

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL İLİ ATMOSFERİNDE PARTİKÜL
MADDEDE İNORGANİK KİRLETİCİLERİN
DAĞILIMININ VE KAYNAĞININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemil ÇELEN
Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı

Danışman
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

EYLÜL, 2021



“Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 35953”.

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

Cemil ÇELEN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “İSTANBUL İLİ
ATMOSFERİNDE PARTİKÜL MADDEDE İNORGANİK KİRLETİCİLERİN
DAĞILIMININ VE KAYNAĞININ BELİRLENMESİ” başlıklı tez KİMYASAL
OŞİNOGRAFI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Zinet Selmin Burak

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Figen Esin KAYHAN

Jüri Üyesi
Doç. Dr. Abdullah AKSU

Jüri Üyesi
Dr. Öğr. Üyesi Esra Billur BALCIOĞLU

Tez Savunma Tarihi: 01.09.2021

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “İSTANBUL İLİ ATMOSFERİNDE PARTİKÜL MADDEDE İNORGANİK KİRLETİCİLERİN DAĞILIMININ VE KAYNAĞININ BELİRLENMESİ” başlıklı YÜKSEK LİSANS tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

12.08.2021

Cemil ÇELEN

ÖNSÖZ

Hava kirliliği dünyanın bütün metropol şehirlerinde olduğu gibi İstanbul'da da en büyük çevresel sorunlardan biridir. İstanbul'un sahip olduğu jeopolitik konumu, onu geçmişten günümüze her zaman bir cazibe merkezi yapmıştır. Bölgede nüfusun sürekli olarak artması ve sanayinin gelişmiş olması antropojenik ve sanayi kaynaklı kirliliklerin de artmasına sebep olmuştur. Çevreye yayılan her kirlilik türü (toprağa, suyu ya da havaya salınan) birbiriyle ilişkilidir ve maalesef en çok zarar gören de, zarar gördüğünü çok da belli etmeyen soluduğumuz havadır.

Bu çalışmada İstanbul'un nüfus olarak yoğun olan farklı noktalarındaki 3 adet hava kirliliği istasyonunun farklı dönemlerdeki metal ve kirletici gazlara ait verileri karşılaştırılarak zamana ve konuma göre değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmamın başından sonuna her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle desteğini sürekli olarak sunan, her türlü zorluk ve sıkıntının üstesinden gelmemi sağlayan Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Bölümü Müdür Yardımcısı ve Danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR'a, literatür araştırmasında ve teknik konularda birikimiyle destek ve yardımlarına ihtiyaç duyduğum Sayın Doç. Dr. Abdullah AKSU'ya, numuneleri temin ettiğim İBB Hava Kalitesi İzleme Merkezi'ne, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Bircan BALKIS'a ve analizlerin yapıldığı Anadolu Yakası Çevre Laboratuvarı'nın teknik personeline teşekkürler...

Sadece tez çalışmalarım esnasında değil bütün hayatım boyunca hep yanımda olan eşim Kübra ÇELEN'e, çocuklarım Yusuf Melih ve Yavuz Selim'e sonsuz sevgiler...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Çevre Kirliliği ve Çeşitleri.....	2
2. HAVA KİRLİLİĞİ.....	3
2.1. Hava Kirliliği Kaynakları.....	4
2.2. İstanbul ve Marmara Bölgesi'nde Hava Kirliliği ve Kaynakları	5
2.3. Hava Kirliliğinin Sucul Ekosisteme Etkileri.....	6
2.4. Hava Kirliliğinin Diğer Çevresel Değişimlere Etkileri.....	7
2.5. Hava Kirlleticilerin İnsan Sağlığına Etkileri.....	8
2.6. Hava Kirliliği ve Covid-19	10
2.7. Hava Kirlitici Parametrelerin Sınır Değerleri	12
2.8. Hava Kirliliğinin Önlenmesi için Yapılan Çalışmalar ve Yıllara Göre Değişimi	12
2.9. Partikül Madde.....	14
2.10. Alüminyum	15
2.11. Ağır Metaller.....	15
2.11.1. Kadmiyum (Cd).....	16
2.11.2. Kurşun (Pb)	17
2.11.3. Nikel (Ni).....	17
2.11.4. Krom (Cr)	18
2.11.5. Bakır (Cu).....	18
2.11.6. Çinko (Zn)	18
2.11.7. Demir (Fe)	19
2.11.8. Mangan (Mn).....	19
2.11.9. Kobalt (Co).....	19
2.12. Gazlar	20
2.12.1. Karbonmonoksit (CO).....	20
2.12.2. Azot oksitler (NO _x)	20
2.12.3. Kükürtdioksit (SO ₂).....	21
2.12.4. Karbondioksit (CO ₂).....	22
2.12.5. Ozon (O ₃)	22
2.13. Zenginleşme Faktörü (ZF)	23
2.14. Literatür.....	24
2.14.1. İstanbul'da hava kirliliği çalışmaları.....	24
2.14.2. Marmara bölgesi'nde hava kirliliği çalışmaları.....	29
2.14.3. Türkiye'de hava kirliliği çalışmaları	30
2.14.4. Dünya'da hava kirliliği çalışmaları	31
3. MATERYAL METOT.....	33

