

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



İSTANBUL'DA ÖLÇÜLEN $PM_{2.5}$ VE PM_{10} DEĞERLERİNİN
METEOROLOJİK FAKTÖRLERE GÖRE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Ali TOLTAR

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı
İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı

KASIM 2022

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



İSTANBUL'DA ÖLÇÜLEN $PM_{2.5}$ VE PM_{10} DEĞERLERİNİN
METEOROLOJİK FAKTÖRLERE GÖRE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Ali TOLTAR
(191215011)

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLAN

KASIM 2022



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Doktora Tez Onay Belgesi

Enstitümüz, İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı (191215011) numaralı öğrencisi Ali TOLTAR'ın "İstanbul'da Ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ Değerlerinin Meteorolojik Faktörlere Göre Değişiminin İncelenmesi" adlı tez çalışması 15/11/2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından *Oy Birliği* ile Doktora Tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 15/11/2022

- 1) Tez Danışmanı:** Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLAN
- 2) Jüri Üyesi:** Doç.Dr.Hakkı BALTACI
- 3) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Bestem ESİ
- 4) Jüri Üyesi:** Prof.Dr. Mehmet Salim ÖNCEL
- 5) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞIMLI

YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum “İstanbul’da Ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ Değerlerinin Meteorolojik Faktörlere Göre Değişiminin İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (15/11/2022).

Ali TOLTAR



ÖNSÖZ

Doktora çalışmam boyunca bana yol gösteren, destek ve emeklerini esirgemeyen danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Hilal Arslan, jüri üyelerim Prof. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL, Doç. Dr. Hakkı Baltacı, Dr.Öğr. Üyesi Mustafa Yağımlı ve Dr. Öğr. Üyesi Bestem Esi'ye teşekkür ederim.

Kasım 2022

Ali TOLTAR

İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Hava Kirliliği Kaynakları	7
1.3.1 Isınma Kaynaklı Hava Kirliliği	7
1.3.2 Ulaşım Kaynaklı Hava Kirliliği.....	7
1.3.3 Endüstri Kaynaklı Hava Kirliliği.....	8
1.4 Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler.....	8
1.4.1 Meteorolojik faktörler.....	8
1.4.2 Topoğrafik Faktörler	8
1.5. Hava Kirliliği Parametreleri	9
1.6 Dünya’da ve Türkiye’de Hava Kirliliği	12
2. MATERYAL VE YÖNTEM	21
2.1 Çalışma Alanı	21
2.2 Hava Kalitesi ve Meteorolojik Veriler	22
2.3 İstatistiksel Analiz	25
2.3.1 Trend Analizi	26
2.3.2 Korelasyon Analizi	27
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
3.1 İstanbul’da Ölçülen Partikül Maddelerin Zamansal Değişimi	28
3.2 Partikül Maddelerin Kaynak Analizi.....	36
3.3 Silivri ve Ümraniye İstasyonlarında Ölçülen Partikül Maddelerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkisi.....	40
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	52

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BAM	: Beta Işını Absorpsiyon Yöntemi
CO	: Karbon Monoksit
CH₄	: Metan
COVID-19	: Koronavirüs Hastalığı 2019
ÇMO	: Çevre Mühendisleri Odası
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
HKİ	: Hava Kalitesi İndeksi
IARC	: Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NO₂	: Azot Dioksit
NO_x	: Azot Oksitler
O₃	: Ozon
Pb	: Kurşun
PM	: Partikül Madde
PM_{2.5}	: Partikül Madde (<2.5 µm çap)
PM₁₀	: Partikül Madde (<10 µm çap)
r	: Korelasyon Katsayısı
RH	: Bağıl Nem
SO₂	: Kükürt Dioksit
T_{min}	: Minimum Sıcaklık
T_{max}	: Maksimum Sıcaklık
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UHKİA	: Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı
W_d	: Rüzgar Yönü
W_s	: Rüzgar Hızı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Türkiye PM ₁₀ Limit Değerleri	9
Çizelge 1.2: 2022 Yılı Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Partikül Madde Limit Değerlerinin Karşılaştırılması.....	10
Çizelge 1.3: EPA Hava Kalitesi İndeks Değerleri	11
Çizelge 1.4: Ulusal Hava Kalitesi İndeks Değerleri	12
Çizelge 3.1: Silivri ve Ümraniye İstasyonlarında Ölçülen PM _{2.5} ile PM ₁₀ Değerlerinin Mann-Kendall Trend Testi Sonuçları	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Risk Faktörlerine Göre Dünya’da 2019 Yılında Kaydedilen Ölüm Sayılarının Dağılımı	3
Şekil 1.2: 2021 Yılı Ortalama PM _{2,5} Değerinin Ükelere Göre Dağılımı	13
Şekil 1.3: 2021 Yılı Ortalama PM _{2,5} Değerinin Avrupa Kıtasında Yer Alan Ükelere Göre Dağılımı.....	14
Şekil 1.4: 2021 Yılı Avrupa Kıtasında Yer Alan Ükelerin Ortalama PM _{2,5} Değerleri	15
Şekil 1.5: 2021 Yılı Avrupa Kıtasında Yer Alan Şehirlerin Yıllık Ortalama PM _{2,5} Değer Aralığı.....	16
Şekil 1.6: 2021 Yılı Avrupa Kıtasında Yer Alan Hava Kalitesi En Düşük Şehirlerin Sıralaması	16
Şekil 1.7: 2021 yılı Avrupa kıtasında yer alan hava kalitesi en iyi şehirlerin sıralaması.....	17
Şekil 1.8: 2020 Yılı Ortalama PM ₁₀ Değerlerinin Mekansal Dağılımı	18
Şekil 1.9: 2020 Yılı Ortalama PM _{2,5} Değerlerinin Mekansal Dağılımı.....	20
Şekil 2.1: Silivri ve Ümraniye Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonlarının (Yeşil Noktalar) ve Meteoroloji İstasyonlarının (Mavi Noktalar) Harita Üzerindeki Konumları (Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı).....	22
Şekil 2.2: Silivri Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Harita Üzerindeki Konumu ...	23
Şekil 2.3: Silivri Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Bilgileri.....	24
Şekil 2.4: Ümraniye Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Harita Üzerindeki Konumu	24
Şekil 2.5: Ümraniye Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Bilgileri.....	25
Şekil 3.1: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM _{2,5} Değerlerinin Günlük Değişimi	28
Şekil 3.2: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM ₁₀ Değerlerinin Günlük Değişimi	29
Şekil 3.3: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM _{2,5} Değerlerinin Günlük Değişimi	29
Şekil 3.4: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM ₁₀ Değerlerinin Günlük Değişimi	30
Şekil 3.5: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen Partikül Madde Değerlerinin Yıllık Değişimi.....	30
Şekil 3.6: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen Partikül Madde Değerlerinin Yıllık Değişimi.....	31
Şekil 3.7: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM ₁₀ and PM _{2,5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Saatlik Değişimi.....	33
Şekil 3.8: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM ₁₀ ve PM _{2,5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Günlük Değişimi.....	34
Şekil 3.9: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM ₁₀ ve PM _{2,5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Saatlik Değişimi	35

Şekil 3.10: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ Değerlerinin Mevsimlere Göre Günlük Değişimi	36
Şekil 3.11: Silivri İstasyonunda Ölçülen $PM_{2.5}$ Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020).....	37
Şekil 3.12: Ümraniye İstasyonunda Ölçülen $PM_{2.5}$ Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020).....	38
Şekil 3.13: Silivri İstasyonunda Ölçülen PM_{10} Değerlerinin Kutupsal Grafiği	39
Şekil 3.14: Ümraniye İstasyonunda Ölçülen PM_{10} Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020).....	40
Şekil 3.15: Silivri İstasyonunda Ölçülen PM Değerleri ile Meteorolojik Faktörlerin Mevsimlere Ait Korelasyon Analizi Sonuçları	42
Şekil 3.16: Ümraniye İstasyonunda Ölçülen PM Değerleri ile Meteorolojik Faktörlerin Mevsimlere Ait Korelasyon Analizi Sonuçları	42



İSTANBUL'DA ÖLÇÜLEN PM_{2.5} VE PM₁₀ DEĞERLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLERE GÖRE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul ilinde yer alan Silivri ve Ümraniye ilçelerinde 2014-2020 yılları arasında ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının meteorolojik parametrelerle ilişkisi mekansal ve zamansal olarak incelenmiştir. Silivri ve Ümraniye ilçelerindeki Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarında ölçülen saatlik PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri ve meteorolojik veriler (rüzgar hızı, rüzgar yönü, bağıl nem, toplam yağış, sıcaklık, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık) kullanılmıştır. Tüm mevsimlerde partikül madde değerleri sabah 6'da en düşükken, araç emisyonları gibi antropojenik kaynaklar nedeniyle, 09:00 ve 19:30 saatleri arasında pik noktaya ulaşmaktadır. Günlük değerler incelendiğinde ise, Silivri'de en yüksek partikül madde değerleri kış mevsiminde Pazar günleri, Ümraniye'de ise Cuma günleri ölçülmüştür. Silivri ve Ümraniye istasyonlarında, rüzgar hızlarının düşük olduğu zamanlarda lokal emisyonların, 8 m/s'yi aşan güneyli rüzgar hızlarının yüksek PM konsantrasyonlarına sebep olduğu gözlenmiştir. Silivri'de ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonları ile rüzgar hızı arasında kış mevsiminde (r=-0.56) ve sonbahar mevsiminde (r=-0.47) negatif korelasyon bulunmuştur. Ümraniye'de ise PM_{2.5} (r=-0.48) ve PM₁₀ (r=-0.38) ile rüzgar hızı arasında kış mevsiminde negatif korelasyon bulunmuştur. Ayrıca, Silivri'de ilkbahar mevsiminde ölçülen PM₁₀ değerleri ile bağıl nem arasında negatif korelasyon (r=-0.43) bulunurken, yaz mevsiminde ölçülen PM₁₀ (r=0.40) ve PM_{2.5} (r=0.38) ile maksimum sıcaklık arasında pozitif ilişki bulunmuştur. İstanbul'un hava kalitesini kentleşme, ulaşım, sanayileşme gibi antropojenik faaliyetlerin yanı sıra meteorolojik faktörler ile kirleticilerin atmosferik taşınımı da olumsuz yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: *Partikül madde, meteorolojik faktörler, korelasyon katsayısı, İstanbul.*

THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON PM_{2.5} AND PM₁₀ VALUES IN ISTANBUL, TURKEY

ABSTRACT

In this study, spatiotemporal relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and meteorological parameters were investigated for Silivri and Umraniye districts in Istanbul for 2014-2020. Hourly PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations values of two air quality monitoring stations and meteorological data (wind speed, wind direction, relative humidity, total precipitation, minimum and maximum temperature) were used for Umraniye and Silivri settlements in Istanbul during the period 2014-2020. In all seasons, while PM concentrations were lowest at 06:00 local time (LT), PM_{2.5} and PM₁₀ have peak values around 09:00 and 19:30 LT both in Silivri and Umraniye mainly due to anthropogenic activities such as vehicle exhaust emissions. In daily perspective, highest PM values were observed on Sundays in winter at Silivri. On the other side, peak PM values are shown on Fridays at Umraniye. It was found that local emission sources during low wind speeds cause the highest PM concentrations during winter months and southerly winds exceeding 8 m/s increase the PM₁₀ levels at Silivri and Umraniye. The statistical analysis showed that PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations at Silivri were negatively correlated with wind speed (ws) with correlation coefficients of -0.56 (winter), -0.47 (autumn), respectively. Ws is negatively associated with PM_{2.5} (r=-0.48) and PM₁₀ (r=-0.38) in winter season at Umraniye. In addition to this, relative humidity (RH) showed negative relationship with PM₁₀ (r=-0.43) in spring at Silivri, while a positive correlation was found between PM₁₀ (r=0.40) and PM_{2.5} (r=0.38) measured in the summer season and the maximum temperature. In addition to the anthropogenic factors (e.g. urbanization, transportation, and industrialization) that decrease air quality of Istanbul, local meteorological variables and atmospheric transport of pollution are seen as the other factors that contribute to air pollution.

Keywords: *Particulate matter, meteorological parameters, correlation coefficient, Istanbul.*

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, çevre ve halk sağlığını olumsuz yönde etkileyen günümüzün en önemli çevresel risklerinden biridir. Bu kirlilik hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde dünya çapında büyüyen çevresel bir sorun haline gelmektedir. Kentleşme, endüstriyel faaliyetler, ulaşım ve nüfus artışına paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılamak için tüketilen fosil yakıtlar hava kirliliği problemine neden olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından kirleticilerin sağlık üzerindeki etkileri değerlendirilerek kabul edilebilir hava kalitesi ile sağlıklı veya kötü hava kalitesini birbirinden ayıran, limit değerleri belirlenen kriter hava kirleticileri oluşturulmuştur. Bu hava kirleticileri, karbon monoksit (CO), ozon (O₃), kurşun (Pb), azot dioksit (NO₂), partikül madde (PM), ve kükürt dioksit (SO₂)'tir. Özellikle partikül madde, kentsel ve bölgesel hava kirliliğinde önemli bir rol oynamakta ve Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre ciddi sağlık etkilerine neden olmaktadır (Jiang ve diğ., 2015; WHO, 2021). Ayrıca, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından, 2013 yılında partikül madde (PM) kanser yapıcı etkenler listesine dahil edilmiştir (IARC, 2013). Partikül Madde (PM), hava içinde uzun süre askıda kalabilen, katı ve sıvı halde bulunan maddelerdir. PM boyut olarak aerodinamik çapı 0.1 µm'den küçükse çok (ultra) ince partikül, 0.1 µm ile 2.5 µm (2.5 µm dahil) arasında ise ince partikül, 2.5 µm ile 10 µm arasında ise kaba (course) partikül ve 10 µm'den büyük ise kaba partikül olarak tanımlanmaktadır.

Halk sağlığının korunması için PM_{2.5} ve PM₁₀ kirleticileri için limit değerler belirlenmiştir. 2008 yılından itibaren Türkiye'deki PM₁₀ limit değerleri kademeli olarak azaltılarak 2008/50/EC sayılı Avrupa Birliği (AB) yönetmeliğinde yer alan değer ile 2019 yılında eşitlenmiştir. AB'ye göre 24 saatlik ortalama PM₁₀ limit değeri 50 µg/m³'tür (AB, 2008/50/EC). DSÖ'nün 24 saatlik ortalama PM₁₀ değeri ise 45 µg/m³, ortalama PM_{2.5} değeri ise 15 µg/m³'tür (DSÖ, 2022). Türkiye'de 24 saatlik ortalama PM₁₀ limit değeri 50 µg/m³'tür ancak PM_{2.5} ilgili yasal bir sınır değeri bulunmamaktadır. Halbuki, AB ve DSÖ tarafından en tehlikeli hava kirleticilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Aerodinamik çapı 10 µm'ten küçük olan partikül

maddeler, akciğerlerde birikebildiği için özellikle kentsel alanlarda insan sağlığını olumsuz yönde etkilemekte ve solunum yolu hastalıkları gibi birçok sağlık probleminde sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, en önemli hava kirleticilerinden olan $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerleri zamansal ve mekansal olarak incelenecektir.

1.1 Tezin Amacı

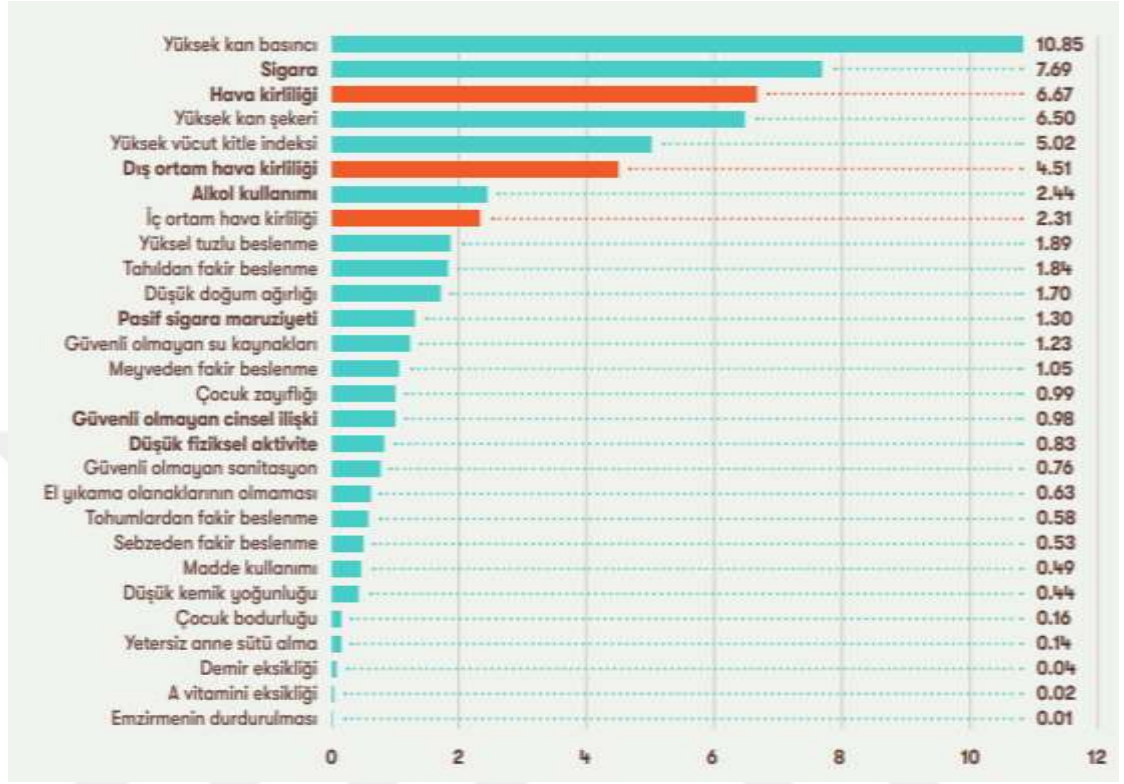
Son yıllarda İstanbul'da nüfus artışı, endüstriyel faaliyetler ve kalitesiz yakıt kullanımı gibi antropojenik faaliyetler sebebiyle yüksek seviyede hava kirleticileri ölçülmektedir. Bu kirleticiler, çevre ve halk sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Kirletici kaynak türlerinin ve yüklerinin fazla olduğu sanayi bölgeleri ile yerleşim yerlerinde yapılan hava kirliliği çalışmaları, hava kalitesinin iyileştirilmesi için çözümlerin üretilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, meteorolojik faktörlere (rüzgar hızı (m/s), rüzgar yönü, sıcaklık (°C), minimum sıcaklık (Tmin), maksimum sıcaklık (Tmax), yağış (mm) ve bağıl nem) bağlı olarak $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerlerinin mevsimsel ve yıllık değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın İstanbul'da yerel hava kalitesi yönetim planı geliştirmeye yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

İstanbul ilinde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerlerini incelemek amacıyla, Silivri ve Ümraniye Hava kalitesi istasyonlarında ölçülen saatlik $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerleri 1 Ocak 2014-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki dönem için Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı veri tabanından ve meteoroloji istasyonlarının saatlik bilgileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Son yıllarda yapılan epidemiyolojik çalışmaların sonuçları, hava kirliliği maruziyetinin halk sağlığını olumsuz yönde etkilediğini ve her yıl milyonlarca ölüme neden olduğunu göstermektedir (Canova ve diğ. 2012; Cirera ve diğ. 2012; Li ve diğ. 2012; Meng ve diğ. 2013; Çapraz ve diğ. 2015; Duan ve diğ. 2015; Cohen ve diğ. 2017; Ding ve diğ. 2017; Hao ve diğ. 2017; Jo ve diğ. 2017; Xie ve diğ. 2018; Arslan ve diğ. 2022; Baltacı ve diğ. 2022). Şekil 1.1'de gösterilen, Ritchie ve diğ. (2018) tarafından bulaşıcı olmayan hastalık sebebiyle meydana gelen ölümlerin nedenleri araştırılmıştır. Kaydedilen ölümler, yüksek tansiyon ve tütün kullanımından sonra en

fazla hava kirliliği nedeniyle meydana gelmiştir. Sağlıksız beslenme ve tütün kullanımı gibi sebeplerle meydana gelen hastalık yükünün benzeri hava kirliliği sebebiyle de meydana gelmektedir (DSÖ, 2021).



