meteorolojik istatistikler (Bayburt)*. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=&m=BAYBURT>, adresinden edinilmiştir.
- Mohan, M., Kanawade, V. P., & Sharma, A. (2011). Evaluation of AERMOD and ADMS-Urban for modeling particulate matter in an urban area. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(6), 883–894.
- Okoye, C., Asegbeloyin, J. N., & Ihedioha, J. N. (2021). Chemical characteristics and health risk assessment of potential toxic elements in atmospheric PM₁₀ around Ashaka Cement Factory, Gombe, Nigeria. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*, 9(2), 72–82. <https://doi.org/10.17721/fujcv9i2p72-82>
- Paloluoğlu, C. (2016). *Erzurum'da çeşitli örnekleme yöntemleri kullanarak farklı ortamlardaki poliklorlu bifenillerin (PCB'lerin) konsantrasyonlarının belirlenmesi*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 434825)
- Parry, E., & Young, T. M. (2013). Distribution of pyrethroid insecticides in secondary wastewater effluent. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(12), 2686–2694. <https://doi.org/10.1002/etc.2347>
- Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709–742.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodríguez, S., Plana, F., Ruiz, C. R., Cots, N., ... Mantilla, E. (2001). PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in the Barcelona metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment*, 35(36), 6407–6419. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00361-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00361-2)
- Saeedi, M., Daneshvar, S., & Karbassi, A. (2004). Role of riverine sediment and particulate matter in adsorption of heavy metals. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1(2), 135–140. <https://doi.org/10.1007/bf03325826>
- Salomao, M. S. M. B., Molisani, M. M., Ovalle, A. R. C., Rezende, C. E., Lacerda, L. D., & Carvalho, C. E. V. (2021). Particulate heavy metal transport in the lower Paraíba do Sul

- River basin, southeastern Brazil. *Hydrological Processes*, 15(4), 587–593. <https://doi.org/10.1002/hyp.168>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Shi, H., He, Z., Deng, C., Liu, A., Feng, Y., Li, L., ... Liu, X. (2024). How has the source apportionment of heavy metals in soil and water evolved over the past 20 years? A bibliometric perspective. *Water*, 16(22), 3171. <https://doi.org/10.3390/w16223171>
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Fathizad, H., Ardakani, M. A. H., Sodaiezhadeh, H., Kerry, R., Heung, B., ... Scholten, T. (2021). Spatio-temporal analysis of heavy metals in arid soils at the catchment scale using digital soil assessment and a random forest model. *Remote Sensing*, 13(9), 1698. <https://doi.org/10.3390/rs13091698>
- Tai, A. P. K., Mickley, L. J., & Jacob, D. J. (2010). Correlations between fine particulate matter (PM_{2.5}) and meteorological variables in the United States. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3976–3984.
- Tao, W., Su, H., Zheng, G., Wang, J., Wei, C., Liu, L., ... Cheng, Y. (2020). Aerosol pH and chemical regimes of sulfate formation in aerosol water during winter haze in the North China Plain. *Atmospheric Chemistry and Physics*. <https://doi.org/10.5194/acp-2020-177>
- Tanhan, P., Lansubsakul, N., Phaochoosak, N., Sirinupong, P., Yeesin, P., & Imsilp, K. (2022). Human health risk assessment of heavy metal concentration in seafood collected from Pattani Bay, Thailand. *Toxics*, 11(1), 18. <https://doi.org/10.3390/toxics11010018>
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2008). *İklim değişikliği raporu* (Ekim 2008). Ankara, Türkiye: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. <https://www.haliccevre.com/images/PDF/raporlar/iklim-ekim-2008.pdf>
- Türk Toraks Derneği. (2026, 26 Ocak). *Haber ve duyurular*. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://toraks.org.tr/site/community/news/10314>, adersinden edinilmiştir.
- Venter, A. D., Van Zyl, P. G., Beukes, J. P., Josipovic, M., Hendriks, J., Vakkari, V., ... Laakso, L. (2017). Atmospheric trace metals measured at a regional background site (Welgegund) in South Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(6), 4251–4263. <https://doi.org/10.5194/acp-17-4251-2017>
- Viana, M., Kuhlbusch, T. A. J., Querol, X., vd. (2007). Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. *Journal of Aerosol Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.05.007>
- Wardhani, E., Manova, N. A., & Irmansyah, A. Z. (2024). Assessment of the level of heavy metal pollution in the river sediments near the landfill area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1388(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1388/1/012040>
- Wang, Y., Q. Zhang, J. Yang, & X. Zhang. (2015). Spatial and temporal variations of the concentrations of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in China based on CAWNET observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 13585–13598. <https://doi.org/10.5194/acp-15-13585-2015>
- Wang, R., Xu, G., & Chen, X. (2023). Infrared spectral analysis of airborne particles and health implications. *Environmental Science & Technology*, 57(3), 1875–1884.
- Wang, Y., Zheng, X., Dong, X., Xi, B., & Yung, Y. (2023). Insights into warm cloud biases in CAM5 and CAM6 from the single column modeling framework and ACE-ENA observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23, 8591–8605. <https://doi.org/10.5194/acp-23-8591-2023>

- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- Xiao, M., Xu, S., Yang, B., Zeng, G., Qian, L., Huang, H., ... Ren, S. (2022). Contamination, source apportionment, and health risk assessment of heavy metals in farmland soils surrounding a typical copper tailings pond. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14264. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114264>
- Xie, S., Lan, T., Xing, A., Chen, C., Meng, C., Wang, S., ... Hong, M. (2023). Spatial distribution and ecological risk of heavy metals and their source apportionment in soils from a typical mining area, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Land*, 15(10), 1196–1215. <https://doi.org/10.1007/s40333-023-0109-1>
- Yang, X., Cheng, B., Gao, Y., Zhang, H., & Liu, L. (2022). Heavy metal contamination assessment and probabilistic health risks in soil and maize near coal mines. *Frontiers in Public Health*, 10, Article 1004579. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1004579>
- Yessenbayeva, K., Turdiyeva, K., Ramazanova, E., & Lee, W. (2024). Water chemistry, source identification, and health risk assessment in surface water of the Ural River. *ACS Environmental Science & Technology Water*, 4(4), 1620–1628. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.3c00682>
- Yu, Z., Tian, P., Kang, C., Song, X., Huang, J., Guo, Y., ... Zhang, L. (2024). Physical properties, chemical components, and transport mechanisms of atmospheric aerosols over a remote area on the south slope of the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129(4), Article e2023JD040193. <https://doi.org/10.1029/2023JD040193>
- Yun, S., & Yoo, C. (2019). The effects of spring and winter blocking on PM₁₀ concentration in Korea. *Atmosphere*, 10(7), 410. <https://doi.org/10.3390/atmos10070410>
- Yücel, E. (2026, 26 Ocak). [PDF doküman]. Erişim tarihi: 26 Ocak 2026, <https://www.ersinyucel.com.tr/uploads/3d364d094a642e6d3e7838f08c64e6f5.pdf>, adresinden edinilmiştir.
- Zhang, Y., Chen, H., Du, R., Zhang, S., & Zhao, H. (2022). Microbial activity and community structure in PM_{2.5} at different heights in the ground boundary layer of Beijing atmosphere under various air quality levels. *Environmental Microbiology*, 24(9), 4013–4029. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16023>
- Zhao, N., Smargiassi, A., Chen, H., Widdifield, J., & Bernatsky, S. (2024). Fine particulate matter components and risk of rheumatoid arthritis: A large general Canadian open cohort study. *Arthritis Care & Research*, 77(1), 15–22. <https://doi.org/10.1002/acr.25403>.

ÖZ GEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimlerini tamamladıktan sonra Kocaeli üniversitesi İlahiyat Fakültesi'nde lisans eğitimini tamamlamıştır. Mezuniyetinin ardından Diyanet İşleri Başkanlığı bünyesinde Kur'an kursu hafızlık hocası olarak görev yapmaktadır. Yüksek lisans eğitimine Bayburt üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İklim Değişikliği ve Politikaları Anabilim Dalı'nda devam etmektedir.