3.1. Çalışma Alanı.....	33
3.2. Örneklemeye	34
3.3. Analiz Yöntemleri.....	35
3.3.1. Analiz Ön İşlemleri	35
3.3.2. Kalibrasyon standartlarının hazırlanması	36
3.3.3. Analiz işlemi.....	36
4. BULGULAR.....	38
4.1. Aksaray İstasyonu	38
4.2. Kadıköy İstasyonu.....	41
4.3. Yenibosna İstasyonu	44
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	46
5.1. Analiz Dönemine ait Değerlendirmeler	46
5.1.1. Aksaray istasyonu.....	46
5.1.2. Kadıköy istasyonu	48
5.1.3. Yenibosna istasyonu.....	50
5.1.4. Genel değerlendirme.....	51
5.2. 2020-2021 Yıllarında (1 Ocak-31 Temmuz) Kirletici Gazların Durumu	54
5.2.1. Aksaray istasyonu.....	55
5.2.2. Kadıköy istasyonu	62
5.2.3. Yenibosna istasyonu.....	69
5.2.4. Genel değerlendirme.....	74
5.2.5. Covid-19 kısıtlamalarının hava kirliliğine etkisi	745
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET

İSTANBUL İLİ ATMOSFERİNDE PARTİKÜL MADDEDE İNORGANİK KİRLETİCİLERİN DAĞILIMININ VE KAYNAĞININ BELİRLENMESİ

Cemil ÇELEN

Bu çalışmada İstanbul'da Yenibosna, Aksaray ve Kadıköy bölgelerindeki hava kalitesi istasyonlarında 2017 ve 2018 yıllarının farklı dönemlerine ait filtre edilmiş numunelerde yapılmış olan metal analizleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yayınlanan sülfat, azot oksitler, karbonmonoksit, ozon parametreleri ve meteorolojik veriler ile birlikte değerlendirilmiştir. Metallerin kendi aralarında, gazların da kendi aralarında korelasyonları hesaplanmıştır. Bütün veriler dikkate alındığında Fe-Cu (0,93) ve Mn-Zn (0,80) metalleri arasında yüksek ilişki tespit edilmiştir.

Metal analiz sonuçlarının kirlilik derecesinde olup olmadığını belirlemek amacıyla alüminyum elementi referans alınarak zenginleşme faktörü hesaplanmıştır. Bütün istasyonlarda en yüksek zenginleşme görülenler Cd, Zn, Cu, Pb elementleridir. Ayrıca istasyonlarda karşılaştırılan dönemlerdeki (yaz-kış ya da aylara göre) değişiklikleri belirlemek amacıyla da ortalama zenginleşme faktörlerinin birbirine oranları hesaplanmıştır. Yaz-kış karşılaştırmasının yapıldığı Aksaray istasyonunda kış ayında en çok zenginleşme görülen metaller Pb ve Ni olup diğer istasyonlarda ise dönemsel zenginleşme azalması görülmüştür.

Covid-19 pandemisi sebebiyle ülke genelinde dönem dönem uygulanan karantinaların İstanbul'daki hava kirliliğine etkisini görmek amacıyla 2020 ve 2021 yılları ocak-temmuz dönemlerine ait İBB HKİM tarafından paylaşılan kirletici gaz verileri değerlendirilmiş ve her istasyonda farklı durumlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca aynı veriler kullanılarak kirletici gazlar ve meteoroloji parametrelerinin kendi aralarındaki korelasyonu hesaplanmış ve en yüksek ilişkinin $\text{NO}_x\text{-NO}$ (0,94) ve $\text{NO}_x\text{-SO}_2$ (0,65) arasında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hava kirliliği, metal, gazlar, trafik, İstanbul

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION AND SOURCES OF INORGANIC POLLUTANTS IN PARTICULAR MATERIAL IN THE ATMOSPHERE OF ISTANBUL

Cemil ÇELEN

In this thesis, metal analyzes were made on filtered samples belonging to different periods of 2017 and 2018 at the air quality stations in Yenibosna, Aksaray and Kadıköy in Istanbul, and were evaluated together with sulfate, nitrogen oxides, carbon monoxide, ozone parameters and meteorological data published by the Istanbul Metropolitan Municipality. Correlations among the metals and among gases were calculated. Considering all the data, the heavy metals with the highest correlation were Fe-Cu (0.93) and Mn-Zn (0.80).

In order to determine whether the metal analysis results are at the level of pollution, the enrichment factor was calculated by taking the aluminum element as a reference. The elements that was seen enrichment in all stations are Cd, Zn, Cu, Pb. In addition, the ratios of the average enrichment factors to each other were calculated in order to determine the changes in the compared periods (summer-winter or months) at the stations. In the Aksaray station, where summer-winter comparison was made, the metals with the highest enrichment in winter were Pb and Ni, while periodic enrichment was observed at other stations.

In order to see the effect of the quarantines applied periodically throughout the country due to the Covid-19 pandemic on the air pollution in Istanbul, the pollutant gas data shared by the IBB HKIM for the January-July period of 2020 and 2021 were evaluated and different situations emerged at each station. In addition, the correlation between polluting gases and meteorological parameters was calculated using the same data, and it was determined that the highest correlation was between NO_x -NO (0.94) and NO_x -SO₂ (0.65).