Şekil 1.1: Risk Faktörlerine Göre Dünya’da 2019 Yılında Kaydedilen Ölüm Sayılarının Dağılımı

Kaynak: (Ritchie, 2018)

Hava kirliliği özellikle solunum ve kalp-damar sistemi olmak üzere tüm vücudumuzu olumsuz yönde etkilemektedir (Kunzli ve Tager, 2005). Hava kirliliği maruziyetine bağlı olarak hastalık yükü ve ölüm riski artmakta olup, yaşam süresi kısalmaktadır. AB’de PM_{2.5} değerine maruziyetin insan ömrünü sekiz aydan daha fazla kısalttığı tahmin edilmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, 2020). Ayrıca, Avrupa Parlamentosu’nun Çevre, Halk Sağlığı ve Gıda Güvenliği Komitesi tarafından Ocak 2021’de yayınlanan Hava Kirliliği ve COVID-19 raporunda, PM_{2.5} maruziyetinin her yıl Avrupa’da 400.000 ve dünyada 4.000.000’un üzerinde erken ölüme sebep olduğu belirtilmektedir (Brunekreef ve diğ., 2021). Maruz kalınan kirleticinin türü ve süresine bağlı olarak insan sağlığı üzerindeki etkileri değişmektedir. Bununla birlikte, hava kirliliğine maruz kalan kişinin genetik yatkınlığı, sağlık durumu, beslenme durumu, yaşı gibi çeşitli faktörlere göre de etkilenme oranları değişiklik göstermektedir (Kampa ve Costanas, 2008).

EPA, PM_{2.5} maruziyetinin özellikle çocuklarda astım ve solunum fonksiyonunda azalma, hava yolu inflamasyonunda artış gibi belirtilere sebep olduğunu belirtmektedir. Partikül madde maruziyeti, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA), pnömoni, bronşit gibi çeşitli solunum sistemi hastalıklarında artışa sebep olmaktadır. Yüksek düzeyde kirleticiye maruz kalınmasının yanı sıra, düşük düzeyde kirleticiye uzun süreli maruziyette solunum sistemini benzer şekilde olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle kronik rahatsızlığı olan bireylerin, çocuk ve 65 yaş üstü yaşlıların bu şekilde hava kirliliğine maruz kalması solunum sistemi hastalıklarının sıklığını ve ciddiyetini artırmaktadır (EPA, 2021). Ayrıca, sosyo-ekonomik düzeyi düşük olan bölgelerde yaşayan bireyler ve kirli havaya maruziyet riskinin fazla olduğu mesleklerde çalışanlar hava kirliliğine karşı diğer bireylere göre daha fazla risk altında olmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü, hava kirliliği maruziyeti sebebiyle her yıl 8 milyon erken ölümün meydana geldiğini belirtmektedir. Bu ölümlerin 4.2 milyonu antropojenik sebeplerle (sanayi, trafik, ısınma kaynaklı gibi) meydana gelen dış ortam hava kirliliğinden, 3.8 milyonu ise, ısınma ve yemek amaçlı kullanılan yakıtlardan kaynaklı iç ortam hava kirliliğinden meydana gelmektedir. İç ve dış ortam hava kirliliğine maruziyet iskemik kalp hastalığı, astım, akciğer kanseri, KOAH gibi hastalıklar için önemli bir risk faktörü olmaktadır (Lim ve diğ. 2012). Dünya nüfusunun %99'u hava kirliliğinden olumsuz yönde etkilenmektedir (DSÖ, 2019). Temiz Hava Hakkı Platformunun 2020 yılında yayımladığı Kara Raporda, hava kirliliğinin DSÖ'nün önerdiği kılavuz değerlerine indirilseydi, 2018 yılında 45.398 ölümün (tüm ölümlerin %12,13'ü), 2019 yılında ise, 31.476 ölümün (tüm ölümlerin %7,9'u) önlenebileceğini belirtmektedir. Ayrıca 2017-2019 yıllarında yapılan çalışmaya göre, trafik kazaları sebebiyle yaşanan ölümlerin 6-7 kat fazlası hava kirliliği sebebiyle meydana gelmiştir. 22 Eylül 2021 tarihinde DSÖ 24 saatlik ortalama PM₁₀ değerini 45 µg/m³ ve PM_{2.5} değerini 15 µg/m³ olarak güncellemiştir. Yapılan çalışmanın, güncel değerlerle yapılması durumunda hava kirliliğine bağlı hastalık ve ölüm sayılarının artacağı öngörülmektedir. Ancak maruz kalınan kirletici miktarı ve süresine bağlı olarak hastalık riski artsa bile, yapılan epidemiyolojik çalışmalar halk sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecek bir limit değer olmadığını belirtmektedir (Al-Kindi ve diğ., 2020). Avrupa Yeşil Anlaşması kapsamında,

Avrupa Birliđi'nin de 2023-2024 yıllarında DSÖ'nün kılavuz deđerlerini uygulamaya koymasý beklenmektedir (Karamfilova, 2021).

En önemli antropojenik kaynaklardan biri fosil yakýt tüketimidir. Bu tüketimin azaltýlmasına bađlı olarak hava kalitesi iyileştirilebilmektedir. Fosil yakýt tüketimine bađlı olarak PM_{2.5} deđerleri artýş göstermekte olup, buna bađlı hastalık yükü de artmaktadır. Vohra ve diđ. (2021)'nin yaptýđı çalıřmada, fosil yakýt tüketimin 8,7 milyon insanın ölümüne neden olduđu belirtilmektedir.

Fosil yakýt tüketimi aynı zamanda iklim değişikliğinin en önemli kaynaklarından biridir. İklim değişikliği sebebiyle sıcaklık değerleri yükselmekte olup, ozon gibi kriter hava kirleticilerinin oluşmasına sebep olmaktadır (University of Delaware, 2019). Ayrıca iklim değişikliğinin etkisiyle sıcak hava dalgaları gibi ekstrem hava olayları meydana gelmekte olup, bu durum hava kirliliğinin süresini uzatmaktadır.

Günümüzde, kentleşme, ulaşım ve sanayileşme gibi antropojenik sebeplerle hava kirliliği yaygınlaşmaktadır. Bu faktörlerin oluşturduğu emisyonlara ek olarak, meteorolojik faktörler de hava kirleticilerinin taşınımında önemli olmaktadır. Ayrıca bu faktörler, kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonlarını ve kalma sürelerini etkilemektedir. Atmosfere salınan kirleticilerin miktarý değişmese bile kirletici konsantrasyonları zamanla değişebilmektedir. Partikül madde kirliliğinin yüksek olduğu günlerde, meteorolojik faktörlerin (sıcaklık, rüzgar hızý, yağış, karışım yüksekliği, enverziyon, basınç gibi) etkisi özellikle önemli olmaktadır. Genel olarak yüksek sıcaklık değerleri partikül madde değerlerini artırırken, yağış partikül maddeyi atmosferden uzaklaştırarak, bu değerleri azaltmaktadır (Zhan ve diđ. 2015; Faridi ve diđ. 2018; Ye ve diđ. 2018; Leung ve diđ. 2018). Rüzgar hızý, partikül maddenin seyrelmesinde, dağılımında ve taşınımında önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgar hızý, partikül maddelerin dağılımını sağlayarak hava kirliliğini hem azaltmakta (Huang ve diđ. 2015; Ausati ve Amanollahi ve diđ. 2016; Peng ve diđ. 2020), hem de toz taşınımına sebep olarak, hava kirliliğini artırmaktadır (Baltacı ve diđ. 2022). Rüzgar hızý, kirleticileri kaynaklarından uzaklaştırdıkları için, kirleticilerin nereden nereye taşındıkları hakkında bilgi de sağlamaktadır (Kindap, 2008; Lyu ve diđ. 2017).

Bazý kirleticiler, kaynaktan atıldığı zaman direk olarak havayı kirletmekteyken, bazıları, iki kirleticinin atmosferde tepkimeye girmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu

değişime, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik faktörler sebep olmaktadır. Li ve diğ. (2017) Çin'de yer alan Shenyang şehrinde ölçülen partikül madde konsantrasyonunun çoğu mevsimde rüzgar hızı ile negatif korelasyona sahip olduğunu, ancak sıcaklık, bağıl nem ve basınç ile pozitif korelasyona sahip olduğunu belirtmektedir. Li ve diğ. (2019) PM_{2.5}, PM₁₀ ve SO₂ değerleri ile yağış, sıcaklık ve rüzgar hızı arasında anlamlı bir ilişki bulmuştur. Ansari ve diğ. (2019), İran'da ölçülen PM_{2.5} konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmada, PM_{2.5} ile ortalama sıcaklık ve nem arasında zayıf korelasyonlar bulmuştur.

Türkiye'de kırsal alanlarda yaşanan işsizlik sebebiyle, kentlere göçler artmış, kentlerde yaşayan insan sayısının artmasıyla birlikte de ulaşım faaliyetlerinin artması ve sanayileşme gibi antropojenik faaliyetler sebebiyle kentlerde ölçülen kirletici miktarı önemli ölçüde artmıştır. Bu kaynaklar birbirlerine paralel olarak artış göstermekte olup, özellikle büyükşehirlerde hava kirliliğinin yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Meteorolojik parametreler de hava kirliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Türkiye'de bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde Bolu, Erzurum, Karabük ve Zonguldak gibi şehirlerde çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Oğuz ve diğ. 2003; Çelik ve Kadi, 2007; İçağa ve Sabah, 2009; Tecer ve diğ. 2012; Şahin ve diğ. 2020; Baltacı ve diğ. 2022). Çelik ve Kadi (2007), Karabük ilinde ölçüden partikül madde konsantrasyonlarının rüzgar hızı, nem ve sıcaklık ile negatif korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. Tecer ve diğ. (2012) Zonguldak'ta ölçülen partikül madde değerleri ile bağıl nem, bulutluluk ve düşük sıcaklık arasında yüksek bir korelasyon bulmuştur. Sarı ve diğ. (2019) Bursa ilinde ölçülen PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, CO, O₃, NO, NO₂, NO_x ve CH₄ konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler (sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve bağıl nem) arasındaki ilişkiyi incelemiş olup, kirletici konsantrasyonları ve rüzgar hızı arasında güçlü korelasyon bulmuşlardır.

PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri, emisyon kaynaklarına bağlı olarak bölgeden bölgeye değişmektedir. Bu nedenle, yerel hava kalitesi yönetimi hakkında bilinçli kararlar verebilmek için hava kalitesi izleme ve modelleme çalışmaları yürütmek önemli olmaktadır. İstanbul ili endüstriyel faaliyetler, ulaşım, ısınma, nüfus yoğunluğu gibi sebeplerle hava kirliliği yaşanan önemli şehirlerden bir olmaktadır.

Trafik, elektrik üretimi, sanayi, madencilik, ısınma, inşaat, orman yangınları gibi antropojenik faaliyetlerin sebep olduğu emisyonlar hava kirliliğinin en önemli sebepleri arasındadır. Ancak alınacak önlemlerle hava kirliliğinin önüne geçilmesi mümkün olabilecektir (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2020). Bu çalışmada, İstanbul ilinde yer alan Silivri ve Ümraniye ilçelerinde ölçülen partikül madde konsantrasyonlarının rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, Tmin, Tmax, yağış ve bağıl nem gibi meteorolojik faktörlere bağlı değişimleri zamansal ve mekansal olarak analiz edilecektir.

1.3 Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliği kaynakları, ulaşım, endüstriyel faaliyetler, elektrik üretimi, tarım, ısınma gibi antropojenik kaynaklardan ya da çöl tozu taşınımı, volkanik faaliyetler, deniz tuzu serpintisi gibi doğal kaynaklardan oluşabilmektedir.

1.3.1 Isınma Kaynaklı Hava Kirliliği

Özellikle kış aylarında konut ısınmasına bağlı olarak fosil yakıt tüketimi artmaktadır. Buna bağlı olarak da hava kalitesi azalmaktadır. Isınma kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması için, fosil yakıt tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi, binalarda ısı yalıtımının yapılması gerekmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

1.3.2 Ulaşım Kaynaklı Hava Kirliliği

Büyükşehirlerde, nüfus artışına paralel olarak artan motorlu taşıtların atmosfere saldırdığı kirletici emisyonlarının artması sebebiyle hava kirliliği sorunu büyümektedir. Benzinli ve dizel araçların atmosfere saldırdığı kirletici emisyonları özellikle büyük kent merkezlerinde çevre ve halk sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Taşıtların kirletici emisyonlarını azaltmak ya da önlemek için, egzoz emisyon ölçümlerinin ve araç bakım ve onarımlarının zamanında yapılması, temiz yakıt kullanılması, periyodik araç muayenelerinin yapılması, araç kapasitesinin üzerinde yük ve yolcu taşınmaması ve toplu taşımanın teşvik edilmesi gerekmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

1.3.3 Endüstri Kaynaklı Hava Kirliliği

Sanayi ve enerji üretim tesislerinin faaliyeti sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonlar sebebiyle sanayi kaynaklı hava kirliliği olmaktadır. Bu emisyonları kontrol altına almak için, temiz yakıt ve hammadde kullanımının teşvik edilmesi, kirliliğin kaynağında yok edilmesini sağlayan teknolojilerin kullanımı, yeterli yükseklikte baca inşa edilmesi ve bacalarda filtrelerin kullanılması, arıtma tesislerinin kurulması, fabrikaların yerleşim yerleri dışında inşa edilmesi ve çalışanlara çevre konusunda gerekli eğitimlerin verilmesi gerekmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

1.4 Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler

Kirleticilerin varlığı (endüstriyel faaliyetler, yakıt kalitesi, nüfus artışı vb.), topoğrafya ve meteorolojik faktörler (sıcaklık, rüzgar, nem, yağış, karışım yüksekliği, enverziyon vb.) özellikle kentlerde hava kirliliğine sebep olmaktadır.

1.4.1 Meteorolojik faktörler

Meteorolojik parametreler, hava kirleticilerinin taşınımında ve dağılımında rol oynamaktadır. Ayrıca, hava kirleticilerinin konsantrasyon değerlerini ve atmosferde kalma sürelerini de etkilemektedir. Hava kalitesinin düşük olduğu zamanlarda meteorolojik parametrelerin de (sıcaklık, rüzgar, nem, basınç, yağış) etkisi önem arz etmektedir. Hava sıcaklığının yüksek olduğu günlerde, genellikle partikül madde konsantrasyonu artmaktayken, yağış partikül madde konsantrasyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca rüzgar hızı da, hava kirleticilerini dağılımında ve taşınımında önemli rol oynamaktadır. Meteorolojik parametreler arasında en önemlilerin biri olan sıcaklık enverziyonlarının (sıcaklık terselmesi) görüldüğü günlerde, partikül maddelerin yukarı yönlü hareket etmesi engellenmekte olup, yatay yönlü hareketlerin de azalmasından ötürü kirletici konsantrasyonları artmaktadır.

1.4.2 Topoğrafik Faktörler

Meteorolojik parametrelerin yanı sıra, topoğrafik faktörler de hava kirleticilerinin dağılımını etkilemektedir. Topoğrafyanın yükseltisi ve şekli kirleticilerin bölge üzerinde kalma sürelerini etkilemektedir.

1.5. Hava Kirliliği Parametreleri

Çevreyi ve halk sağlığını korumak için DSÖ, AB ve çeşitli ülkeler tarafından hava kirleticileri için limit değerler belirlenmiştir. PM₁₀ konsantrasyonunun 24 saatlik ortalama limit değeri DSÖ için 45 µg/m³ ve AB için 50 µg/m³tür (AB, 2008/50/EC; DSÖ, 2021). Türkiye'de PM₁₀ limit değerleri, 2008 yılından itibaren kademeli olarak düşürülerek 2019 yılında AB'nin belirlemiş olduğu limit değerlerle eşitlenmiştir (Çizelge 1.1). PM_{2.5}, AB ve DSÖ tarafından en tehlikeli hava kirleticilerinden biri olarak kabul edilmektedir. DSÖ günlük PM_{2.5} limit değerini 15 µg/m³ olarak belirlemiştir. Ancak Türkiye'de bu kirleticisi için yasal bir limit değeri belirlenmemiştir. Ayrıca günlük ortalama PM₁₀ değerinin (50 µg/m³) 1 yılda sadece 35 kere aşılabilesine izin verilmektedir. 35 günden daha fazla aşılması durumunda acil önemlerin alınması gerekmektedir. Ancak Türkiye'de bu limit değeri, izin verileden çok daha fazla aşılmakta olup, maalesef herhangi bir önlem alınmamaktadır.

Çizelge 1.1: Türkiye PM₁₀ Limit Değerleri

Yıl	PM ₁₀ Ölçüm Periyodu	
	24 Saatlik Ortalama (µg/m ³)	Yıllık Ortalama (µg/m ³)
2009	300	150
2010	260	132
2011	220	114
2012	180	96
2013	140	78
2014	100	60
2015	90	56
2016	80	52
2017	70	48
2018	60	44
2019	50	40

Kaynak: (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

DSÖ, AB ve Türkiye'nin belirlediği 2022 yılı günlük ve yıllık PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri Çizelge 1.2'de gösterilmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinin, 2023-2024 yıllarında DSÖ'nün limit değerlerini uygulamaya koymas beklenmektedir (Karamfilova, 2021).

Çizelge 1.2: 2022 Yılı Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Partikül Madde Limit Değerlerinin Karşılaştırılması

Kirletici	DSÖ 2022 Yılı Kılavuz Değerleri (µg/m³)	AB 2022 Yılı Limit Değerleri	Türkiye 2022 Yılı Limit Değerleri
PM_{2.5} (24 saatlik ortalama)	15	-	-
PM_{2.5} (Yıllık değer)	5	25	-
PM₁₀ (24 saatlik ortalama)	45	50	50
PM₁₀ (Yıllık değer)	15	40	40

Kaynak: (DSÖ, 2022)

Otoriteler hava kalitesinin iyileştirilmesi ve korunmasını sağlamakla sorumludur. Aynı zamanda kamuoyuna hava kirliliği ile ilgili bilgileri sunmaları gerekmektedir. Ancak kirleticilerin ölçüm sonuçlarını anlamak halk ve yerel otoriteler için zor olabilmektedir. Bu nedenle, hava kalitesini kamuoyuna paylaşırken halkın kolaylıkla anlayabileceği bir sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. EPA'nın geliştirdiği, tüm dünyada yaygın olarak kullanılan hava kalitesi indeks değerleri (HKİ) Türkiye'deki mevzuata ve limit değerlere uyarlanarak oluşturulmuştur. Hava kalitesi indeks değerleri hesaplanırken, 5 temel kirletici olan partikül maddeler (PM), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂) ve ozon (O₃) esas alınmıştır. Çizelge 1.3'te belirtildiği gibi hava kalitesini iyi, orta, kötü, tehlikeli vb. şekilde derecelendirme yapılmaktadır. Yeşil renk, hava kalitesinin iyi olduğunu, sarı renk özellikle kronik rahatsızlığı olanlar, yaşlılar, çocuklar gibi grupların hava kirliliğinde olumsuz yönde etkilenebileceğini, turuncu renk hassas gruplar için hava kirliliği maruziyeti sonucunda sağlık riski oluşabileceğini, kırmızı renk toplumun tüm

kesiminin hava kirliliğinden olumsuz yönde etkilenebileceğini, mor renk sağlık için acil durum oluşturabileceğini, kahverengi renk ise sağlık alarmı verilmesi gerektiğini belirtmektedir. İndeks değerleri farklı tanım ve renkler kullanılarak açıklanmaktadır. Ayrıca ölçümü yapılan her kirleticisi için ayrı ayrı düzenlenmektedir.

Çizelge 1.3: EPA Hava Kalitesi İndeks Değerleri

Hava Kalitesi İndeksi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sağlık Endişe Seviyeleri	Renkler	Anlamı
0-50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi memnun edici ve hava kirliliği az riskli veya hiç risk teşkil etmiyor.
51 - 100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat alışılmadık şekilde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıdaki insanlar için bazı kirlleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir.
101- 150	Hassas	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kammun etkilenmesi olası değildir.
151 - 200	Sağlıksız	Kırmızı	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir, hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201 - 300	Kötü	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenme olasılığı yüksektir.
301 - 500	Tehlikeli	Kahverengi	Sağlık alarmı. Herkes daha ciddi sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

Kaynak: (T.C. Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

Çizelge 1.4'te SO_2 , NO_2 , CO , O_3 ve PM_{10} değerleri için Ulusal Hava Kalitesi İndeks değerleri gösterilmektedir. Kirleticiler iyi, orta, hassas, sağlıksız, kötü ve tehlikeli olarak sınıflandırılmaktadır. 24 saatlik ortalama PM_{10} değeri, $0-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasındaysa iyi, $51-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ise orta, $101-260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasındaysa hassas, $261-400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arası sağlıksız, $401-520 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında kötü, $>521 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ise tehlikeli olarak tanımlanmaktadır.