Keywords: Air pollution, metal, gases, traffic, Istanbul

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Birincil ve İkincil Hava Kirleticileri.....	3
Tablo 2. Bazı Endüstriyel Faaliyetlerin Çevresel Etkileri	5
Tablo 3. Hava kirleticileri ve insan sağlığına etkileri	9
Tablo 4. Hava Kirletici Parametrelerin Sınır Değerleri	12
Tablo 5. Binek araçlar için Euro emisyon standardı sınır değerleri	13
Tablo 6. ABD’de hava kirletici emisyonların 1980-2020 yılları arasındaki değişimi.....	13
Tablo 7. PM ₁₀ -PM _{2.5} için Türkiye-AB-DSÖ Karşılaştırmalı Sınır Değerleri	15
Tablo 8. Mikrodalga cihazı program aşamaları	35
Tablo 9. Standart hazırlama tablosu	36
Tablo 10. Aksaray istasyonu metal verileri	39
Tablo 11. Aksaray istasyonu zenginleşme faktörü	40
Tablo 12. Aksaray istasyonu ortalama zenginleşme faktörü kış/yaz dönemi oranı.....	40
Tablo 13. Kadıköy istasyonu metal verileri	41
Tablo 14. Kadıköy istasyonu zenginleşme faktörü (Al)	42
Tablo 15. Kadıköy istasyonu ortalama zenginleşme faktörü Ekim/Ocak-Şubat dönemi	43
Tablo 16. Kadıköy istasyonu Zenginleşme faktörü (Na).....	43
Tablo 17. Yenibosna istasyonu metal verileri	44
Tablo 18. Yenibosna istasyonu zenginleşme faktörü	45
Tablo 19. Ortalama zenginleşme faktörü 2018 yılı Şubat-Mart dönemi/2017 yılı Mayıs dönemi oranı	45
Tablo 20. Aksaray istasyonu analiz dönemine ait kirletici gaz ve meteoroloji parametreleri..	47
Tablo 21. Kadıköy istasyonu analiz dönemine ait kirletici gaz ve meteoroloji parametreleri..	49
Tablo 22. Yenibosna istasyonu analiz dönemine ait kirletici gaz ve meteoroloji	50
parametreleri	50
Tablo 23. Bütün istasyonlardaki bütün dönemler için PM ₁₀ metal verilerinin korelasyonu. ...	51
Tablo 24. Üç istasyonun metal konsantrasyonlarının dönemsel incelenmesi	52
Tablo 25. İstanbul’da geçmiş dönemde yapılmış çalışmalar	53
Tablo 26. Üç İstasyona ait kirletici gaz ve hava sıcaklığı verilerinin toplam ve ayrı ayrı korelasyon katsayıları (1 Ocak-31 Temmuz 2021).....	75
Tablo 27. İstasyonlara göre hava kirleticilerin miktarının yıllık değişimi	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Global yıllık ortalama sera gazı konsantrasyonları (karbonmonoksit, metan, nitroz asit)	8
Şekil 2. Türkiye'de seragazı emisyonlarının yıllara göre değişimi	14
Şekil 3. Çalışma alanı haritası.....	33
Şekil 4. Kadıköy istasyonuna ait örnek numuneler	34
Şekil 5. Analizin mikrodalga aşaması.....	35
Şekil 6. ICP cihazı analiz aşaması	37
Şekil 7. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi CO grafikleri	55
Şekil 8. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO grafikleri.....	56
Şekil 9. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO ₂ grafikleri	57
Şekil 10. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO _x grafikleri	58
Şekil 11. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi O ₃ grafikleri	59
Şekil 12. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi PM ₁₀ grafikleri	60
Şekil 13. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi SO ₂ grafikleri	61
Şekil 14. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi CO grafikleri.....	62
Şekil 15. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO grafikleri	63
Şekil 16. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO ₂ grafikleri	64
Şekil 17. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO _x grafikleri	65
Şekil 18. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi O ₃ grafikleri	66
Şekil 19. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi PM ₁₀ grafikleri.....	67
Şekil 20. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi SO ₂ grafikleri.....	68
Şekil 21. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi CO grafikleri	69
Şekil 22. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO grafikleri	70
Şekil 23. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO ₂ grafikleri ...	71
Şekil 24. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO _x grafikleri ...	72
Şekil 25. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi PM ₁₀ grafikleri..	73
Şekil 26. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi SO ₂ grafikleri....	74

SİMGE LİSTESİ

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	: Metreküpte mikrogram
μm	: Mikrometre
mg/km	: Kilometrede miligram
mg/kg	: Kilogramda miligram
mg/l	: Litrede miligram
mg/m^3	: Metreküpte miligram
m/sn	: Saniyede metre
$^{\circ}\text{C}$	: Sıcaklık birimi (Celcius)
mm/s	: Saniyede milimetre
g/cm^3	: Santimetreküpte gram
ng/m^3	: Metreküpte nanogram

KISALTMA LİSTESİ

CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DHİM	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
ICP OES	: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (İndüktif Eşleşmeli Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İBB HKİM	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Hava Kalitesi İzleme Merkezi
Kons.	: Konsantrasyon
NO	: Nitrikoksit
NO ₂	: Azotdioksit
NO ₃	: Nitrat
NO _x	: Azot Oksitler
O ₃	: Ozon
Or.	: Oran
ort	: Ortalama
PAN	: Peroksi Asetil Nitrat
PM	: Partikül Madde
PTFE	: Politetrafloroetilen
Sıc.	: Sıcaklık
SO ₂	: Kükürtdioksit
Std	: Standart
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
UOM	: Uçucu Organik Madde
UP	: Ultra saf su
US EPA	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
Yağ.	: Yağmur
ZF	: Zenginleşme Faktörü
ZF _{deniz}	: Denizden Havaya Olan Zenginleşme Faktörü
ZF _{kara}	: Karadan Havaya Olan Zenginleşme Faktörü

1. GİRİŞ

Hava kirliliği son yıllarda sanayileşme, artan nüfus ve çarpık kentleşme sebebiyle özellikle büyükşehirlerde en büyük çevre problemlerinden biridir. Bir problemin çözümü için önce kaynağının belirlenmesi gerekmektedir. Genel olarak hava kirliliği kaynakları bilinmekle birlikte İstanbul'un her bölgesinde değişim gösterebilmektedir. Bunun sebebi hava kirliliğinin meteorolojik şartlar (yağmur, sıcaklık, vb.), rüzgâr yönleri ve emisyonlardan (yoğun trafik, sanayi bölgelerindeki salınımlar, vb.) etkilenmesidir. Böylece, belirlenmiş bir bölgede yapılacak hava kalitesi örneklemeleri ve bunların analizleri sonucunda kirleticilerin kaynakları tespit edilebilir.

İstanbul Boğazı'nın her iki yakasını da içinde barındıran İstanbul İli, tarihi yapısı ve jeopolitik konumu sebebiyle kara, deniz ve havada taşımacılık ve ticaret yollarının kesişim noktasında olan, barındırdığı yoğun nüfus sebebiyle antropojenik girdinin ve çevresel sorunlarının çok olduğu bir konumdadır. Bu önemli konumun Boğaz'da sebep olduğu en büyük sorun ise kirliliktir. Kirlilik; karasal (antropojenik-evsel ve endüstriyel), denizel (gemi kazaları, liman dolum sahalarından olan yakıt kaçakları, vb.) ve hava kaynaklı (uçak yakıtları, sanayi, vb.) olabilir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, Avrupa ve Anadolu Yakası'nın insan aktivitelerinin yoğun olduğu bölgelerinden olan Kadıköy, Aksaray ve Yenibosna'da bulunan örnekleme istasyonlarında 2017-2018 yıllarında farklı mevsimsel dönemlerde alınmış partikül madde (PM₁₀) numunelerinde Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn metallerinin derişimlerini incelemek, elde edilen metal verilerini ve kirletic gaz emisyonları mevsimsel, coğrafik konum ve meteorolojik şartlar, vb. ile birlikte değerlendirerek İstanbul İlinin farklı bölgelerindeki inorganik kirleticilerin miktarlarına ait güncel verileri ortaya koymak ve kirliliğin kaynağı hakkında yorumlamalar yapmaktır. Ayrıca zenginleşme faktörlerinden yola çıkılarak karadan atmosfere ve/veya atmosferden karaya olan metal taşınımlarını belirlemektir.

Bu çalışmada metal verileriyle birlikte, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Hava Kalitesi Merkezi tarafından ölçümleri gerçekleştirilen ve www.havakalitesi.ibb.gov.tr adresinde günlük olarak yayınlanmakta olan CO, NO, NO₂, NO_x, SO₂, O₃ kirletic gazlarının hem analiz

dönemlerine hem de 2020 ve 2021 yıllarının ilk 7 ayına ait emisyon miktarlarının da verilerinin değerlendirmesi yapılacaktır. Böylece, önce bütün dünyayı etkisi altına alan, Türkiye’de ise 2020 yılının Mart ayında görülmeye başlanan Covid-19 salgını sebebiyle, bu 2 yılda dönem dönem uygulanan kısıtlamaların hava kirliliğine etkisinin olup olmadığı araştırılacak ve kirlletici gazların kaynakları yorumlanacaktır.

Bu çalışma hem çalışma bölgesi, konusu ve örnekleme zamanı itibariyle, hem de sunduğu kapsam bakımından oldukça güncel ve ayrıntılı bir bilgi kaynağı olacaktır. Başka bir deyişle, ulusal ve uluslararası literatüre önemli bir kaynak oluşturacaktır.

1.2. Çevre Kirliliği ve Çeşitleri

Doğa unsurlarından, su, hava ve toprakta olumsuz etkilerin ortaya çıkmaya başlaması ile canlıların hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen ve cansız çevre öğelerinde yapısal zararlar meydana getirip niteliklerini bozan yabancı maddelerin suya, havaya ve toprağa yoğun bir şekilde karışmasına çevre kirliliği adı verilmektedir.

Başlıca çevre kirliliği çeşitleri şunlardır:

1. Hava kirliliği
2. Su kirliliği
3. Toprak kirliliği
4. Gürültü kirliliği

2. HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği, atmosferin doğal bileşimini değiştiren herhangi bir kirleticinin (örneğin; toz, duman, gaz, sis ya da buhar vb.) belirli miktar ve sürede havada bulunması halinde, canlılara zarar vermesi ya da canlıların yaşamını engellenmesi şeklinde tanımlanabilir.