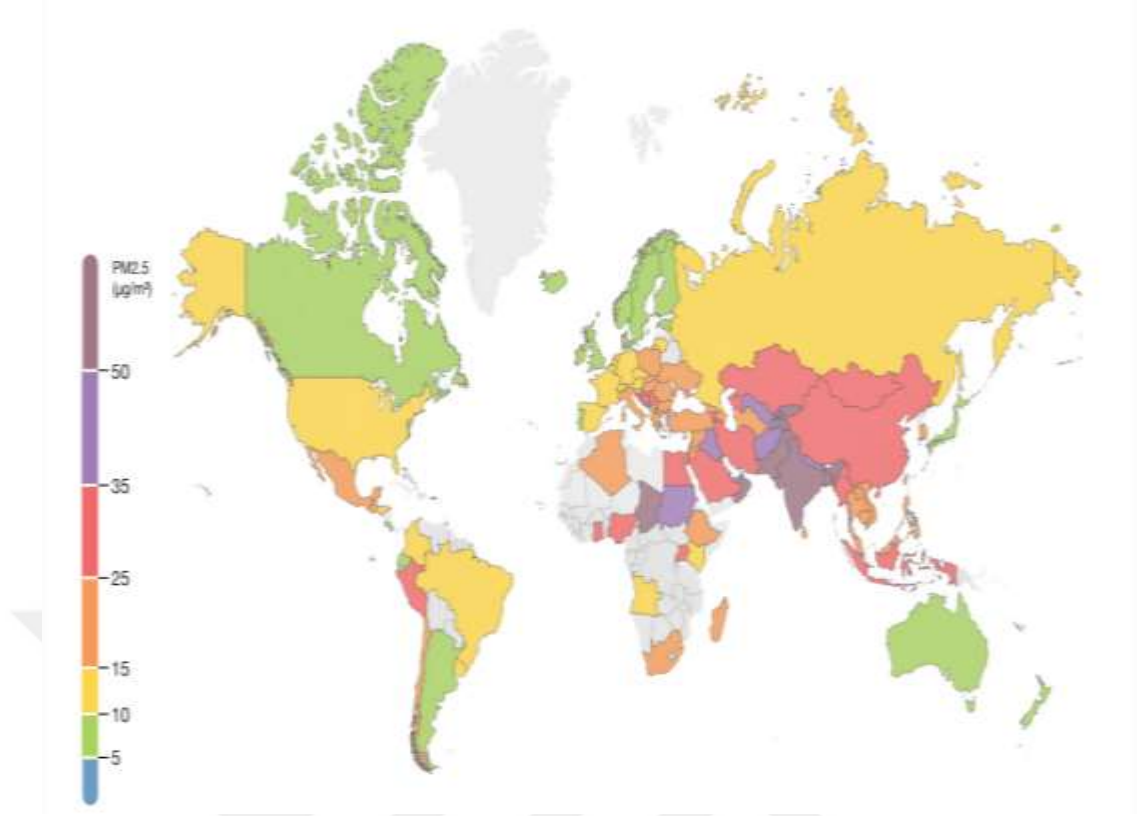
Çizelge 1.4: Ulusal Hava Kalitesi İndeks Değerleri

İndeks	HKİ	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
		1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0 – 50	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
Orta	51 – 100	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100
Hassas	101 – 150	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
Sağlıksız	151 – 200	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
Foto	201 – 300	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
Çok Foto	301 – 500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

Kaynak: (T.C. Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

1.6 Dünya’da ve Türkiye’de Hava Kirliliği

Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların artması, ısınma kaynaklı yakıt tüketimi gibi antropojenik faaliyetler sebebiyle özellikle büyük şehirlerde hava kalitesi azalmaktadır. DSÖ yıllık ortalama PM_{2.5} değerini 5 µg/m³ olarak belirlemiştir. Ancak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemeyen bir limit değer olmadığını belirtmiştir (DSÖ, 2021). 2021 yılı ortalama PM_{2.5} değerinin ülkelere göre dağılımı Şekil 1.2’de gösterilmektedir.

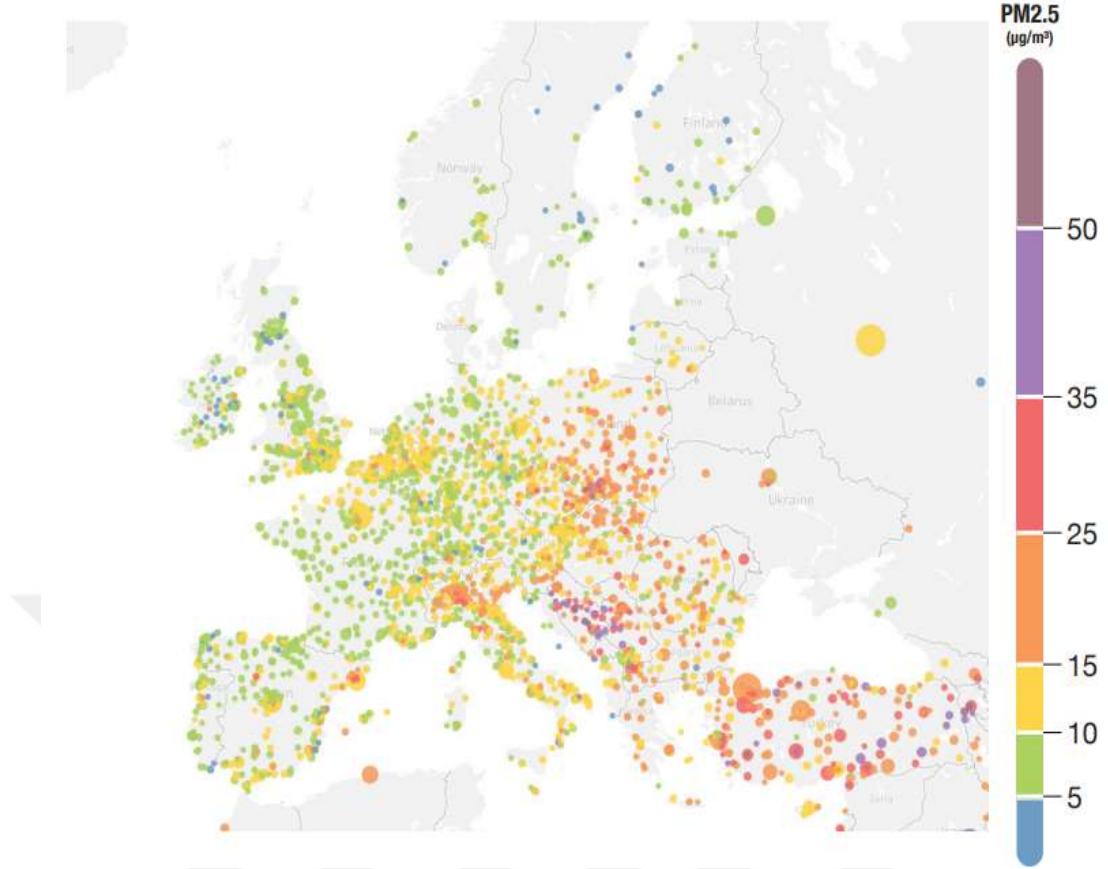


Şekil 1.2: 2021 yılı ortalama PM_{2.5} değerinin ülkelere göre dağılımı

Kaynak: (IQAIR, 2021)

Şekilde gri renk ile gösterilmekte olan ülkeler, 2021 yılında yeterli PM_{2.5} verisine sahip değildir. ABD, Çin ve Japonya, en kapsamlı hava kalitesi izleme ağlarına sahip olup, sürekli bu verileri paylaşmaktadır. Afrika ile Güney Amerika kıtalarında yer alan bazı bölgelerde hava kalitesi verileri kısıtlı olmaktadır.

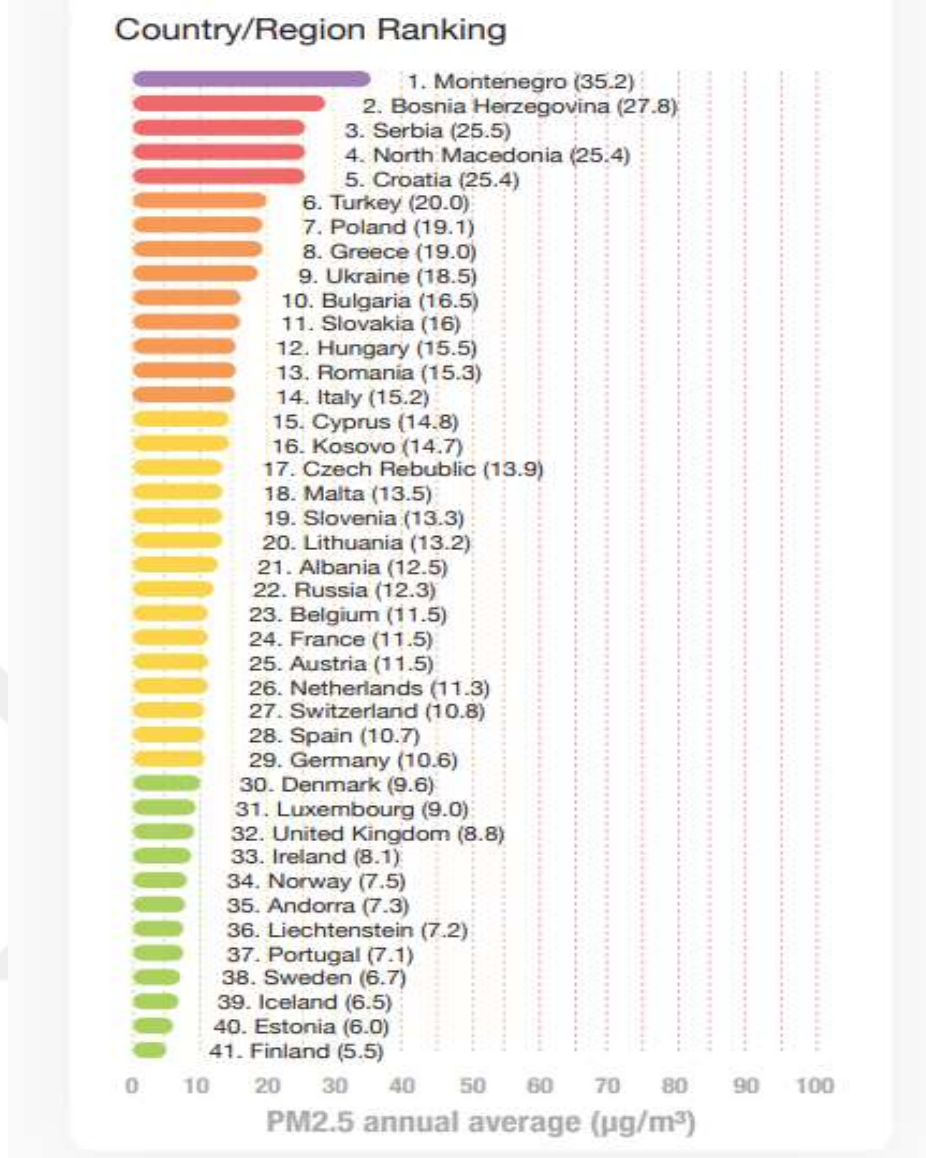
Şekil 1.3'te ise, 2021 yılı ortalama PM_{2.5} değerinin Avrupa kıtasında yer alan ülkelere göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 1.3: 2021 yılı ortalama PM_{2.5} değerinin Avrupa kıtasında yer alan ülkelere göre dağılımı

Kaynak: (IQAIR, 2021)

Avrupa kıtasında yer alan ülkelerin ortalama PM_{2.5} değerleri incelendiğinde, Türkiye 41 ülke içerisinde ortalama 20 µg/m³ değeri ile 6. sırada yer almaktadır. Karadağ ortalama 35.2 µg/m³ değeri ile en kirli ülke olurken, Finlandiya ortalama 5.5 µg/m³ değeri ile en düşük PM_{2.5} değerine sahiptir (Şekil 1.4).

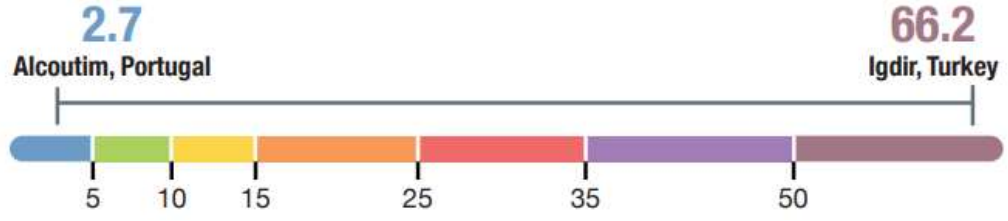


Şekil 1.4: 2021 yılı Avrupa kıtasında yer alan ülkelerin ortalama PM_{2.5} değerleri

Kaynak: (IQAIR, 2021)

DSÖ'nün PM_{2.5} için önerdiği kılavuz değerini 2021 yılında şehirlerin %2,7'si karşılamıştır.

Şekil 1.5'te gösterilen 2021 yılı Avrupa kıtasında yer alan şehirlerin yıllık ortalama PM_{2.5} değer aralığı incelendiğinde, 66.2 µg/m³ ile en düşük hava kalitesine Türkiye'de yer alan Iğdır ilinin, en iyi hava kalitesine ise, 2.7 µg/m³ ile Portekiz'de yer alan Alcoutim şehrinin sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1.5: 2021 Yılı Avrupa Kıtasında Yer Alan Şehirlerin Yıllık Ortalama PM_{2.5} Değer Aralığı

Kaynak: (IQAIR, 2021)

Şekil 1.6’da 2021 yılında Avrupa kıtasında yer alan şehirlerin hava kalitesi incelendiğinde, ilk sırada 66.2 µg/m³ ile Türkiye’den Iğdır ili, 6.sırada ise 44.4 µg/m³ ile Düzce ili de yer almaktadır.

Rank	City	2021
1	 Iğdir, Turkey	66.2
2	 Krasnoyarsk, Russia	49.8
3	 Novi Pazar, Serbia	47.2
4	 Foca, Bosnia Herzegovina	46
5	 Duzce, Turkey	44.4
6	 Laktasi, Bosnia Herzegovina	42.8
7	 Polistena, Italy	42.6
8	 Prijedor, Bosnia Herzegovina	42.2
9	 Cacak, Serbia	41.5
10	 Mala Kladusa, Bosnia Herzegovina	38.7
11	 Orzesze, Poland	38.2
12	 Trn, Bosnia Herzegovina	37.2
13	 Lukavac, Bosnia Herzegovina	37
14	 Doboј, Bosnia Herzegovina	37
15	 Ceglie Messapica, Italy	36.6

Şekil 1.6: 2021 Yılı Avrupa Kıtasında Yer Alan Hava Kalitesi En Düşük Şehirlerin Sıralaması

Kaynak: (IQAIR, 2021)

Şekil 1.7’de 2021 yılında Avrupa kıtasında yer alan şehirlerin hava kalitesi incelendiğinde, 2.7 µg/m³ ile Portekiz’de yer alan Alcoutim şehriden sonra Salao (2.7 µg/m³) ve Finlandiya’da yer alan Muonio (2.9 µg/m³) şehirlerinin en iyi hava kalitesine sahip olduğu görülmektedir.

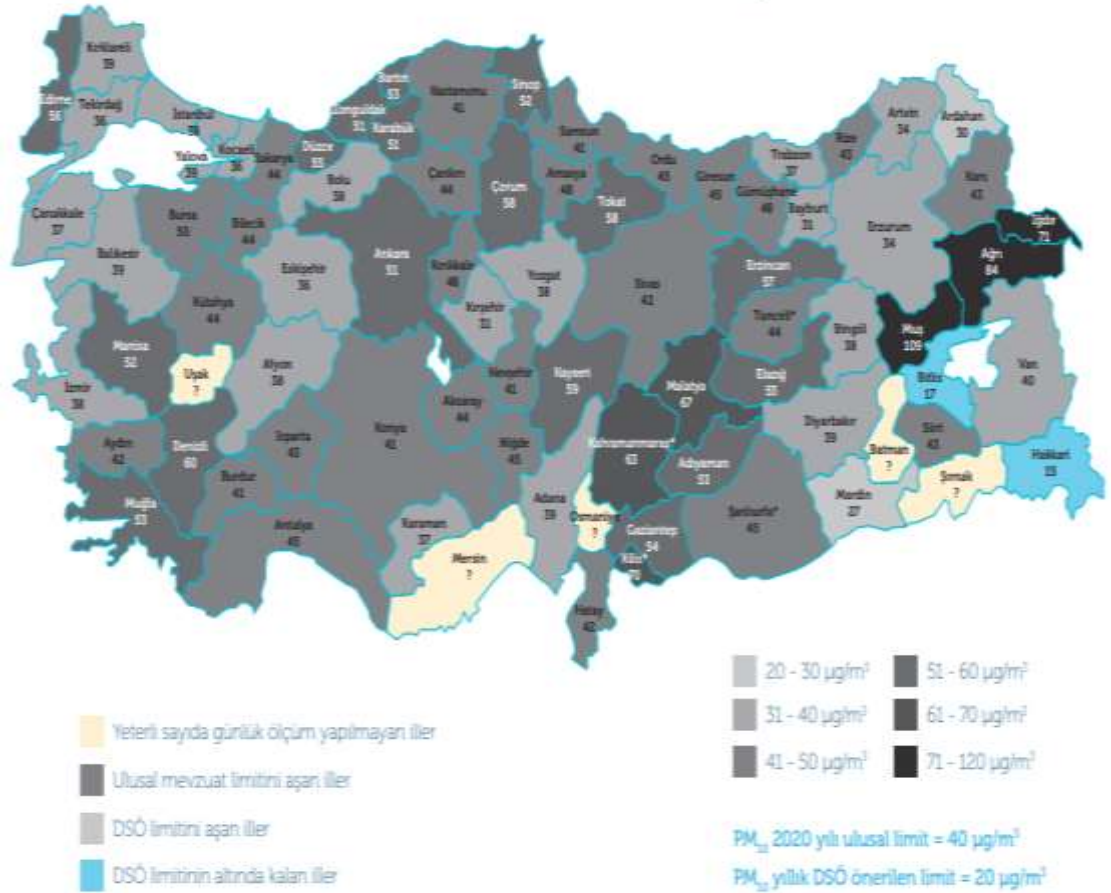
Rank	City	2021
1	 Alcoutim, Portugal	2.7
2	 Salao, Portugal	2.8
3	 Muonio, Finland	2.9
4	 Corfu, Greece	3.1
5	 Saransk, Russia	3.1
6	 Albalat dels Tarongers, Spain	3.2
7	 Alta, Norway	3.3
8	 Bredkalen, Sweden	3.4
9	 Vladivostok, Russia	3.4
10	 Bodo, Norway	3.7
11	 Faro, Portugal	3.7
12	 Vaasa, Finland	3.8
13	 Saint-Joseph, France	3.8
14	 Korsholm, Finland	3.9
15	 Midlothian, United Kingdom	4

Şekil 1.7: 2021 yılı Avrupa kıtasında yer alan hava kalitesi en iyi şehirlerin sıralaması

Kaynak: (IQAIR, 2021)

Türkiye’de nüfus artışı, sanayileşme, ulaşım ve kentleşmeye paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması için, 1950’li yıllardan sonra fosil yakıt tüketiminin artması sonucu başta İstanbul, İzmir, Ankara gibi büyükşehirler olmak üzere hava kalitesinde önemli düşüşler yaşanmıştır. 1990’lı yıllarda kalitesiz yakıt tüketimi, sanayileşme ve ulaşım gibi sebeplerle özellikle kış mevsiminde hava kirliliği giderek artmıştır. 1992 yılında itibariyle İstanbul’da doğal gazın kullanılmaya başlamasıyla kentin hava kalitesi iyileşmeye başlamıştır ancak istenen seviyelerde düzelmeye meydana gelmemiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2010).

Türkiye’de 2020 yılında ölçülen partikül madde değerlerinin mekansal dağılımı Şekil 1.8’de gösterilmektedir. 2020 yılında 51 ilde PM₁₀ ölçümü yeterli sayıda yapılmıştır. 152 istasyonda ise yeterli ölçüm yapılamamıştır. DSÖ’nün önerdiği limit değeri altında kalan il sayısı sadece iki (Bitlis ve Hakkari) olup, bu değer üzerindeki istasyon yüzdesi %98 oranında olmuştur. Türkiye’de yıllık ortalama PM₁₀ değeri 40 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Bu değere göre, limit değerin üzerinde ölçülen il sayısı 45’tir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 24 saatlik ortalama PM₁₀ değerinin limit değeri olarak belirtilen 50 µg/m³ değerinin bir yılda en fazla 35 defa aşılabileceğini belirtmektedir. Ancak yeterli sayıda ölçüm yapılan istasyonların %67’sinde yıl içerisinde 35’ten fazla günde bu değer aşılmıştır.