“Hava kirliliği” olgusu bir dizi olayın gerçekleşmesidir:

- Kirleticilerin bir kaynaktan oluşması ve bir kaynaktan salınması (bütün kirlilik kökenleri),
- Atmosfere taşınım, yeni oluşumlar ve atmosferden uzaklaştırılmalar (kirlilik kökeni ile atmosferden uzaklaştırılması arasındaki bütün dönüşümler),
- Sonunda bunların insanları ve hatta bütün ekosistemleri etkilemesi (aerosollerin bütün canlıları ve ekosistemi etkilemesi).

Kirli havanın içerisinde insan sağlığına ve diğer canlılara zarar verecek seviyede istenmeyen maddeler bulunur. Bazı kirleticiler, kaynaktan atıldığında doğrudan havayı kirletir (birincil kirleticiler), bazıları da atmosferde iki kirleticinin tepkimeye girmesiyle yeni bir kirleticiler oluşabilir (ikincil kirleticiler) (Tablo 1). Sıcaklık ve nem gibi (meteorolojik) koşullar kirleticilerin dönüşmesinde etkilidir.

Tablo 1. Birincil ve ikincil hava kirleticileri

Sınıf	Birincil Kirleticiler	İkincil Kirleticiler
Kükürtlü Bileşikler	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , sülfatlı bileşikler
Organik Bileşikler	C ₁ - C ₅ bileşikler	Ketonlar, aldehytler, asitler
Azot Bileşikler	NO, NH ₃ , NO ₂	NO ₃ bileşikler
Karbon Oksitler	CO, CO ₂	-
Halojenler	HCl, HF	Fotokimyasal oksidantlar (Ozon, PAN, NO ₂)

Hava kirleticileri 4 grupta sınıflandırılabilir;

1. Partiküler madde (PM)
2. Ağır metaller (kurşun, civa, kadmiyum, nikel vb.)
3. Gaz kirleticiler (CO, SO_x, NO_x, O₃, HC)
4. Kalıcı organik kirleticiler (Dioksin/furan, PCB vb.)

2.1. Hava Kirliliği Kaynakları

Hava kirliliği, kaynaklarına göre doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

1. Doğal Kaynaklar: Kum ve toz fırtınaları, yanardağ faaliyetleri, yangınlar, denizler ve diğer sucul ortamlar vb.

2. Antropojenik Kaynaklar:

- Sanayi tesisleri; Petrol, kimya, demir-çelik, tekstil, gübre, maden sanayisi, termik santraller (Tablo 2).
- Motorlu taşıtlar; Fosil yakıt kullanımı ve trafik kaynaklı olarak kirliliğin artması.
- Isıtma sistemleri; Kömür kullanılması

Antropojenik kaynaklar sabit ve hareketli olmak üzere 2'ye ayrılır:

- Sabit kaynaklar: Üretim esnasında ya da yakıtların kullanımı sebebiyle oluşan kirlilik kaynaklarıdır.
- Hareketli kaynaklar: Taşıt egzozlarından çıkıp atmosfere verilen kirlilik kaynaklarıdır.

Tablo 2. Bazı endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkileri (TOBB, 1993)

Faaliyet Türü	PM	Ağır metal	CO-CO _x	NH ₃	NO _x	SO _x	H ₂ S	HC	Duman	Diğer Org. Kim.
Rafineriler, Gaz ve Sıvı Tesisler					X	X				X
Termik Santraller	X	X	X		X	X		X		
Entegre Kimya Tes. (Petrokimya)	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Kâğıt Sanayi	X			X	X	X	X	X		
Demir-Çelik Sanayi	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Çimento Sanayi	X					X				
Gübre Sanayi	X		X	X	X	X	X	X		X
Şeker Sanayi	X		X		X	X			X	X
Et Entegre Tesisi										
Deri Sanayi				X		X				X
Maden Çıkarılması										
Alüminyum	X									
Bakır	X			X		X				
Kurşun-Çinko	X				X					
Taş-Toprak Sanayi						X				X

2.2. İstanbul ve Marmara Bölgesi'nde Hava Kirliliği ve Kaynakları

Marmara Bölgesi ve özellikle de İstanbul Türkiye'nin birçok sektörünün gelişimine ev sahipliği ve öncülük yapan, pazarı konumunda olan, siyasi değil ama endüstriyel, ekonomik, kültürel vb. konularda başkenti sayılabilecek bir metropoldür. Bu durum hem doğrudan bir hava kirliliği (daha geniş bir ifadeyle çevre kirliliği) kaynağı olmakla birlikte, sebep olduğu nüfus artışıyla da dolaylı olarak (ısınma sistemleri, trafik vb.) kirliliğin artmasına neden olmaktadır.

Yoğun ve az hareketli trafiğin sebep olduğu kirlilik İstanbul'un en önemli sorunlarından biridir. Trafik kaynaklı kirlilik parametreleri CO, NO_x, SO_x PM ile birlikte ağır metallerdir. Araçlarda fosil yakıt kullanımı sebebiyle Cd, Ni, Cr; fren balataları sebebiyle Cu, Sb, Ba; lastiklerin aşınması sebebiyle Zn, Cd; kaplama lastik sebebiyle Ni, Cr elementleri çevreye yayılmaktadır (Hjortenkrans, 2008). İstanbul'da trafik yoğunluğu kış aylarında artmakta, yaz aylarında dönem dönem azalmaktadır.