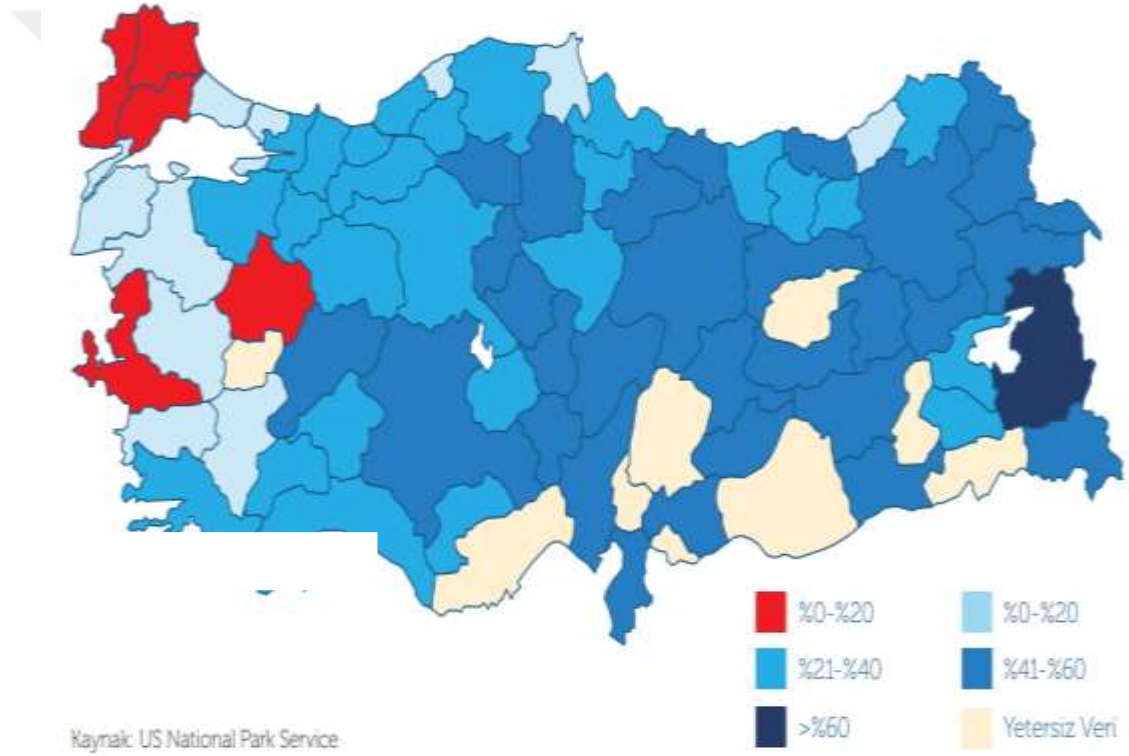


Şekil 1.8: 2020 Yılı Ortalama PM₁₀ Değerlerinin Mekansal Dağılımı

Kaynak: (Kara Rapor, 2021)

2019 yılında yaşanan COVID-19 pandemisi sebebiyle vaka artışlarının önüne geçmek için çeşitli önlemler alınarak topluluk hareketliliği %75 oranında azaltılmıştır (Sputnik Haber Ajansı, 2021). Hareketliliğin azalması sonucu, ulaşımda

kullanılan fosil yakıt tüketiminin azalmasına bağı olarak hava kalitesinde iyileşme görülmüştür. Türkiye’de COVID-19 pandemisi öncesi ve sonrasında ölçülen ortalama PM_{10} konsantrasyonunun değişimi Şekil 1.9’da gösterilmektedir. Türkiye’de COVID-19 pandemisine yönelik olarak önlemlerin alındığı 15 Mart 2020 tarihinden 15 gün önce ve sonra ölçülen ortalama PM_{10} değerleri incelendiğinde, alınan önlemlerle birlikte trafik kaynaklı emisyonların ve endüstriyel faaliyetlerin azalması sonucu hava kalitesinde iyileşme yaşanmıştır ancak bu iyileşme kısa süreli olmuştur. Kırklareli, Edirne ve Tekirdağ, Kütahya ve İzmir çevresinde ise alınan önlemlere rağmen ortalama PM_{10} değerlerinde %2 ile %15 arasında artış yaşanmıştır (Kara rapor, 2021).



Şekil 1.9: Türkiye’de COVID-19 Pandemisi Öncesi ve Sonrasında Ölçülen Ortalama PM_{10} Konsantrasyonlarının Değişimi

Kaynak: US National Park Service, (2021)

2020 yılında 39 ilde ve 74 istasyonda %90 ve üzeri $PM_{2.5}$ ölçümü yapılmıştır. Şekil 1.10’da $PM_{2.5}$ değerlerinin mekansal dağılımı görülmektedir. $PM_{2.5}$ kirleticisi kanserojen olmasına rağmen, bu kirletici için Türkiye’de belirlenmiş herhangi bir limit değer bulunmamaktadır. Yeterli ölçüm yapılan istasyonlar arasından sadece

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı

Marmara Bölgesi sanayi, ticaret ve turizm açısından Türkiye'nin en gelişmiş bölgelerinden biridir. Bu sebeple, Marmara Bölgesi hava kirliliği gibi çevre ve halk sağlığını tehdit eden çevresel sorunlarla daha fazla yüzleşmektedir. Bu çalışma, nüfusun ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun ve trafik kaynaklı emisyonların yüksek olduğu Marmara Bölgesi'nde yer alan İstanbul ilinin Silivri ve Ümraniye ilçelerinde gerçekleştirilmiştir.

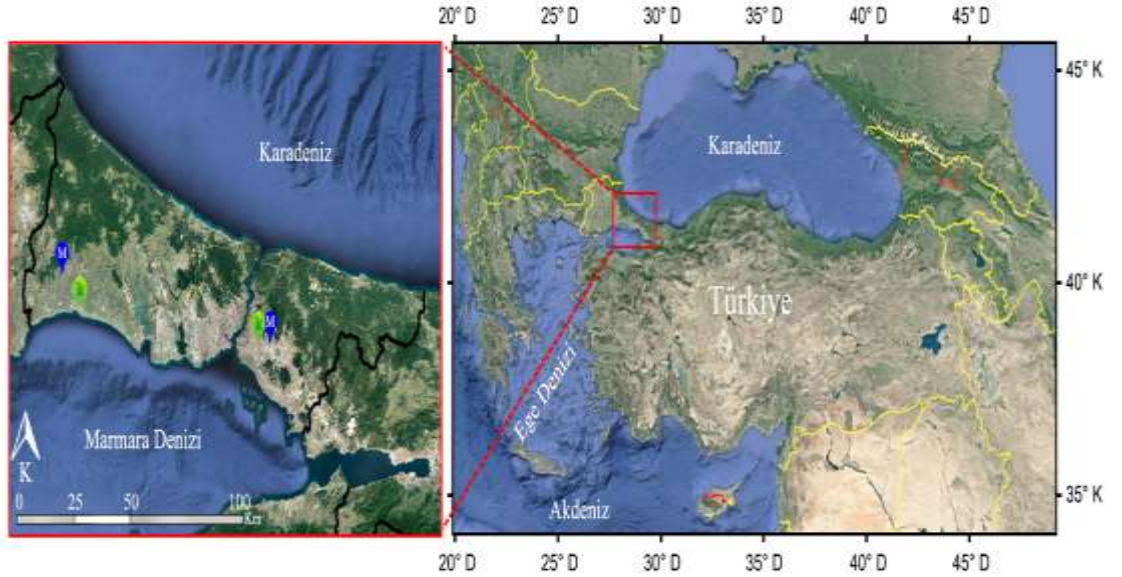
İstanbul, Asya ve Avrupa kıtalarında yer almaktadır. Karadeniz ile Akdeniz arasında geçiş iklimine sahiptir (İl Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü, 2022). İstanbul'da yer alan Ümraniye ilçesinin sıcaklık değerleri incelendiğinde, en yüksek ortalama sıcaklık 23 °C ile yaz aylarında, en düşük ortalama sıcaklık ise 6.2 °C ile kış aylarında ölçülmektedir. Ortalama sıcaklıklar sonbahar mevsiminde 16.4 °C, ilkbahar mevsiminde ise, 12.9 °C olarak ölçülmüştür. Silivri ilçesi incelendiğinde ise, en yüksek ortalama sıcaklık 22.6 °C ile yaz mevsiminde, en düşük ortalama sıcaklık ise, 5.7 °C ile kış mevsiminde ölçülmüştür. Ortalama sıcaklık sonbaharda 15.9 °C iken, ilkbahar mevsiminde 12.6 °C olarak ölçülmüştür. Ümraniye ilçesinin yağış verileri incelendiğinde ise, en yüksek toplam yağış 2179 mm ile kış mevsiminde ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde 1331 mm, ilkbahar mevsiminde 1000 mm ve yaz mevsiminde ise 911 mm ölçülmüştür. Silivri ilçesindeki veriler incelendiğinde ise, en yüksek toplam yağış 1219 mm ile kış mevsiminde, daha sonra 1082 mm ile sonbahar, 960 mm ile ilkbahar ve 807 mm ile yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. İki ilçe yağış açısından karşılaştırıldığında Ümraniye ilçesi Silivri ilçesine göre daha fazla yağış almaktadır. İstanbul ilinin rüzgar gülü grafiği incelendiğinde ise, hakim rüzgar yönü kuzeydoğu, ikinci hakim rüzgar yönü ise güneybatı olarak bulunmuştur.

İstanbul ili Marmara Bölgesi'nde (Türkiye'nin kuzeybatısı) yer alan, yaklaşık 16 milyon nüfusa sahip Türkiye'nin en kalabalık ilidir (TUİK, 2021). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün açıkladığı verilere göre, İstanbul ili hava kalitesinin en düşük

olduğu iller arasında yer almaktadır. İstanbul'da özellikle ulaşım, kömür tüketimi ve kentsel dönüşüm faaliyetleri gibi nedenlerle şehrin hava kalitesi azalmakta, çevre ve halk sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir. Nüfus artışı, betonlaşma, doğanın tahrip edilmesi, toplu taşıma yerine bireysel taşıt kullanımının teşvik edilmesi ile İstanbul ilindeki hava kirliliği problemi kronikleşmektedir. Bu çalışmaya, İstanbul'da hava kirliliğinin en fazla olduğu ilçelerden biri olan Ümraniye ilçesi ve veri setinin fazla olduğu Silivri ilçesi dahil edilmiştir.

2.2 Hava Kalitesi ve Meteorolojik Veriler

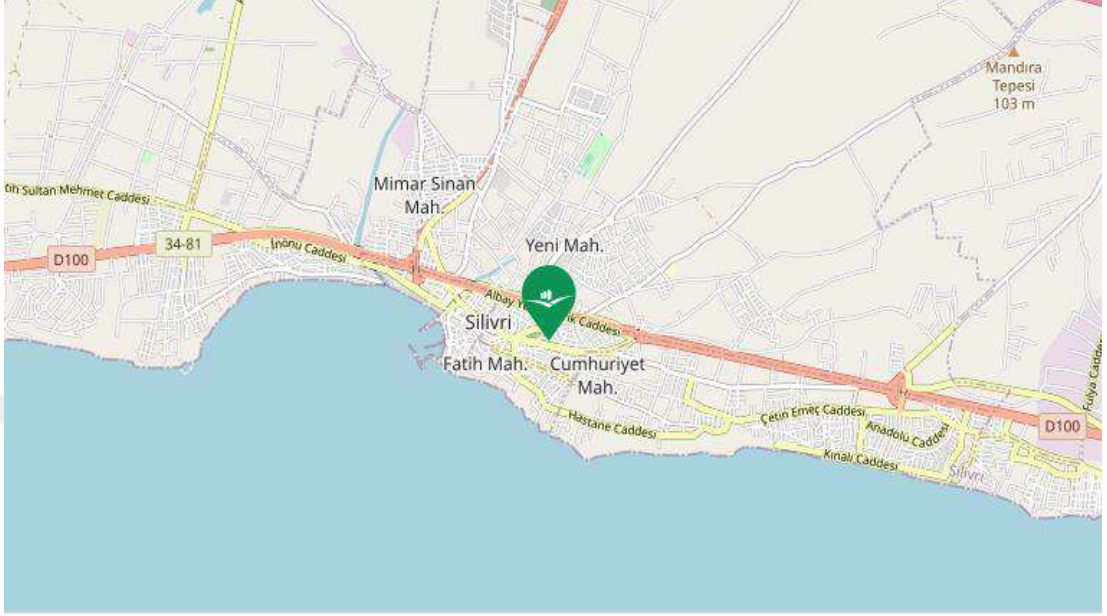
İstanbul ilinde ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerlerini incelemek amacıyla, Silivri ve Ümraniye Hava kalitesi istasyonlarında ölçülen saatlik partikül madde değerleri, 1 Ocak 2014-31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki dönem için Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı veri tabanından ve hava kalitesi istasyonlarına en yakın meteoroloji istasyonlarından saatlik rüzgar hızı (m/s), rüzgar yönü, sıcaklık ($^{\circ}C$), minimum sıcaklık (Tmin), maksimum sıcaklık (Tmax), yağış (mm) ve bağıl nem verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının ve meteoroloji istasyonlarının konumları Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Silivri ve Ümraniye Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonlarının (Yeşil Noktalar) ve Meteoroloji İstasyonlarının (Mavi Noktalar) Harita Üzerindeki Konumları

Kaynak: Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA), (2021)

Silivri ilçesine hava kirliliğinin tespiti amacıyla kurulmuş olan hava kalitesi ölçüm istasyonunun harita üzerindeki konumu Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Silivri Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Harita Üzerindeki Konumu

Kaynak: UHKİA, (2021)

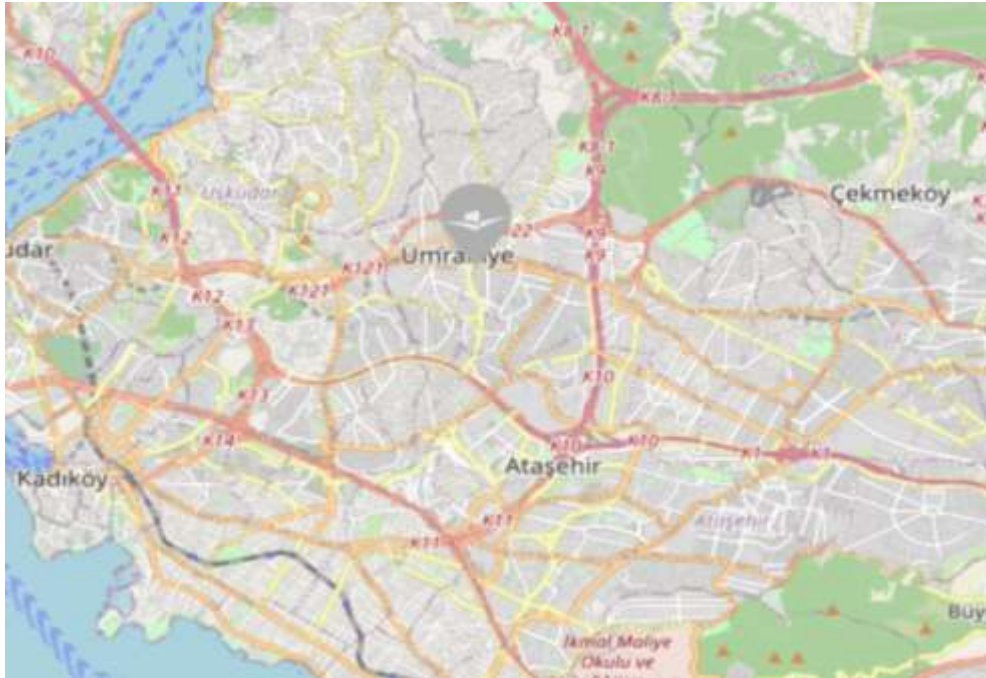
Silivri ve Ümraniye’de yer alan hava kalitesi ölçüm istasyonları T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 01 Mart 2013 yılında kurulmuştur, bu sebeple çalışmaya 2013 yılından sonra ölçülen partikül madde verileri dahil edilmiştir. Bu istasyonlara ait bilgiler Şekil 2.3 ile Şekil 2.5’te verilmektedir.



Şekil 2.3: Silivri Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Bilgileri

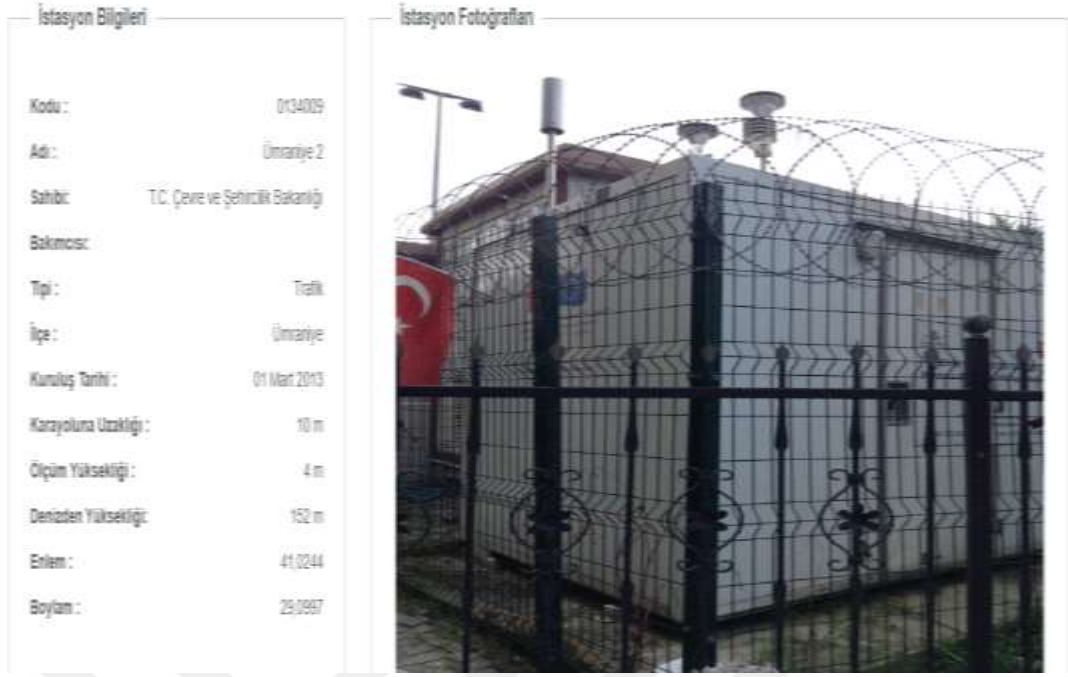
Kaynak: UHKİA, (2021)

Ümraniye ilçesinde yer alan hava kalitesi ölçüm istasyonunun harita üzerindeki konumu Şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Ümraniye Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Harita Üzerindeki Konumu

Kaynak: UHKİA, (2021)



Şekil 2.5: Ümraniye Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunun Bilgileri

Kaynak: UHKİA, (2021)

Hava kalitesi izleme istasyonları, tam otomatiktir ve saatlik $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları Beta Işını Absorpsiyon Yöntemi (BAM) ile ölçülmektedir (TIQR 2010: no. 01 TR/07/IB/EN/02).

Partikül madde konsantrasyonları, meteorolojik parametrelere (sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, bağıl nem, yağış, basınç ve karışım yüksekliği) bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, Silivri ve Ümraniye istasyonlarında ölçülen saatlik rüzgar hızı (m/s), rüzgar yönü, sıcaklık, minimum sıcaklık (T_{min}), maksimum sıcaklık (T_{max}), toplam yağış ve bağıl nem parametrelerinin partikül madde değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2.3 İstatistiksel Analiz

$PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler (rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, toplam yağış ve bağıl nem) arasındaki ilişki korelasyon katsayısı ile hesaplanmıştır. Ayrıca, partikül madde değerlerinin trendi Mann-Kendall testi ile analiz edilmiştir. Mann-Kendall trend analizi ve korelasyon katsayıları, kutupsal çizim grafikleri ve diurnal grafikleri, R versiyon 3.1.2 (R Core Team, 2015) kullanılarak yapılmıştır.

2.3.1 Trend Analizi

Trend analizi, bir zaman serisinin değerlerinde zamana bağlı anlamlı bir azalış ya da artış olup olmadığını ortaya koyan çalışmalardır. Bu analiz, parametrik test ve parametrik olmayan test olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada partikül madde değerlerinde anlamlı bir azalış ya da artış olup olmadığı non-parametrik testlerden olan Mann-Kendall Testi (Mann 1945; Kendall 1975) ile hesaplanmıştır. Mann-Kendall testi, meteorolojik, hidrolojik ve klimatolojik zaman serilerinde sıklıkla kullanılan bir trend analiz yöntemidir.

Mann-Kendall testinde gerçek veri yerine, seri içindeki mertebesini ifade eden y_i değeri kullanılmaktadır. Her y_i değerinin önceki mertebelerden büyük olanları sayılarak n_i gibi bir sayı ile tanımlanmaktadır. n_i 'lerin toplamları hesaplanarak test istatistiği olan t_i değeri bulunmaktadır:

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (2.1)$$

Bu değerlerin ortalama ve varyansı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (2.2)$$

$$var t = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (2.3)$$

Mann-Kendall test istatistiği $u(t)$ aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır (Sneyers, 1990; Toros, 1993; Baltacı, 2019):

$$u(t) = [t - E(t)]/\sqrt{var t} \quad (2.4)$$

Zamanla bir değişimin olmadığı $u(t)$ 'nin sifıra yakın değerleri ile belirtilirken, $u(t)$ 'nin büyük değerleri değişim olduğunu göstermektedir. $u(t)$ 'nin pozitif ya da negatif yönde 1.96'yı geçmesi %95 güven aralığında trendin olduğunu göstermektedir. Diğer testlerde olduğu gibi (+) yönde geçmesi zamanla bir artışın olduğunu belirtirken, (-) yönde geçmesi zamanla bir azalışın olduğunu göstermektedir.

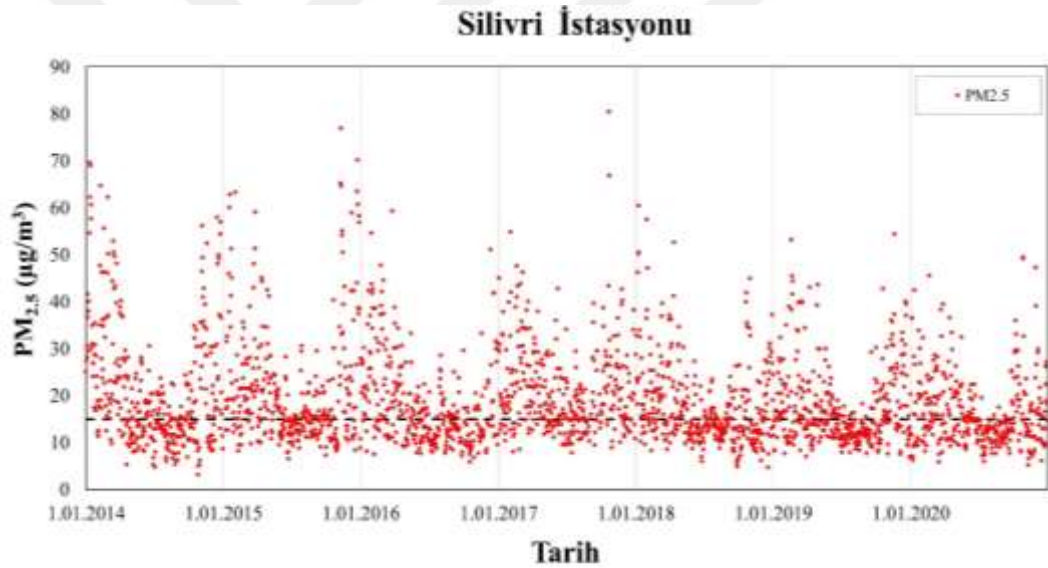
2.3.2 Korelasyon Analizi

Değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin gücünün ve yönünün belirlenmesi için, korelasyon analizi kullanılmaktadır. İlişkinin derecesini ve yönünü, r harfi ile gösterilmekte olan korelasyon katsayısı belirlemektedir. Korelasyon katsayısı, -1 ile $+1$ arasında değerler almaktadır (Lopez ve diğ., 2014). Bu değer $+1$ 'e yakın olması, iki değişken arasında pozitif yönde doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bu değer -1 'e yakın olması ise, değişkenlerden biri artarken, diğer değişkenin azaldığı negatif yönde bir ilişkinin olduğunu göstermektedir (Wetherill, 1981). Korelasyon katsayısının sıfıra yakın olması, iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığını ya da yok denecek kadar az olduğunu göstermektedir. (Lopez ve diğ., 2014).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 İstanbul'da Ölçülen Partikül Maddelerin Zamansal Değişimi

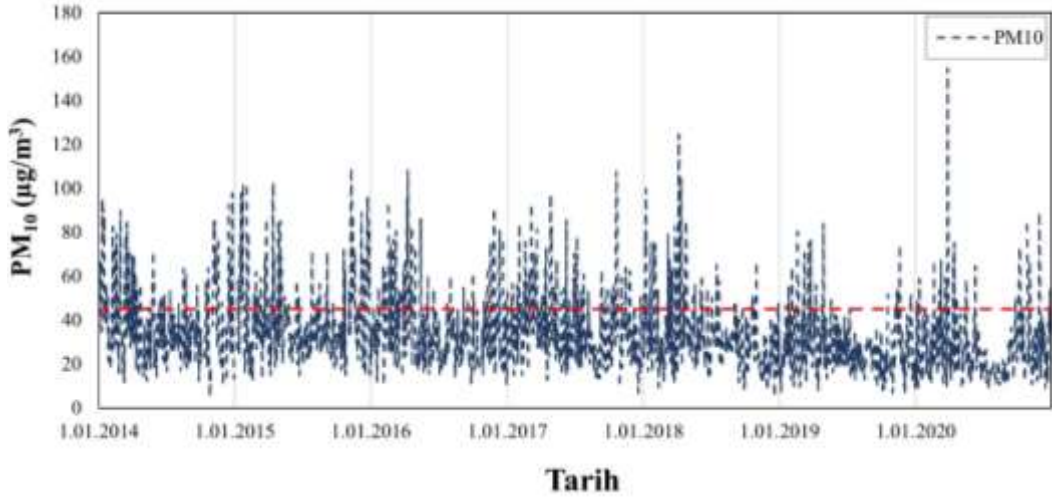
2014-2020 yılları arasında Silivri ve Ümraniye istasyonlarında ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kirleticilerinin günlük değişimleri Şekil 3.1'de görülmektedir. Silivri istasyonunda ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin günlük değişimleri incelendiğinde, DSÖ'nün belirlemiş olduğu günlük limit değerinin ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 1362 defa (%56) aşıldığı görülmektedir. Özellikle kış aylarında ölçülen $PM_{2.5}$ değeri DSÖ limit değerinin yaklaşık 5 katı değere kadar ulaşmaktadır.



Şekil 3.1: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen $PM_{2.5}$ Değerlerinin Günlük Değişimi

Şekil 3.2'de PM_{10} değerlerinin günlük değişimi incelendiğinde ise, $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenen günlük değerin 496 defa (%20) aşıldığı görülmektedir. $PM_{2.5}$ grafiğine benzer şekilde özellikle kış aylarında PM_{10} değeri yüksek ölçülmektedir. Kış mevsiminde partikül madde değerleri lokal emisyonlara (endüstriyel faaliyetler, ulaşım ve konut ısınması gibi) bağlı olarak artış göstermektedir (Kocak ve diğ., 2011; Markasis ve diğ., 2012; Kassomenos ve diğ., 2014; Baltacı ve diğ., 2019; Garcia ve diğ., 2019; Sindosi ve diğ., 2019).

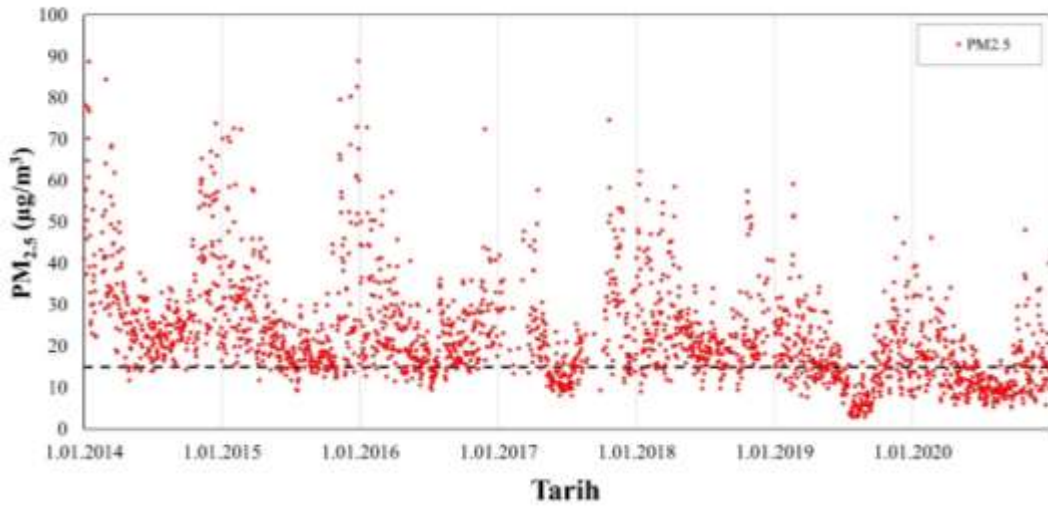
Silivri İstasyonu



Şekil 3.2: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM_{10} Değerlerinin Günlük Değişimi

Ümraniye istasyonunda ölçülen partikül madde değerlerinin günlük değişimleri incelendiğinde ise, limit değer 1671 defa (%74) aşıldığı görülmektedir. Özellikle kış mevsiminde ölçülen değer DSÖ limit değerinin yaklaşık 6 katına kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.3).

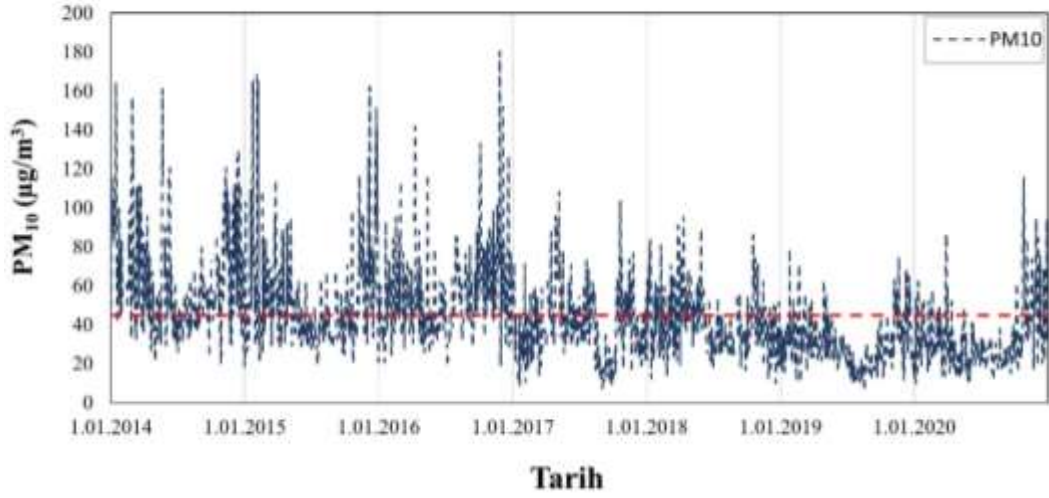
Ümraniye İstasyonu



Şekil 3.3: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen $PM_{2.5}$ Değerlerinin Günlük Değişimi

PM_{10} değerleri incelendiğinde ise, limit değer 965 defa (%40) aşıldığı görülmektedir. Ümraniye istasyonunda limit aşımının Silivri istasyonuna kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.4).

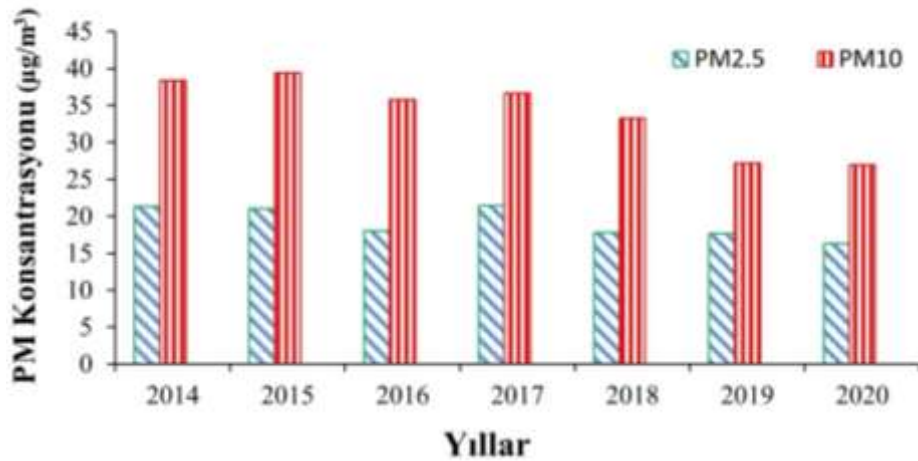
Ümraniye İstasyonu



Şekil 3.4: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM₁₀ Değerlerinin Günlük Değişimi

Silivri ve Ümraniye istasyonlarında ölçülen partikül maddelerin yıllık ortalama grafikleri incelendiğinde, PM_{2.5} değerlerinin DSÖ'nün yıllık ortalama kılavuz değerinin (5 µg/m³) oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, PM₁₀ değerlerinin DSÖ'nün yıllık ortalama kılavuz değerinin (15 µg/m³) oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Ancak, Silivri İstasyonunda ölçülen yıllık ortalama PM₁₀ değerleri Türkiye'nin belirlediği limit değerinin (40 µg/m³) altında kalmaktadır (Şekil 3.5). Ümraniye istasyonunda ise, 2014-2016 yılları arasında ve 2018 yılında limit değeri aşmıştır (Şekil 3.6).

Silivri İstasyonu



Şekil 3.5: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen Partikül Madde Değerlerinin Yıllık Değişimi



Şekil 3.6: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen Partikül Madde Değerlerinin Yıllık Değişimi

Silivri ilçesinde ortalama PM_{10} konsantrasyonu en yüksek ilkbahar mevsiminde $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüş olup, daha sonra kış aylarında $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sonbaharda $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve yaz aylarında $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür. Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu en yüksek kış mevsiminde $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Daha sonra, ilkbaharda $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sonbahar mevsiminde ise $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür. Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonu ise en düşük $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak yaz mevsiminde ölçülmüştür.

Ümraniye ilçesinde ölçülen partikül maddeler incelendiğinde, ortalama PM_{10} konsantrasyonu $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve ortalama $PM_{2.5}$ değeri $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile diğer çalışmalara benzer şekilde en yüksek kış mevsiminde ölçülmüştür (Baltacı ve diğ. 2019; García ve diğ. 2019; Sindosi ve diğ. 2019). İlkbahar mevsiminde ortalama PM_{10} değeri $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve ortalama $PM_{2.5}$ değeri $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Ortalama PM_{10} konsantrasyonu $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve ortalama $PM_{2.5}$ değeri $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en düşük yaz mevsiminde ölçülmüştür.

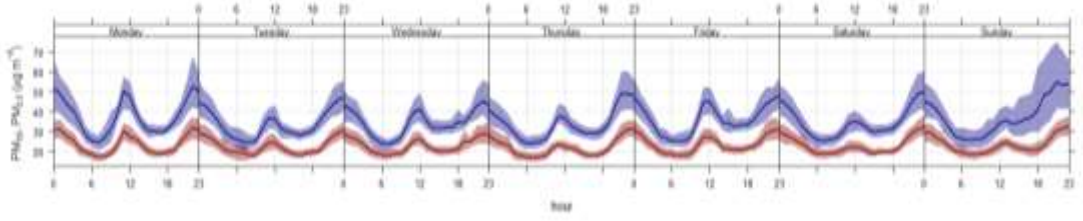
Hava kirliliği antropojenik faaliyetlerin yanında doğal kaynaklardan da etkilenmektedir. Türkiye, doğal kaynak olarak Orta Doğu ve Afrika kaynaklı çöl tozlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Özellikle Basra alçak basıncının daha etkili olduğu ilkbahar, sonbahar ve yaz mevsimlerinde toz taşınımından daha fazla etkilenmektedir (MGM, 2022). Ölçüm sonuçlarına göre, Ümraniye ilçesinde partikül madde seviyesinin Silivri ilçesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ümraniye ilçesinde ölçülen partikül madde konsantrasyonları Avrupa Birliği PM_{10} limit değerine ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) göre incelendiğinde, sonbahar verilerinin %37'si, kış verilerinin

%35'i, ilkbahar verilerinin %33'ü ve yaz verilerinin %15'i limit değeri aşmıştır. Öte yandan Silivri İstasyonunda ilkbahar verilerinin %22'si, kış verilerinin %18'i, sonbahar verilerinin %13'ü ve yaz verilerinin %6'sı limit değeri aşmıştır. Ayrıca, Ümraniye İstasyonunda en fazla limit değeri aşmaları sonbahar mevsiminde meydana gelirken, Silivri İstasyonunda en fazla ilkbahar mevsiminde limit değeri aşımı tespit edilmiştir.

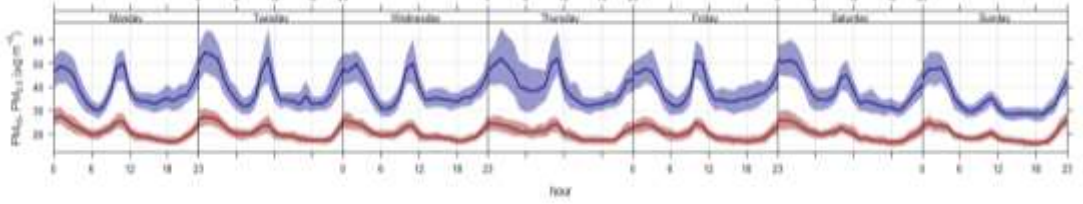
Silivri istasyonunda PM_{10} ve $PM_{2.5}$ 'un saatlik değerleri mevsimsel olarak incelendiğinde, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ artış ve azalışlarda benzer özellikler göstermektedir. En yüksek partikül madde değerleri, evsel ısınma gibi lokal faktörlere bağlı olarak kış mevsiminde ölçülmüştür. Kış aylarını incelediğimizde, kirletici değerleri öğlen saatlerinde ve akşam saatlerinde artış göstermektedir. Özellikle Pazar günleri saat 18:00'dan sonra trafik yoğunluğuna bağlı olarak kirletici konsantrasyonunda önemli bir artış olduğu görülmektedir. İlkbahar mevsiminde, saat 06:00'da en düşük değerler ölçülürken öğlen ve akşam saatlerinde artışlar yaşanmaktadır. En düşük partikül madde değerleri, yaz mevsiminde ölçülmektedir. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ değerleri daha uniform dağılmaktadır. Sonbahar mevsiminde ise, öğlen saatlerinde özellikle PM_{10} değerleri artış göstermektedir (Şekil 3.7).