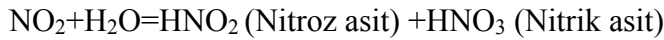
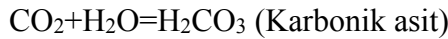
Bölgede birçok organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Bu da başlı başına göç ve nüfus artışı sebebidir. Bölgede hava kirliliğine neden olan başlıca sektörler; petrol rafinerileri, kimya endüstrisi, petrokimya, deri ve tekstil, çimento, lastik, gübre, demir-çelik fabrikalarıdır. Sanayi kaynaklı kirlilik parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

İstanbul Türkiye’nin ve dünyanın birçok noktasına doğrudan ve aktarmalı uçuşların olduğu 2 adet havaalanına sahiptir. 2017 yılı verilerine göre bu 2 havaalanının toplam yolcu sayısı yaklaşık olarak 95,5 milyondur (DHMİ, 2018). Bu da aynı yıl Türkiye’deki toplam yolcu sayısının %49’udur. Yolcu sayısının fazla olması uçuş sayısının da artmasına ve çevreye yayılan emisyonların daha çok olmasına sebep olmaktadır. Genel itibariyle uçakların uçuş esnasında oluşturdukları egzoz emisyonları CO₂ (Karbon dioksit), H₂O (su buharı) , NO_x (azot oksitler), SO_x (kükürt oksitler), CO (karbon monoksit), HC (hidrokarbonlar) gazları ile Al, Cr, Fe, Ni elementleridir (Kesgin, 2006; Starik, 2008).

2.3. Hava Kirliliğinin Sucul Ekosisteme Etkileri

Sucul ekosistemi etkileyen, kaynağı büyük ölçüde hava olan 3 temel hava kirletici vardır. Kükürt, başlıca asidifikasyon kaynağıdır. Azot, asidifiyasyona katkıda bulunur ve ötrofikasyona (aşırı zenginleşmeye) neden olabilir. Civa, organizmaların davranışlarını ve üremelerini değiştiren en güçlü nörotoksindir.

Asidifikasyon, atmosferdeki NO₂, SO₂, HNO₃ ve H₂SO₄ arasındaki kimyasal reaksiyon sebebiyle yağışın pH dengesinin değişmesidir ve pH’ın 0,1 düşmesi asidifikasyonun %30 artması anlamına gelmektedir (Meyer ve Elrahman, 2019). Asidifikasyon sonucu oluşan gazların suda çözünmesiyle asit yağmurları oluşmaktadır (Sonwani ve Maurya, 2019):



Fotooksidasyon kaynaklı olan karbondioksit emisyonlarının sucul ortam tarafından emilmesi sebebiyle sudaki H⁺ iyonlarının artarak suyu asidik hale getirmesi (karbondioksitin karbonik asite dönüşmesi) ve karbonat iyonlarının azalması durumudur. Özellikle pH değerinin 5’in altına düşmesi durumunda balıkların yaşaması çok zordur.

Ötrofikasyon, su kütleindeki besinlerdeki artıştan kaynaklanır ve sıklıkla yüzey akışına bağlı olarak aşırı alg çoğalmaları ve bitkilerin hızlıca büyümesiyle sonuçlanır. Su ortamında

ötrofikasyonla artan organik maddenin fotooksidasyonu ve bakteriyel bozunması sırasında da çözünmüş oksijen içeriklerinde düşüşler gerçekleşir, yani suboksik ve/veya anoksik koşullar oluşabilir ve canlıların ölümüne neden olabilir (Meyer ve Elrahman, 2019). Biyolojik kirlenme olarak da tanımlanan bu olay yüzeyden derinliklere oksijen iletiminin engellenmesine neden olarak özellikle su sirkülasyonunun kısıtlı olduğu körfez, haliç ve göllerde su kalitesinde bozulmalara yol açmaktadır.

2.4. Hava Kirliliğinin Diğer Çevresel Değişimlere Etkileri

Hava kirliliği (özellikle sülfür oksitler, nitrojen oksitler ve ozon), fiziksel bileşenlerini değiştirerek çeşitli ekosistemleri ve biyoçeşitliliği etkiler. Kükürt ve nitrojen oksitleri birlikte reaksiyona girerek asit yağmuru oluştururlar ve toprağın asitliğini artırırlar. Artan asitlik; ekosistemdeki besin döngüsü, üreme ve iklim düzenini olumsuz yönde etkiler (Sonwani ve Maurya, 2019).

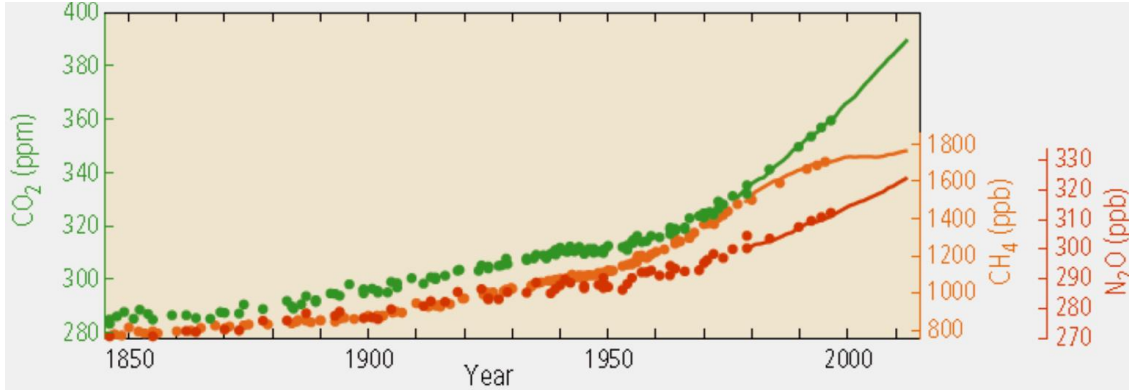
Evrende bir parametrenin zararlı ya da faydalı olarak sınıflandırılması her zaman kolay olmayabilir. Bu duruma konuyla ilgili en iyi örnek karbondioksittir. Karbondioksit atmosferin doğal yapısında bulunur. Hem bitkiler için fotosentezde temel ihtiyaçtır, hem de yüksek miktarda bulunması iklim değişikliği etkisi yapabilir.

Hava durumu ve iklim değişikliği arasında bir ilişki vardır. Hava durumu genel olarak herhangi bir zaman ve yerde atmosferin durumu olarak tanımlanırken, iklim herhangi bir yerdeki hava durumunun uzun vadeli ortalamasıdır.

Hava kirleticileri, insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki etkileriyle beraber iklim üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Kirletici maddeye bağlı olarak bu iklim etkileri; ısınma, soğuma veya her ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir (Pilling, 2007).

Atmosfer ile yeryüzü arasında bir tabaka oluşturarak dünyaya gelen kızıl ötesi ışınları tutan ve ısıya dönüştüren, dünyadan yansıyan ışınları absorblayan, dünyanın ısı dengesini düzenleyen gazlar sera gazı olarak adlandırılmaktadır (Bayraç ve Emrah, 2016). Karbondioksit (CO_2), kloroflorokarbon (CFC), metan (CH_4), ozon (O_3), diazotmonoksit (N_2O) ve su buharı sera gazı olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda daha fazla artış gösteren sera gazı emisyonları hem doğal hem de insani faaliyetler aracılığıyla dünya ve atmosferinin radyasyon dengesini bozarak küresel ısınmaya, iklim değişikliğine, deniz suyunun ısınması ve yükselmesine, kuraklık ve sel olaylarına neden olmaktadır (Pachauri ve Meyer, 2015).

Araştırmalara göre, CO₂ emisyonlarından kaynaklanan iklim değişikliği sorunlarının birkaç yüzyılda, hatta 1000 yılda bile geri döndürülemeyebileceği düşünülmektedir (Pachauri ve Meyer, 2015). Şekil 1’de 1850 yılından günümüze CO₂ emisyonundaki artışın son yıllarda hızlandığı görülmektedir.



Şekil 1. Global yıllık ortalama sera gazı konsantrasyonları (karbonmonoksit, metan, nitroz asit) (Pachauri ve Meyer (2015)’den alınmıştır).

2.5. Hava Kirleticilerin İnsan Sağlığına Etkileri

Hava kirleticiler arasında önemli bir yere sahip olan atmosferdeki partikül maddeler (PM), ciddi çevresel sorunlara neden olabilmektedirler. Partiküllerin büyüklüğü, kirletici kaynaklarının belirlenmesi, sağlık etkilerinin, iklim üzerindeki etkilerinin, atmosferdeki kalış sürelerinin ve atmosferden temizlenme mekanizmalarının anlaşılması yönünden çok önemlidir (Kara ve diğerleri, 2010).

Çeşitli salgın ve toksikolojik hastalıklarla ilgili yapılan çalışmalarda yüksek PM konsantrasyonlarının özellikle solunum yolu hastalıklarına karşı hassas olanlarda solunum, alerjik hatta ölümcül hastalıklara sebep olduğu kanıtlanmıştır (Khan, 2016). Solunum sistemini etkileyen başlıca hava kirletici türleri ve insan sağlığına etkileri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Hava kirleticileri ve insan sağığına etkileri (ÇMO, 2019)

Kirletici	Ana Kaynağı	Sağığına Etkisi
Kükürtdioksit (SO ₂)	Fosil Yakıt Yanması, Taşıt Emisyonları	Solunum Yolu Hastalıkları, Asit Yağmurları
Azot Oksitler (NO _x)	Taşıt Emisyonları, Yüksek Sıcaklıkta Yakma Prosesleri	Göz ve Solunum Yolu Hastalıkları, Asit Yağmurları
Partikül Madde (PM)	Sanayi, Taşıt Emisyonları, Fosil Yakıt Yanması, Tarım ve İkincil Kimyasal Reaksiyonlar	Kanser Kalp Problemleri, Solunum Yolu Hastalıkları, Bebek Ölüm Oranlarında Artış
Ozon (O ₃)	Trafikten Kaynaklanan Azot Oksitler ve Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) Güneş Işığıyla Değışimi	Solunum Sistemi Problemleri, Göz ve Burunda İritasyon, Astım, Vücut Direncinde Azalma
Karbonmonoksit (CO)	Eksik Yanma Ürünü, Taşıt Emisyonları	Kandaki Hemeoglobin ile Birleşerek Oksijen Taşınma Kapasitesinde Azalma, Ölüm

İnce partiküller havada bir süre asılı kalabildiğıinden kirleticilerin uzun mesafeler boyunca taşınmasına yardımcı olmakta, aynı zamanda solunum sistemine derinlemesine nüfuz edebildikleri için çok sayıda sağıık problemine sebep olabilmektedirler (Vallero, 2008).