Silivri İstasyonu

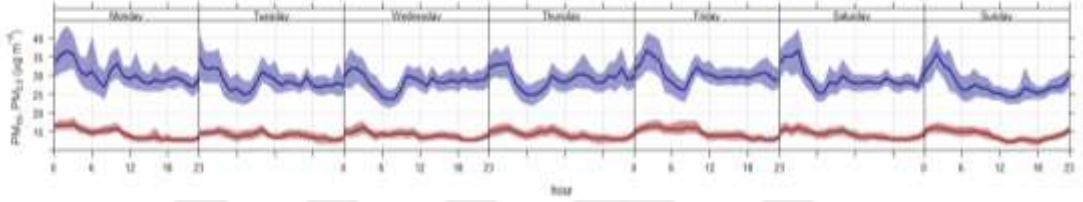
Kış Mevsimi



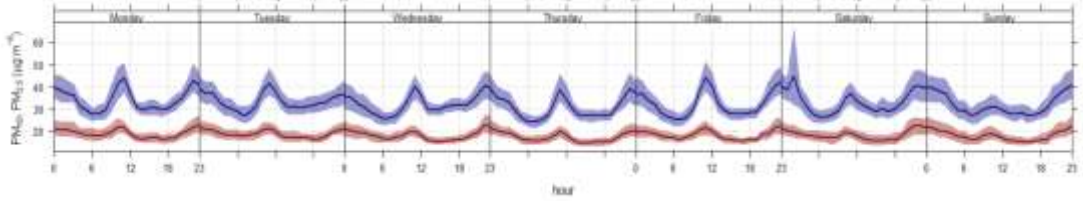
İlkbahar Mevsimi



Yaz Mevsimi



Sonbahar Mevsimi

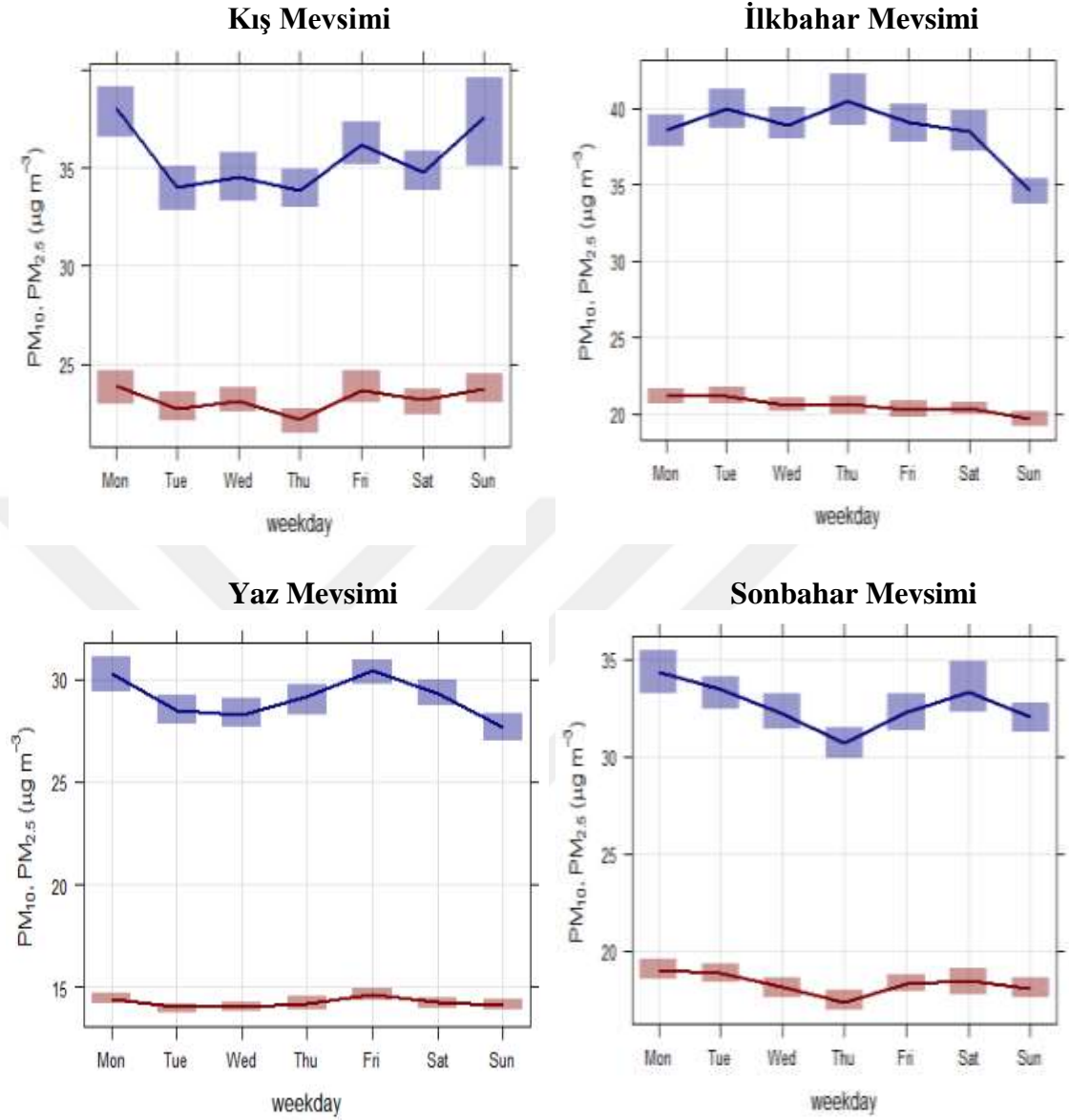


■ PM₁₀ ■ PM_{2.5}

Şekil 3.7: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM₁₀ and PM_{2.5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Saatlik Değişimi

Silivri istasyonunda ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} değerlerinin günlük değişimleri incelendiğinde ise, trafik yoğunluğuna bağlı olarak kış aylarında Pazar ve Pazartesi günlerinde daha yüksek ölçüldüğü Şekil 3.8’de görülmektedir. Ayrıca yaz mevsiminde Pazartesi ve Cuma, sonbahar mevsiminde ise Pazartesi ve Cumartesi günlerinde kirlilik artışı olduğu görülmektedir.

Silivri İstasyonu

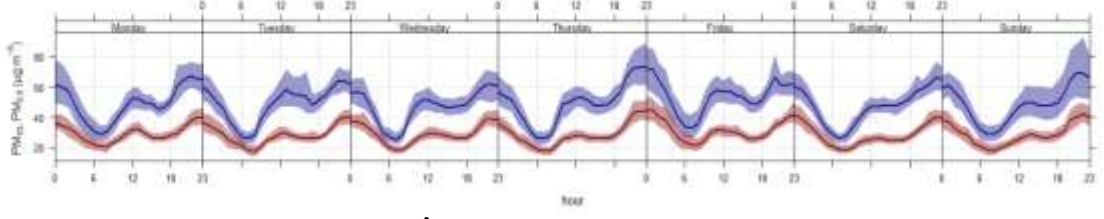


Şekil 3.8: Silivri İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Günlük Değişimi

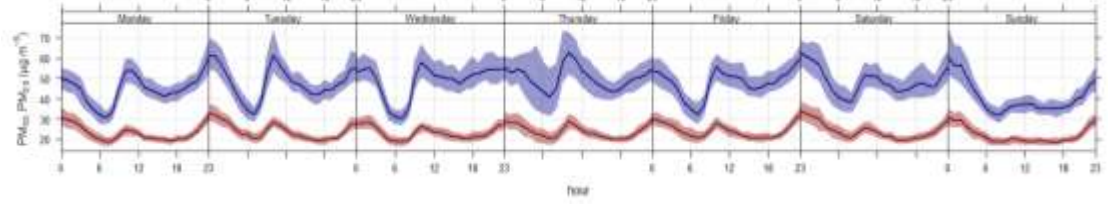
Ümraniye istasyonunda PM₁₀ ve PM_{2.5}'un saatlik değerleri mevsimsel olarak incelendiğinde, saat 00:00-06:00 arasında trafiğin az olmasına bağlı olarak kirletici değerlerinde düşüşler görülmektedir. Saat 06:00-09:00 arasında trafiğin yoğunlaşmasıyla birlikte kirletici konsantrasyonları artmaktadır. Akşam saatlerinde de benzer şekilde trafiğe bağlı olarak artışlar yaşanmaktadır. Kış ve sonbahar aylarında kirletici değerleri özellikle hafta sonları kademeli olarak artış göstermektedir. En düşük değerler ise, tüm mevsimler için saat 06:00 civarında ölçülmektedir (Şekil 3.9).

Ümraniye İstasyonu

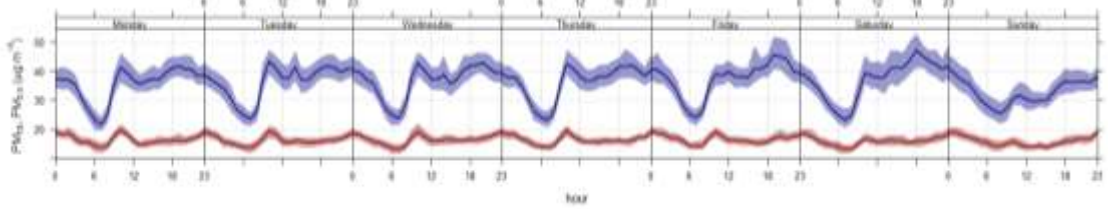
Kış Mevsimi



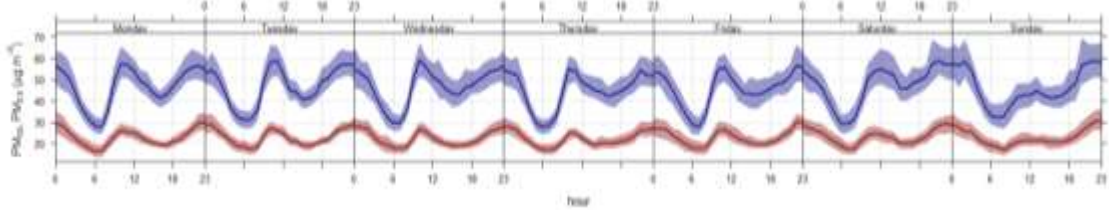
İlkbahar Mevsimi



Yaz Mevsimi



Sonbahar Mevsimi

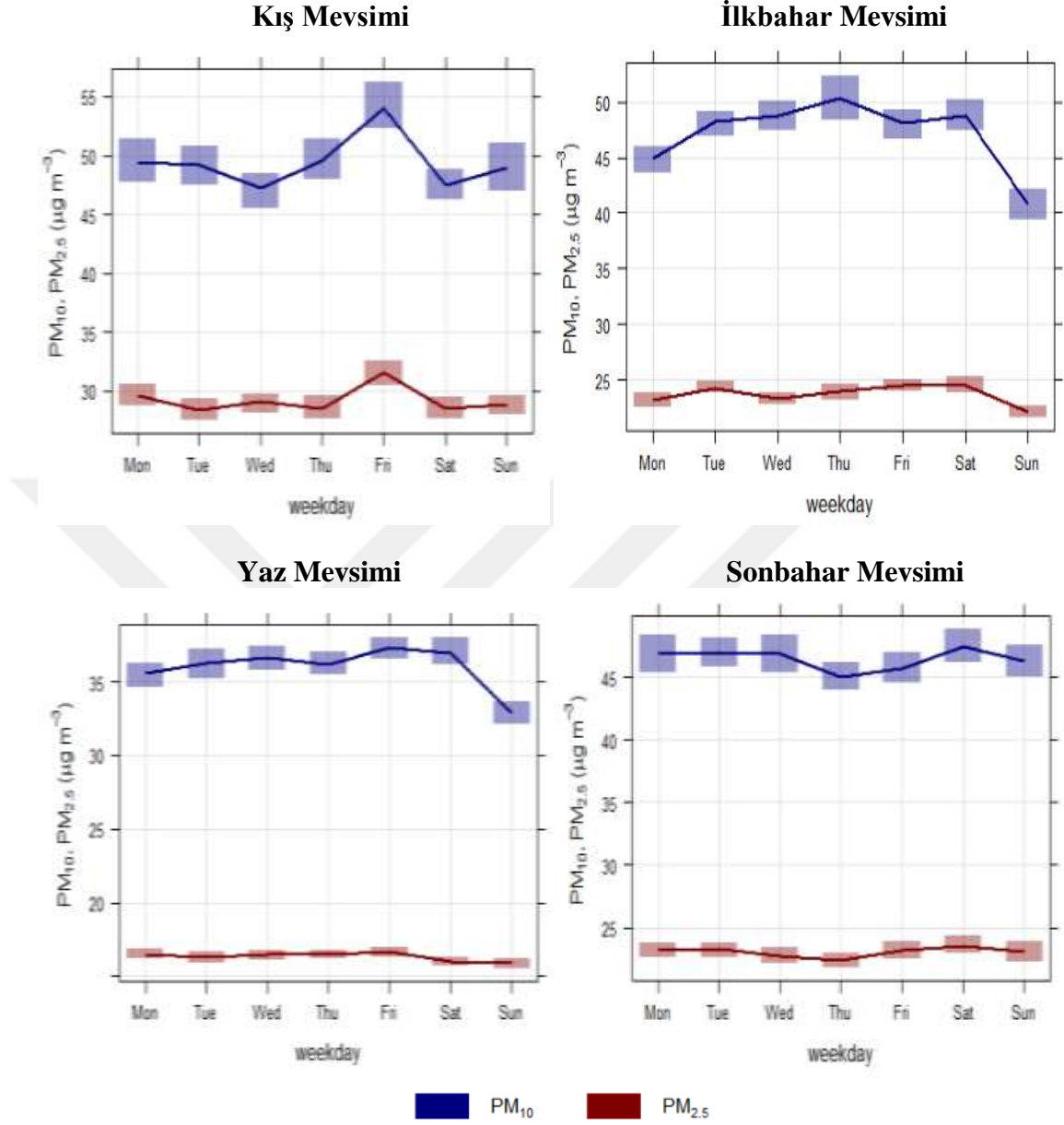


■ PM₁₀ ■ PM_{2.5}

Şekil 3.9: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Saatlik Değişimi

Ümraniye istasyonunda partikül madde değerleri günlük olarak incelendiğinde, PM₁₀ ve PM_{2.5} değerleri benzer eğilimler göstermektedir. Kış mevsiminde özellikle Cuma günü partikül madde değerlerinde önemli bir artış olduğu görülmektedir. İlkbahar mevsiminde en yüksek partikül madde değerleri Perşembe günleri, en düşük değerler ise Pazar günleri ölçülmüştür. Yaz mevsiminde, en düşük değerler Pazar günleri ve Sonbahar mevsiminde ise Perşembe günleri ölçülmüştür (Şekil 3.10).

Ümraniye İstasyonu



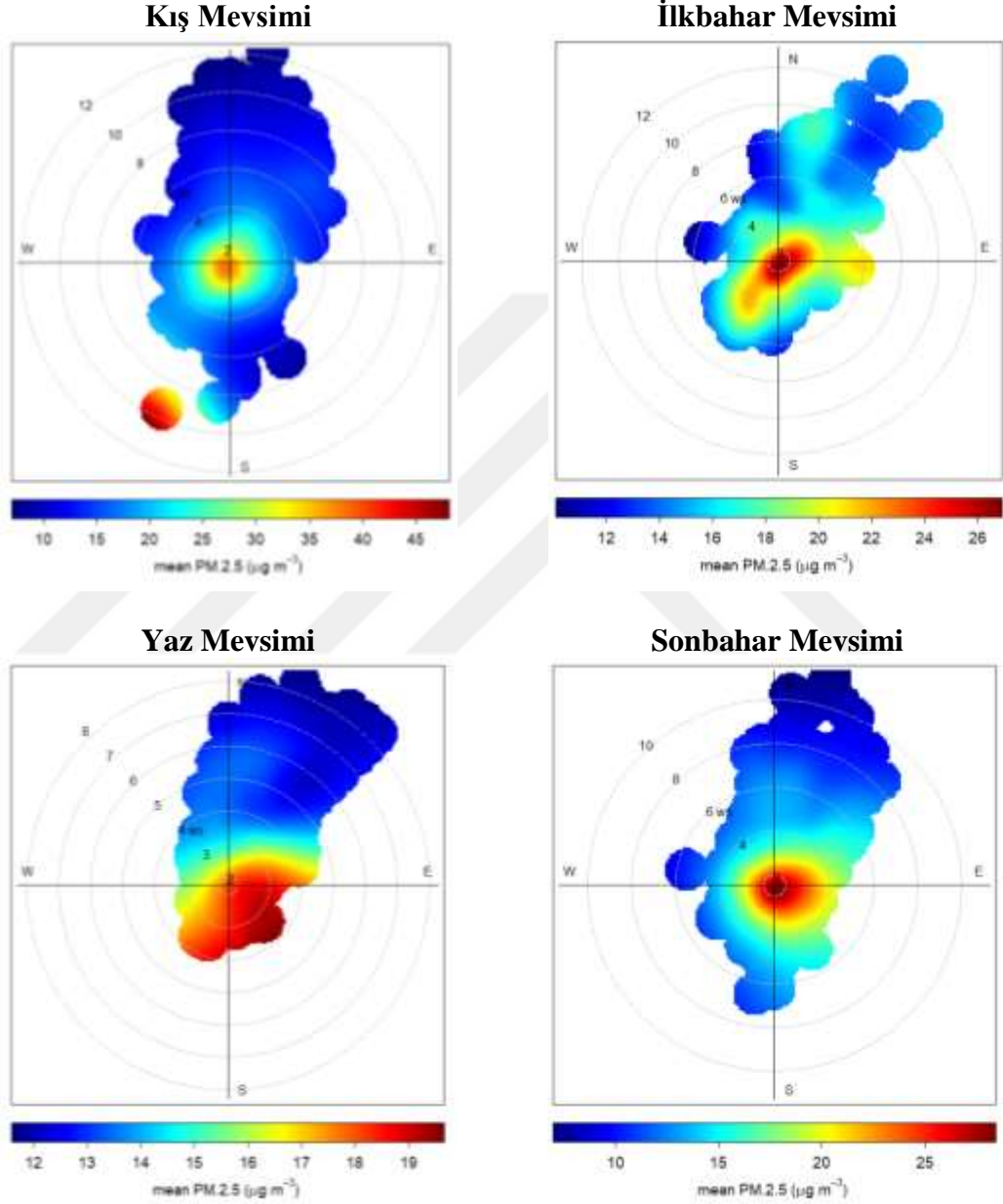
Şekil 3.10: Ümraniye İstasyonunda 2014-2020 Yılları Arasında Ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} Değerlerinin Mevsimlere Göre Günlük Değişimi

3.2 Partikül Maddelerin Kaynak Analizi

Bu çalışmada, kirletici konsantrasyonlarının rüzgar hızı ve yönüyle ilişkisini incelemek için kutupsal grafikler çizilmiştir. Silivri ve Ümraniye istasyonlarının çizimleri incelendiğinde, en yüksek PM_{2.5} değerleri evsel ısınmaya bağlı olarak kış aylarında ölçülmekteyken, en düşük değerler yaz mevsiminde ölçülmüştür. Tüm mevsimlerde rüzgar hızının 2 m/s'den düşük ölçüldüğü zamanlarda lokal faktörler, bölgenin hava kalitesini düşürmektedir. Kış mevsiminde rüzgar hızı 8 m/s'yi

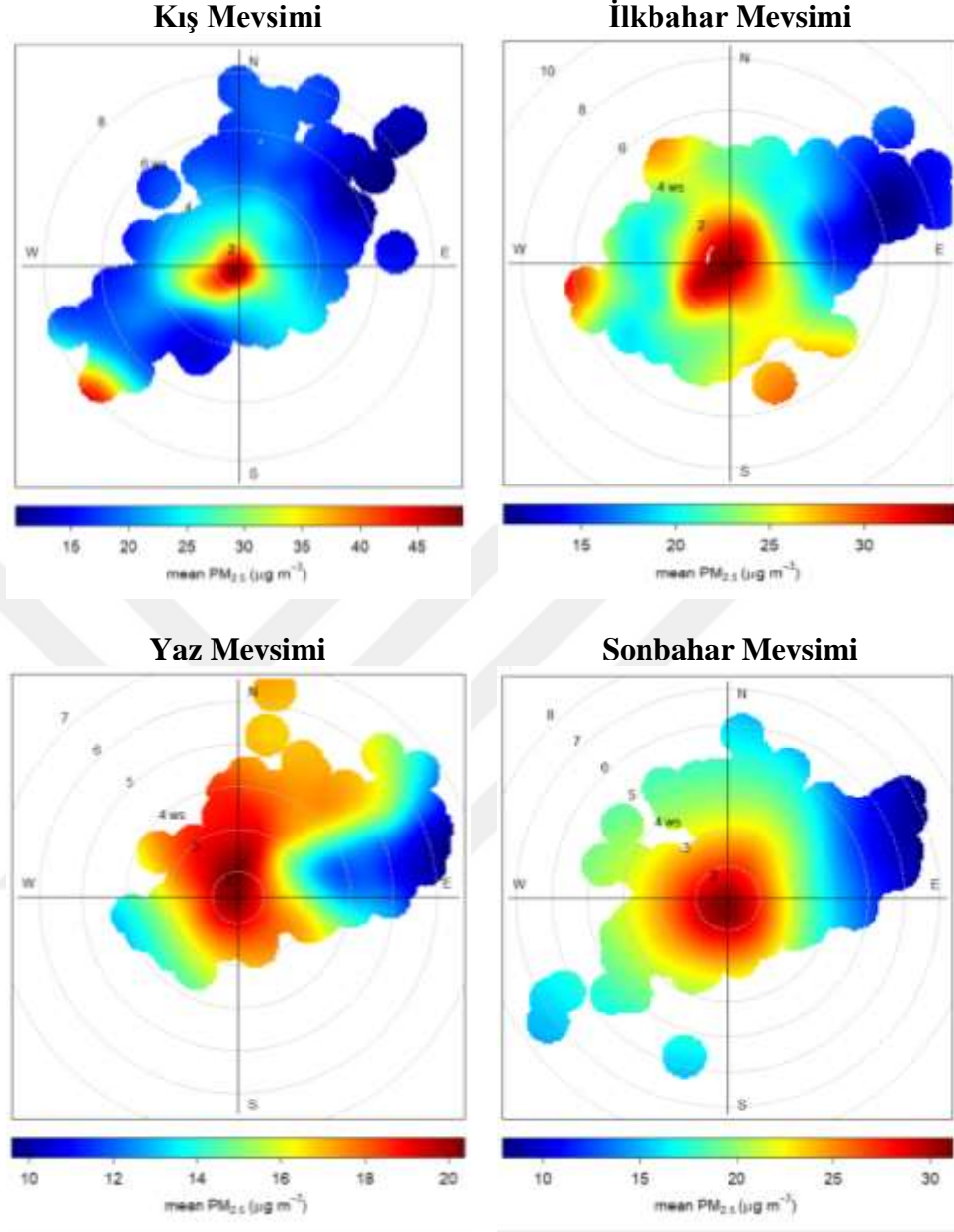
geçtiğinde ise, güney batılı taşınımlar partikül madde miktarını önemli ölçüde artırmaktadır. İlkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde de genellikle lokal kaynaklar Silivri ve Ümraniye ilçelerinin hava kalitesini düşürmektedir (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).

Silivri İstasyonu



Şekil 3.11: Silivri İstasyonunda Ölçülen PM_{2.5} Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020)

Ümraniye İstasyonu

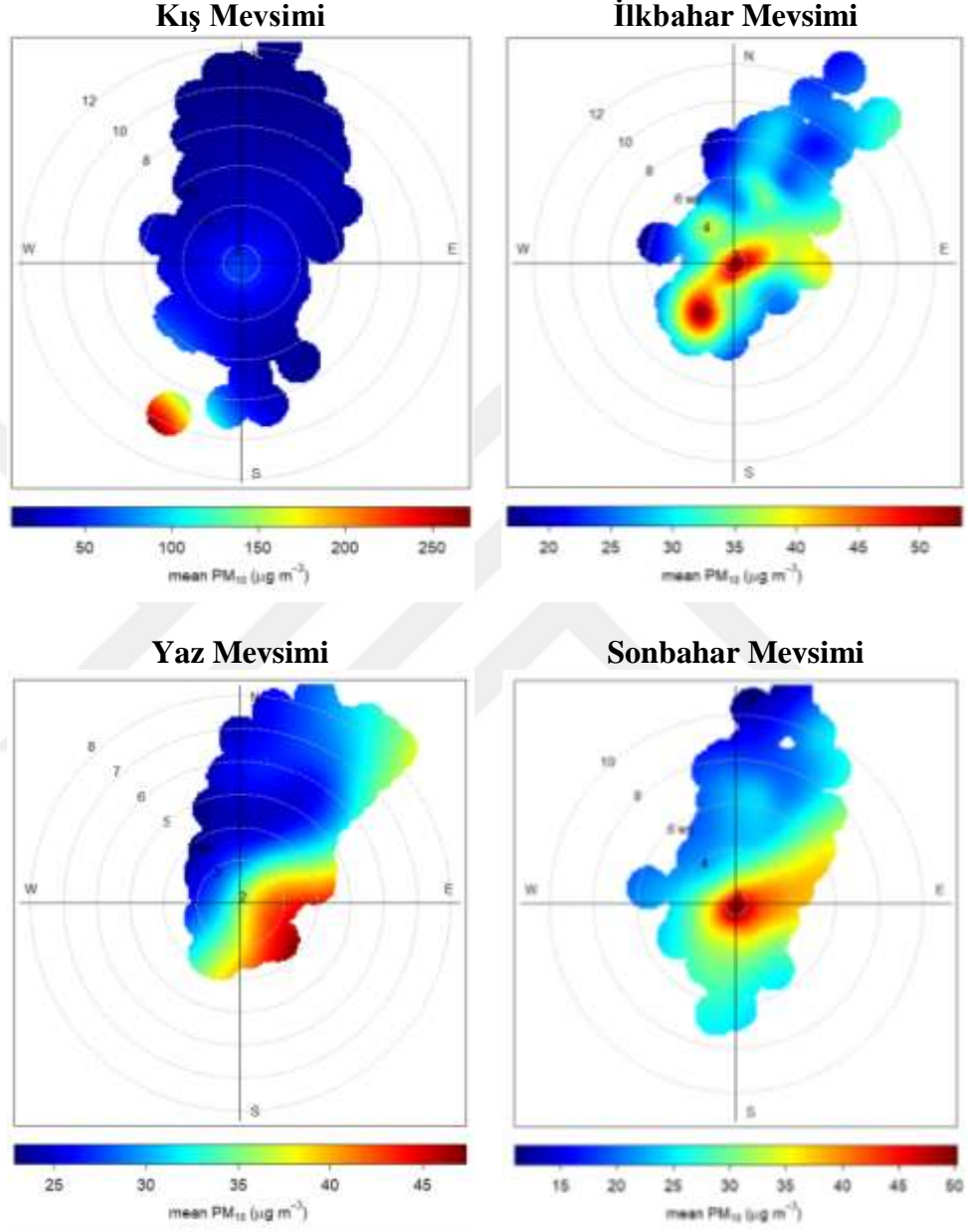


Şekil 3.12: Ümraniye İstasyonunda Ölçülen PM_{2.5} Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020)

Silivri ve Ümraniye istasyonlarının PM₁₀ değerlerinin Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de yer alan kutupsal grafikleri incelendiğinde, kış mevsiminde rüzgar hızının 8 m/s’den daha yüksek ölçüldüğü durumlarda güneybatıdan gelen toz taşınımlarının partikül madde değerini artırdığı görülmektedir. PM₁₀ değerleri, lokal kaynaklara göre kış aylarında 221 gün, ilkbahar aylarında 213 gün ve sonbahar aylarında 234 gün boyunca limit değerinin ($50 \mu\text{g/m}^3$) üzerinde ölçülmüştür. Yaz mevsimi

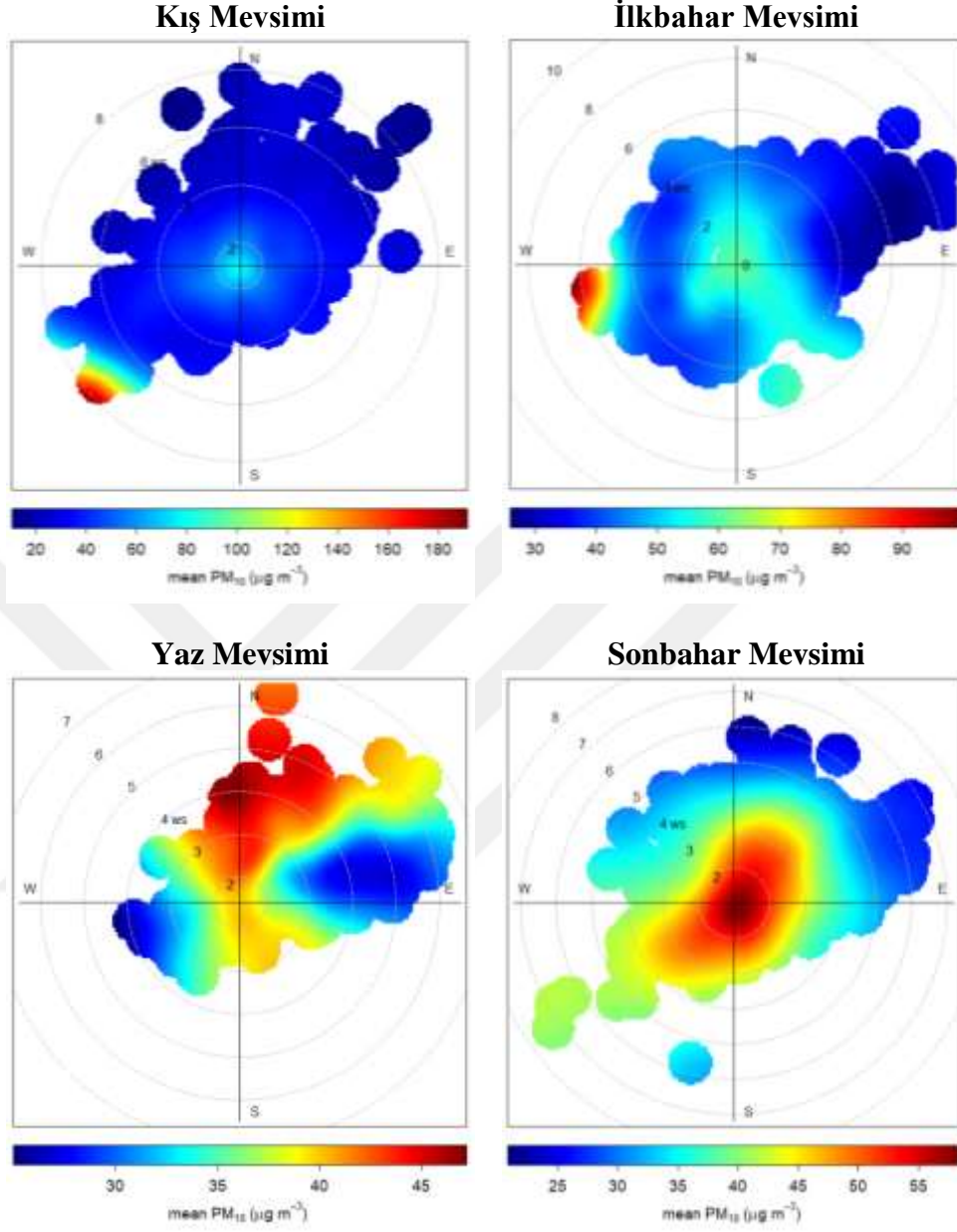
incelendiğinde, kuzey yönündeki taşınımların Ümraniye istasyonunda partikül madde konsantrasyonunu artırdığı görülmektedir.

Silivri İstasyonu



Şekil 3.13: Silivri İstasyonunda Ölçülen PM₁₀ Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020)

Ümraniye İstasyonu



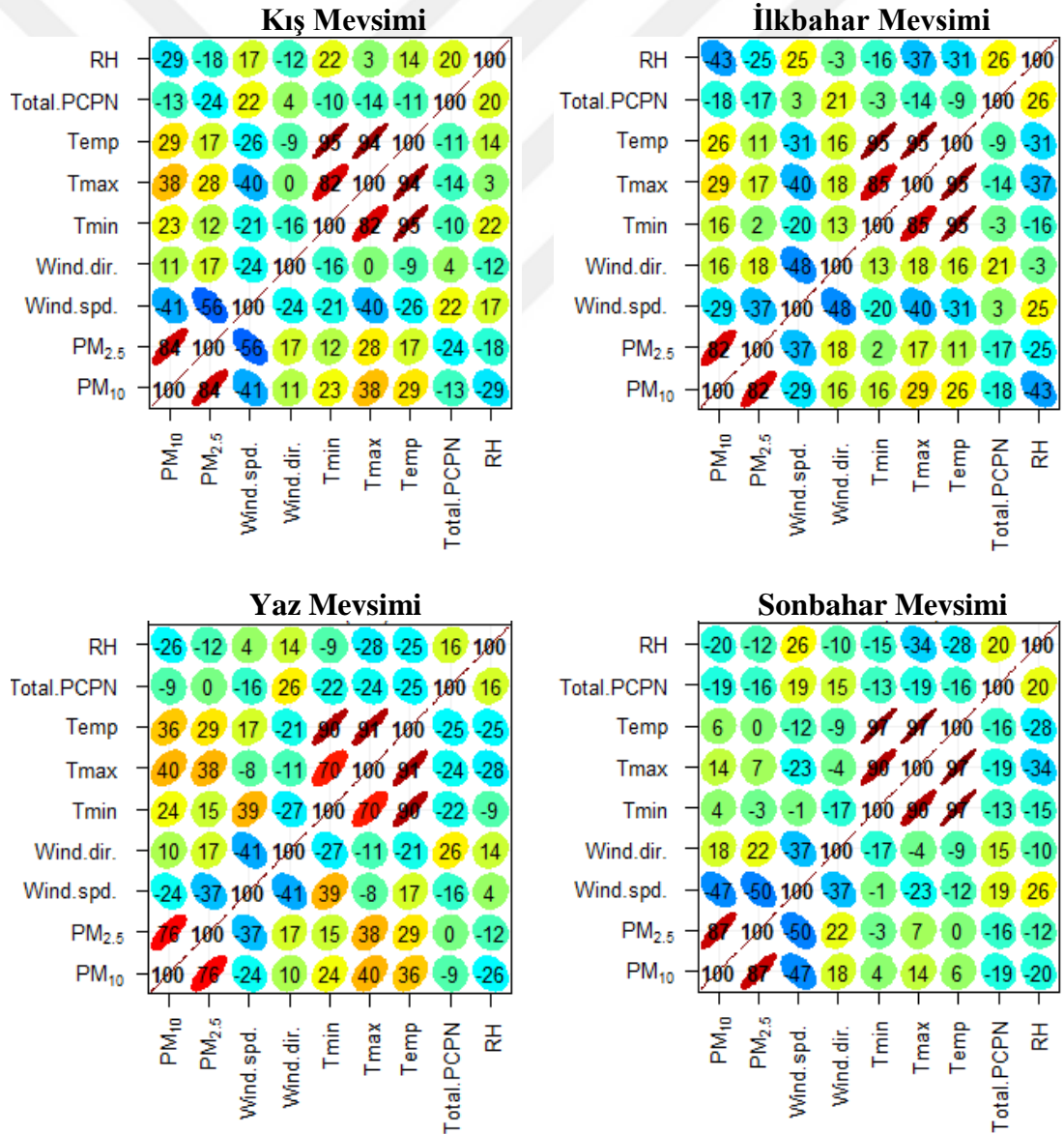
Şekil 3.14: Ümraniye İstasyonunda Ölçülen PM₁₀ Değerlerinin Kutupsal Grafiği (2014-2020)

3.3 Silivri ve Ümraniye İstasyonlarında Ölçülen Partikül Maddelerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkisi

PM₁₀ ve PM_{2.5} değerlerinin meteorolojik faktörlerle ilişkisini mevsimsel olarak incelemek için oluşturulan çoklu korelasyon grafikleri Şekil 3.15 ile Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Silivri istasyonunda en yüksek negatif korelasyon PM_{2.5} ile rüzgar hızı arasında $r=-0.56$ olarak hesaplanmaktadır. Diğer mevsimlerde ise, $r=-0.50$

(sonbahar), $r=-0.37$ (yaz-ilkbahar) olarak bulunmuştur. Rüzgar hızı, partikül maddelerin seyrelmesinde, dağılımında ve taşınımında etkili olup atmosferdeki partikül madde konsantrasyonunu azaltmaktadır. Rüzgar hızı kirleticileri kaynaklarından uzaklaştırdıkları için, rüzgar paternleri kirleticilerin nereye doğru taşındıkları hakkında bilgi de vermektedir (Kindap, 2008). Ancak rüzgar hızı belli değerlerin üzerine çıktığı zaman toz taşınımına sebep olarak hava kalitesini de düşürebilmektedir. İlkbahar mevsiminde, bağıl nem ile PM_{10} arasında negatif korelasyon ($r=-0.43$) bulunmuştur. Yaz mevsiminde ise özellikle Tmax değerleri ile PM_{10} ($r=0.40$), $PM_{2.5}$ ($r=0.38$) arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Genellikle yüksek sıcaklık değerleri, partikül madde konsantrasyonunu artırmaktadır.

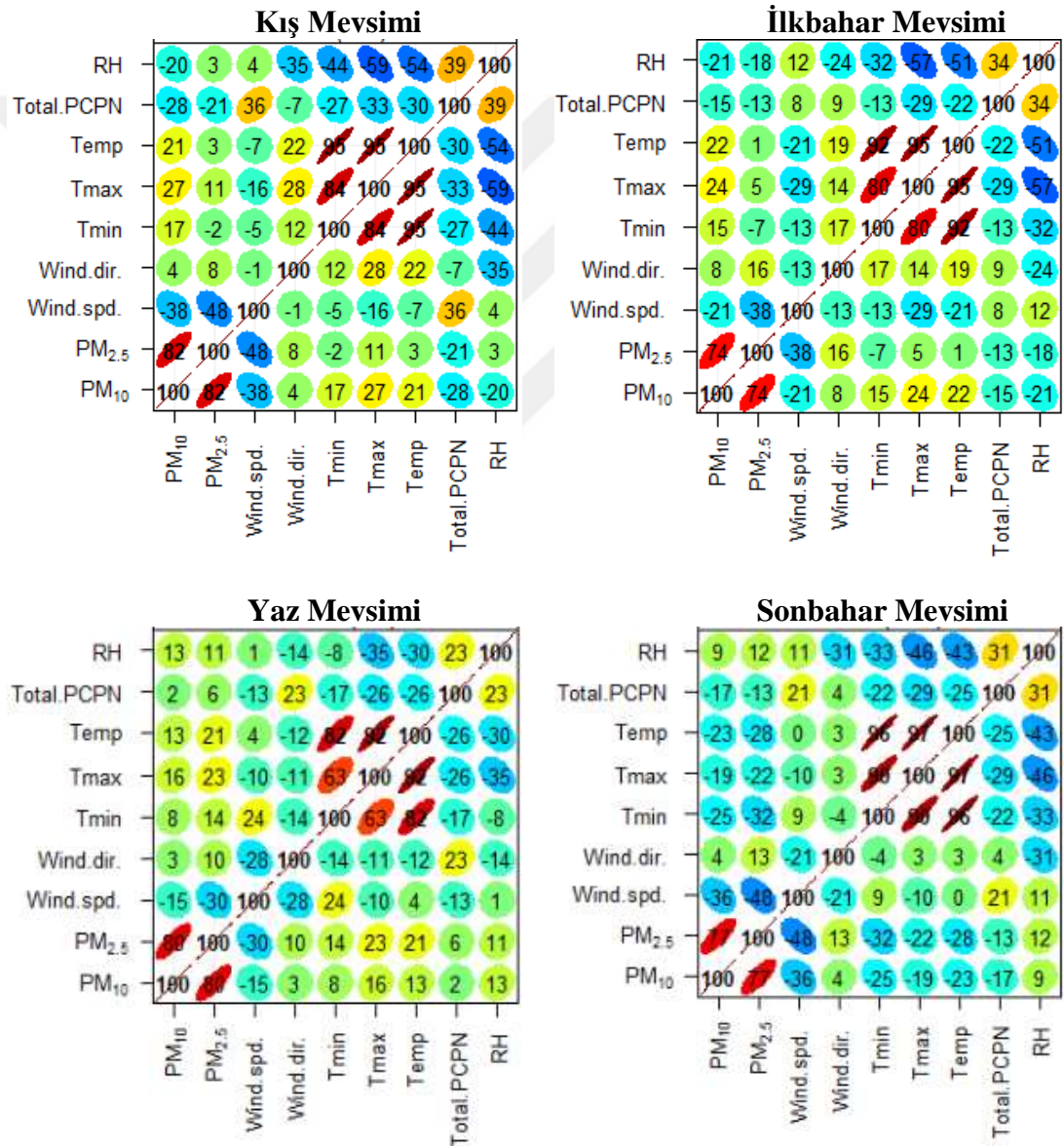
Silivri İstasyonu



Şekil 3.15: Silivri İstasyonunda Ölçülen PM Değerleri ile Meteorolojik Faktörlerin Mevsimlere Ait Korelasyon Analizi Sonuçları

Şekil 3.16'da Ümraniye İstasyonunda ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri ile meteorolojik parametrelerin arasındaki ilişki incelendiğinde, kış ve sonbahar mevsimlerinde PM_{2.5} ile rüzgar hızı arasında negatif korelasyon ($r=-0.48$) bulunmuştur. Ayrıca ilkbahar mevsiminde de bu iki parametre arasındaki korelasyon katsayısı -0.38 olarak bulunmuştur. PM₁₀ değeri ile rüzgar hızı arasında sonbahar mevsiminde negatif korelasyon ($r=-0.36$) olduğu belirlenmiştir.

Ümraniye İstasyonu



Şekil 3.16: Ümraniye İstasyonunda Ölçülen PM Değerleri ile Meteorolojik Faktörlerin Mevsimlere Ait Korelasyon Analizi Sonuçları

Çizelge 3.1’de gösterilmekte olan Silivri ve Ümraniye istasyonlarında ölçülen $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerlerinin Mann-Kendall trend sonuçları incelendiğinde, iki istasyonda da partikül madde değerlerinin azalış trendinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1: Silivri ve Ümraniye İstasyonlarında Ölçülen $PM_{2.5}$ ile PM_{10} Değerlerinin Mann-Kendall Trend Testi Sonuçları

Kirletici	Silivri İstasyonu	Ümraniye İstasyonu
$PM_{2.5}$	$z = -2.1026, n = 7,$ $p\text{-value} = 0.0355$	$z = -2.403, n = 7,$ $p\text{-value} = 0.01626$
PM_{10}	$z = -2.403, n = 7,$ $p\text{-value} = 0.01626$	$-2.1026, n = 7,$ $p\text{-value} = 0.0355$

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfus artışı, kentleşme, araç emisyonları, endüstriyel faaliyetler gibi antropojenik faaliyetler sebebiyle İstanbul ilinde yaşanan hava kirliliği problemi giderek artmaktadır. Sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde ve yerleşim alanlarında yapılan hava kirliliği çalışmaları, hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çözümler üretilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul ilinin Silivri ve Ümraniye ilçelerinde yer alan hava kalitesi istasyonlarında 2014-2020 yılları arasında ölçülen $PM_{2.5}$, PM_{10} ile meteorolojik faktörler (rüzgar hızı, rüzgar yönü, bağıl nem, toplam yağış, T_{min}, T_{max}, sıcaklık) arasındaki ilişki mekansal ve zamansal olarak analiz edilmiştir.

Saatlik analiz verileri, partikül madde değerlerinin araç emisyonları gibi antropojenik faaliyetler nedeniyle tüm mevsimlerde 09:00 ile 19:30 saatleri arasında arttığını göstermektedir. Silivri istasyonunda ölçülen en yüksek partikül madde değerleri kış aylarında Pazar günleri, Ümraniye istasyonunda ise araç emisyonlarına bağlı olarak Cuma günleri ölçülmüştür. $PM_{2.5}$ değerleri lokal kaynaklara ve düşük rüzgar hızlarına bağlı olarak artmaktadır. Silivri ve Ümraniye istasyonlarında rüzgar hızının 8 m/s'den yüksek olduğu koşullarda, güneyli rüzgarlar $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerlerini artırmaktadır.

Endüstriyel faaliyetler ve araç emisyonları gibi antropojenik kaynakların yanı sıra meteorolojik faktörler de hava kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Silivri ve Ümraniye istasyonunda ölçülen partikül maddeler ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişki incelendiğinde, Silivri istasyonunda kış mevsiminde ölçülen $PM_{2.5}$ ile rüzgar hızı arasında negatif korelasyon ($r=-0.56$) olduğu görülmüştür. Diğer mevsimlerde ise, $r=-0.50$ (sonbahar), $r=-0.37$ (yaz-ilkbahar) olarak bulunmuştur. Yaz mevsiminde ise, özellikle T_{max} değerleri ile PM_{10} ($r=0.40$), $PM_{2.5}$ ($r=0.38$) arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Ümraniye istasyonunda ise, kış ve sonbahar mevsimlerinde $PM_{2.5}$ ile rüzgar hızı arasında negatif korelasyon ($r=-0.48$) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sonbahar mevsiminde PM_{10} değeri ile rüzgar hızı arasında negatif korelasyon ($r=-0.36$) bulunmuştur.

Türkiye’de ölçülen partikül madde değerleri, DSÖ’nün önerdiği kılavuz değerlerini aşmaktadır. Bu sebeple, hava kirliliği kaynaklı hastalık yükü oldukça yüksek olmaktadır. Ayrıca hava kirliliği kaynaklı ölümler, Türkiye’de ve tüm dünyada en çok ölüme sebep olan çevre sorunu olarak ön plana çıkmaktadır. Bulaşıcı olmayan hastalıklar arasında, tütün tüketimi ve yüksek tansiyondan sonra hava kirliliği maruziyeti ölüm nedenleri arasında üçüncü sırada yer almaktadır. Halk sağlığının korunabilmesi için DSÖ’nün kılavuz değerlerinin benimsenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Alınacak önlemlerle hastalık yükü ve bu sebeple yaşanan erken ölümlerin azaltılabileceği düşünülmektedir.

Hava kalitesinin yükseltilebilmesi için hava kirleticilerinin ulusal limit değerlerinin DSÖ kılavuz değerleri ile uyumlu olması ve özellikle kanserojen olan PM_{2.5} ölçümü yapan istasyon sayısının artması gerekmektedir. PM_{2.5} ölçümlerinin yaygın olarak yapılmaması ve bu kirletici için belirlenmiş bir limit değer olmaması oldukça büyük bir eksiklik olarak karşımıza çıkmaktadır. Temiz Hava Hakkı ve Çevre, İklim ve Sağlık için İş Birliği Projesi (ÇİSİP)’nde yer alan uzmanların yaptıkları çalışmaya göre, DSÖ’nün 2021 yılı öncesi kılavuz değerlerine uyulsaydı, Türkiye’de yaklaşık 45 bin erken ölümün engellenebileceği belirtilmektedir. Uzmanlara göre, kirliliğin izlenmesi, hava kirleticileri için DSÖ’nün belirlediği kılavuz değerlerine ulusal aksiyon planlarında yer verilmesi, sağlık verilerinin kamuoyuyla paylaşılması, fosil yakıt tüketimine yönelik yapılan teşviklerin ve çevre kirliliğine neden olan diğer teşviklerin sonlandırılması, sağlık çalışanlarının karar alma süreçlerine dahil edilmesi, endüstriyle ilgili yatırımların izin süreçlerinde sağlık etki değerlendirilmesinin yapılması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca Acil Eylem Planları hazırlanarak, alınan önlemlerin ve sonuçlarının düzenli olarak kamuoyuyla paylaşılması gerekmektedir. Bireysel olarak hava kalitesini artırmak için, şahsi araç kullanımı yerine, toplu taşımanın tercih edilmesi, araç bakımlarının belli periyotlarla yapılması, bisiklet gibi temiz ulaşım araçlarının tercih edilmesi, fosil yakıt tüketimi yerine rüzgar, güneş gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Kindi, S. G., Brook, R. D., Biswal, S., Rajagopalan, S.** (2020). Environmental determinants of cardiovascular disease: lessons learned from air pollution. *Nature Reviews Cardiology*, 17(10), 656–672. <https://doi.org/10.1038/s41569-020-0371-2>.
- Ansari, M., Ehrampoush, M.H.** (2018). Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.046>.
- Arslan, H., Baltacı, H., Sahin, A.U., Onat, B.** (2022) The relationship between air pollutants and respiratory diseases for the western Turkey. *Atmospheric Pollution Research*. 13 (2) <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101322>.
- Ausati, S., Amanollahi, J.** (2016). Assessing the accuracy of ANFIS, EEMD-GRNN, PCR, and MLR models in predicting PM_{2.5} Atmospheric Environment, 142, 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.007>.
- Avrupa Çevre Ajansı.** (2020). Hava Kirliliği. Erişim Linki: <https://www.eea.europa.eu/tr/themes/air/intro> Erişim Tarihi: 25.12.2020
- Baltacı, H.** (2019). Spatiotemporal variability of climate extremes in the Marmara Region (NW Turkey). *Int. J. Global Warming*, 18, 3/4, 239-252.
- Baltacı, H., Akkoyunlu, B.O., Arslan, H., Yetemen, O., Ozdemir, E.T.** (2019). The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM₁₀ levels in western Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191:466.
- Baltacı, H., Ozgen, C.S.A., Akkoyunlu, B.O.** (2020). Background atmospheric conditions of high PM₁₀ concentrations in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.06.020>
- Baltacı, H., Ezber, Y.** (2021). Characterization of atmospheric mechanisms that cause the transport of Arabian dust particles to the southeastern region of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. 29, 22771–22784. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17526-y>
- Baltacı, H., Arslan, H., Akkoyunlu, B.O.** (2022). High PM₁₀ source regions and their influence on respiratory diseases in Canakkale, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02914-7>.

- Brunekreef, B.,** Downward, G., Forastiere, F., Gehring, U., Heederik, D.J.J., Hoek, G., Koopmans, M.P.G., Smit, L.A.M., Vermeulen, R.C.H. (2021). Air pollution and COVID-19. Erişim Linki: <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>. Erişim Tarihi: 12 şubat 2021.
- Canova, C., Dunster, C., Kelly, F.J., Minelli, C., Shah, P.L., Caneja, C., Tumilty, M.K., Burneya, P.** (2012). PM₁₀-induced hospital admissions for asthma and chronic obstructive pulmonary disease: the modifying effect of individual characteristics. *Epidemiology* 23, 607–615.
- Capraz, O., Efe, B., Deniz, A.** (2015). Study on the association between air pollution and mortality in Istanbul, 2007-2012. *Atmos. Pollut. Res.* 1–8.
- Celik, M.B., Kadi, I.** (2007). The Relation Between Meteorological Factors and Pollutants Concentrations in Karabük City. *G.U. Journal of Science*, 20 (4): 87-95.
- Cirera, L., Garcia-Marcos, L., Gimenez, J., Moreno-Graud, S., Tobíase, A., P´erez- Fern´andez, V., Elvira-Rendelese, B., Guill´ena, J.J., Navarro, C.** (2012). Daily effects of air pollutants and pollen types on asthma and COPD hospital emergency visits in the industrial and Mediterranean Spanish city of Cartagena. *Allergol. Immunopathol.* 40, 231–237.
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C.A., Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas, M., Dingenen, R., Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C.J.L., Forouzanfar, M. H.** (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, 2017. 389(10082): p. 1907-1918.
- Ding, L., Zhu, D., Peng, D., Zhao, Y.** (2017). Air pollution and asthma attacks in children: A case–crossover analysis in the city of Chongqing, China. *Environmental Pollution*, 220, 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.070>.
- Duan, Z., Han, X., Bai, Z., Yuan, Y.** (2015). Fine particulate air pollution and hospitalization for pneumonia: a case-crossover study in Shijiazhuang, China. *Air Quality, Atmosphere Health*, 9 (7), 723–733. <https://doi.org/10.1007/s11869-015-0383-y>.
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ).** (2016). Air Pollution 2016. Erişim Linki: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Erişim Tarihi: 18 Ocak 2021.
- Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ).** (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization Geneva.
- EU Directive 2008/50/EC.** (2008). Official Journal of the European Union, L152, 1–L144.

- Faridi, S., Shamsipour, M., Krzyzanowski, M., Kunzli, N., Amini, H., Azimi, F., Malkawi, M., Momeniha, F., Gholampour, A., Hassanvand, M.S., Naddafi, K.** (2018). Long-term trends and health impact of PM_{2.5} and O₃ in Tehran, Iran, 2006-2015. *Environment International*, 114, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.026>
- García, M.Á., Sánchez, M.L., de los Ríos A., Pérez, I.A., Pardo, N., Fernández-Duque, B.** (2019). Analysis of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in an urban atmosphere in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 76:331–345.
- Hao, Y., Zhang, G., Han, B., Xu, X., Feng, N., Li, Y., Wang, W., Kan, H., Bai, Z., Zhu, Y., Au, W., Xia, Z.** (2017). Prospective evaluation of respiratory health benefits from reduced exposure to airborne particulate matter. *International Journal of Environmental Health Research*, 27 (2), 126–135. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1292497>
- Hou, X., Zhu, B., Kumar, K.R., Lu, W.** (2019). Inter-annual variability in fine particulate matter pollution over China during 2013–2018: Role of meteorology. *Atmospheric Environment*, 214, 116842. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.11684>.
- Huang, F., Li, X., Wang, C., Xu, Q., Wang, W., Luo, Y., Tao, L., Gao, J., Chen, S., Cao, K., Liu, L., Gao, N., Liu, X., Yang, K., Yan, A., Guo, X.** (2015). PM_{2.5} Spatiotemporal Variations and the Relationship with Meteorological Factors during 2013-2014 in Beijing, China. *Plos One*, 10 (11), e0141642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141642>
- Icaga, Y., Sabah, E.** (2009). Statistical Analysis of Air Pollutants and Meteorological Parameters in Afyon, Turkey. *Environmental Modeling Assessment*, 14, 259–266. <https://doi.org/10.1007/s10666-008-9139-5>.
- International Agency for Research on Cancer World Health Organization** (2013). IARC: Outdoor Air Pollution a Leading Environmental Cause of Cancer Deaths. No. 221. World Health Organization.
- İl Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü.** (2022). Erişim Linki: <http://www.istanbul.gov.tr/iklim-istanbul#:~:text=Asya%20ve%20Avrupa%20k%C4%B1talar%C4%B1na%20ev,oran%C4%B1%20ise%20%75'tir>.
- Jiang, J., Zhou, W., Cheng, Z., Wang, S., He, K., Hao, J.** (2015). Particulate matter distributions in China during a winter period with frequent pollution episodes. *Aerosol and Air Quality Research*. 15 (2), 494–503.
- Jo, E.J., Lee, W.S., Jo, H.Y., Kim, C.H., Eom, J.S., Mok, J.H., Kim, M.H., Lee, K., Kim, K.U., Lee, M.K., Park, H.K.** (2017). Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. *Respiratory Medicine*, 124, 79-87.
- Kampa, M. ve E. Castanas.** (2008). Human health effects of air pollution. *Environ Pollut*, 2008. 151(2): p. 362-7.
- Karamfilova, E.** (2021). EU policy on air quality: Implementation of selected EU legislation. *European Implementation Assesment. European Parliamentary Research Service.* Erişim Linki:

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/654216/EP_RS_STU\(2021\)654216_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/654216/EP_RS_STU(2021)654216_EN.pdf) Erişim Tarihi: 26 Eylül 2021.

- Kassomenos, P. A., Vardoulakis, S., Chaloulakou, A., Paschalidou, A. K., Grivas, G., Borge, R., Lumbreras, J.** (2014). Study of PM₁₀ and PM_{2.5} Levels in Three European Cities: Analysis of Intra and Inter Urban Variations. *Atmospheric Environment*, 87, 153-163.
- Kendall, M.G.** (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th edition, Charles Griffin, London, U.K., 272 ss.
- Kocak, M., Theodosi, C., Zarmas, P., Im, U., Bougiatioti, A., Yenigun, O., Mihalopoulos, N.** (2011). Particulate Matter (PM₁₀) in Istanbul: Origin, Source Areas and Potential Impact on Surrounding Regions. *Atmospheric Environment*, 45, 6891-6900.
- Kunzli, N. ve I.B. Tager.** (2005). Air pollution: from lung to heart. *Swiss Med Wkly*, 2005. 135(47-48): p. 697-702.
- Leung, D.M., Tai, A.P.K, Mickley, L.J., Moch, J.M., van Donkelaar, A., Shen, L., Martin, R.V.** (2018). Synoptic meteorological modes of variability for fine particulate matter (PM_{2.5}) air quality in major metropolitan regions of China, *Atmospheric Chemistry and Physics*. 18, 6733–6748. <https://doi.org/10.5194/acp-18-6733-2018>.
- Li, M., Zhang, L.** (2014). Haze in China: Current and future challenges. *Environmental Pollution*, 189, 85–86. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.024>
- Li, L., Yang, J., Song, Y.F., Chen, P.Y., Ou, C.Q.** (2016). The burden of COPD mortality due to ambient air pollution in Guangzhou, China. *Sci. Rep.* 6 (1).
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., Amann, M., Anderson, H. R., Andrews, K. G., Aryee, M., Atkinson, C., Bacchus, L. J., Bahalim, A. N., Balakrishnan, K., Balmes, J., Barker-Collo, S., Baxter, A., Bell, M. L., Blore, J. D., Blyth, F., Memish, Z. A.** (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet (London, England)*, 380(9859), 2224-2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8).
- López, M.V., Fabrizio, M.C. & Plencovich, M.C.** (2014). Multiple Regression Analysis. In J. Barragués, A. Morais, J. Guisasola (Eds.), *Probability and Statistics* (pp. 416-468). Boca Raton: CRC Press.
- Lyu, Y., Qu, Z., Liu, L., Guo, L., Yang, Y., Hu, X., Xiong, Y., Zhang, G., Zhao, M., Liang, B., Dai, J., Zuo, X., Jia, Q., Zheng, H., Han, X., Zhao, S., Liu, Q.** (2010). Characterization of dustfall in rural and urban sites during three dust storms in northern China, *Aeolian Research*, 28, 29–37, <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.06.004>
- Mann H.B.** (1945). *Nonparametric tests against trend*, 13, New Haven, USA, ss.245-259

- Markasis, K., Im, U., Unal, A., Melas, D., Yenigun, O., Incecik, S.** (2012). Compilation of a GIS Based High Spatially and Temporally Resolved Emission Inventory for the Greater Istanbul Area. *Atmospheric Pollution Research*, 3, 112-125.
- Meng, X., Wang, C., Cao, D., Wong, C.M., Kan, H.** (2013). Short-term effect of ambient air pollution on COPD mortality in four Chinese cities. *Atmos. Environ.* 77, 149-154.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM).** (2022). <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/modeller/toz-tasinimi.pdf>
- Mu, Q., Zhang, S.Q.** (2013). An evaluation of the economic loss due to the heavy haze during January 2013 in China. *China Environmental Science*. 33, pp. 2087-2094
- Oguz, E., Kaya, M.D., Nuhoglu, Y.** (2003). Interaction between air pollution and meteorological parameters in Erzurum, Turkey. *International Journal of Environment and Pollution*, 19 (3), 292. <https://doi.org/10.1504/ijep.2003.003312>.
- Peng, L., Zhao, X., Tao, Y., Mi, S., Huang, J., Zhang, Q.** (2020). The effects of air pollution and meteorological factors on measles cases in Lanzhou, China. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07903-4>.
- Ritchie H, Spooner, F., Roser, M.** (2018). Causes of Death. Erişim Linki: <https://ourworldindata.org/causes-of-death#risk-factors-for-death>. Erişim Tarihi: 16 Ocak 2022.
- Sahin, U.A., Onat, B., Akın, O., Ayvaz, C., Uzun, B., Mangır, N., Dogan, M., Harrison, R.M.** (2020). Temporal variations of atmospheric black carbon and its relation to other pollutants and meteorological factors at an urban traffic site in Istanbul. *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.03.009>.
- Sindosi, O.A., Markozannes, G., Rizos, E., Ntzani, E.** (2019). Effects of economic crisis on air quality in Ioannina, Greece. *Journal of Environmental Science Health, Part A* 54:768–781.
- Sneyers, R.** (1990). *On the Statistical Analysis of Series of Observations*. WMO, No, 415, Geneva.
- Sputnik Haber Ajansı.** (2021). Erişim Linki: <https://web.archive.org/web/20200406185206/https://tr.sputniknews.com/koronavirus-salgini/202004051041760023-turkiyede-alisverisve-eglence-alanlarinda-topluluk-hareketliliği-yuzde-75-azaldi/> Erişim Tarihi: 23.07.2021
- T.C. Sağlık Bakanlığı. Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü.** (2010). Türkiye Kronik Hava Yolu Hastalıklarını Önleme ve Kontrol Programı Türkiye'nin Hava Kirliliği ve İklim Değişikliği Sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım, Eylül 2010 Ankara. Erişim Linki: <https://sbu.saglik.gov.tr/Ekutuphane/kitaplar/yaklasim.pdf>

- Tecer, L.H., Süren, P., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G.** (2008). Effect of Meteorological Parameters on Fine and Coarse Particulate Matter Mass Concentration in a Coal-Mining Area in Zonguldak, Turkey. *Journal of the Air Waste Management Association*, 58 (4), 543–552. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.4.543>.
- Temiz Hava Hakkı Platformu.** (2020). Kara Rapor. Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, Erişim Linki: <https://www.temizhavahakki.com/wp-content/uploads/2020/09/Kara-Rapor-2020-Son27082020.pdf>
- Toros, H.** (1993). Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Trend Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).** (2021). Erişim Linki: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>
- University of Delaware.** (2019). Ozone threat from climate change: Increasing global temperatures will impact air quality. *ScienceDaily*. Erişim Linki: www.sciencedaily.com/releases/2019/07/190723121906.htm
- United Nations Environment Programme.** (2022). Erişim Linki: <https://www.cleanairblueskies.org/#> Erişim Tarihi: 18 Eylül 2022.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)** (2021). Particle Pollution and Respiratory Effects. Erişim Linki: <https://www.epa.gov/particle-pollution-and-your-patients-health/health-effects-pm-patients-lung-disease>. Erişim Tarihi: 16 Ocak 2021.
- Wetherill, G.B.** (1981). Correlation. In G.B. Wetherill (Ed.), *Intermediate Statistical Methods* (pp. 185-198). The Netherlands: Springer.
- Xie, X., Wang, Y., Yang, Y., Xu, J., Zhang, Y., Tang, W., Guo, T., Wang, Q., Shen, H., Zhang, Y., Yan, D., Peng, Z., Chen, Y., He, Y., Ma, X.** (2018). Long-term exposure to fine particulate matter and tachycardia and heart rate: Results from 10 million reproductive-age adults in China. *Environmental Pollution*, 242, 1371-1378.
- Ye, W.F., Ma, Z.Y., Ha, X.Z.** (2018). Spatial-temporal patterns of PM2.5 concentrations for 338 Chinese cities. *Science of The Total Environment*, 631-632, 524–533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.057>
- Zhang, P., Hong, B., He, L., Cheng, F., Zhao, P., Wei, C., Liu, Y.** (2015). Temporal and Spatial Simulation of Atmospheric Pollutant PM2.5 Changes and Risk Assessment of Population Exposure to Pollution Using Optimization Algorithms of the Back Propagation-Artificial Neural Network Model and GIS. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (10), 12171–12195. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012171>

ÖZGEÇMİŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1997, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lisans** : 2020, Anadolu Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Kamu Yönetimi
- **Yüksek lisans:** 2006, Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
- **Yüksek lisans:** 2015, Okan Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği
- **Doktora:** 2022, İstanbul Gedik Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği

İŞ DENEYİMİ:

- **Dilovası Belediyesi Fen İşleri Müdür Yardımcısı:** 1997-1999
- **Gebze Belediyesi Başkan Danışmanlığı/Mühendislik ve Yöneticilik Görevleri:** 1999-2005
- **Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Köy Hizmetleri Bölge Koordinatörü:** 2005-2010
- **KBB İZAYDAŞ Koordinatörü ve Danışmanı:** 2010-2014
- **Dilovası Belediye Başkanı:** 2014-2019