Soluduğumuz hava üç temel formda aerosol içermektedir. Birincisi, taşıt egzozları, sigara dumanı ve orman yangınları sonucu oluşan 0,1-1 µm büyüklüğünde partiküller; ikincisi, yine taşıt egzozlarından çıkan ortalama 7 µm çapında partiküller; üçüncüsü, polenler, madenlerden ve çeşitli kazılar sırasında oluşan 3-20 µm'lik partiküllerdir (Mirici ve Tutar, 2002).

Boyutu 0,25-1 µm arasında olan partiküller maddeler hava ile solunum sistemine rahat bir şekilde girme ve çıkma özelliğine sahip olduklarından insanlar bu boyuttaki partiküllerle sık sık temas ederler. 0,25-1 µm arasındaki partiküllerin akciğerde birikme riski daha büyüktür.

DSÖ (2019), hava kalitesinde herhangi bir değışiklik olmasa bile hava kirliliğinden kaynaklanan ölüm oranının önümüzdeki 15 yıl içinde %20-30 artacağını tahmin etmektedir.

2.6. Hava Kirliliği ve Covid-19

Dünya genelinde Covid-19 salgınının yayılımı hızla artmaktadır. Hava kirliliği, Covid-19'un daha ciddi seyretmesi ve ölümcül olmasına yol açan diyabet, akciğer hastalıkları, astım, kalp hastalıkları ve kanser gibi önceden var olan sağlık sorunlarını artırmaktadır. Bu sağlık sorunları, Covid-19 virüsünden enfekte olmuş hastaların hastaneye yatış oranlarını ve ölüm riskini de önemli ölçüde arttırmaktadır (CREA, 2020).

Hava kirliliği ve Covid-19 ilişkisiyle ilgili ilk önemli çalışma Wu ve diğerleri (2020) tarafından yapılmıştır. Çalışmaya göre uzun süreli hava kirliliği maruziyeti yaşayan insanların Covid-19'dan çok daha fazla etkilendiği ve havadaki PM_{2.5} miktarındaki 1 µg/m³ artışın Covid-19 kaynaklı ölüm oranını %8 artmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Tian ve diğerleri (2020), Çin'de salgından önceki beş yıl içinde yüksek seviyede NO₂ kirliliğine (10 µg/m³) sahip olan bölgelerde %22 daha fazla Covid-19 vakası görüldüğünü; Ogen (2020) ise İtalya, İspanya, Fransa ve Almanya'daki 66 idari bölgede koronavirüs ölümlerinin %78'inin hava kirliliği en yüksek olan beş bölgede meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır.

Avrupa'da pandeminin başlamasından 2021 yılı başına kadar yapılan çalışmalar, karantina dönemlerinde NO₂ miktarının %30-50 oranında, PM_{2.5} ve PM₁₀ miktarının ise nispeten daha az oranda azaldığını; aksine, NO₂ oluşumunda rol alan O₃ miktarının biraz arttığını, kirliliğin azalmasındaki en büyük etkenin trafik olduğunu göstermektedir (Brunekreef ve diğerleri, 2021).

Çelik ve Gül (2021), Covid-19 pandemisi ve kısıtlamalarının hava kirliliği parametrelerine etkisini görmek amacıyla Mart-Mayıs 2020 tarihleri arasında İstanbul'da ÇŞB ve İBB'ye ait 19 istasyondaki PM₁₀, SO₂, CO, NO₂, NO, NO_x ve O₃ verilerini önceki yılın aynı dönemiyle karşılaştırmıştır. PM₁₀, NO₂, NO ve NO_x konsantrasyonlarının belirgin bir şekilde azaldığı, SO₂ ve CO parametrelerinin homojen dağılım-değişim göstermediği, O₃ konsantrasyonlarında kısmi bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Kaskun ve Ulutaş (2020), 2016 ve 2020 yılları arasında trafiğe bağlı PM₁₀ ve NO₂ kirlleticilerinin miktarındaki değişimi virüsten önce ve sonra iki kısımda değerlendirmek amacıyla İstanbul'da 4 istasyonda (Üsküdar, Ümraniye, Mecidiyeköy, Şirinevler) izleme yapmıştır. Çalışılan dönem boyunca PM₁₀ konsantrasyonunda anlamlı bir fark olmadığı, bunun sebebinin PM₁₀'un sadece trafik kaynaklı olmadığı; endüstriyel faaliyetler, ısınma vb. antropojenik faaliyetlerin de etken olduğu belirtilmiştir. NO₂ konsantrasyonlarında ise bütün

istasyonlarda 2020 yılında önceki yıllara göre anlamlı bir düşüş olmuş ve ortalama yüzde 11,8 azalma görülmüştür.

Fu ve diğerleri (2020), Dünya’da Covid-19 pandemisi ve değişik karantina uygulamalarının hava kirliliğine etkisini görmek amacıyla 6 farklı kıtadaki 20 şehirde 2020 yılında tam karantina kurallarının geçerli olduğu dönemlere ait PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 ve CO konsantrasyonlarının hem 2019’a hem de 2017-2019 (aynı dönemler) ortalamasına göre değişikliklerini incelemiştir. Özellikle Asya ülkelerinde NO_2 , SO_2 ve $PM_{2.5}$ emisyonlarında belirgin bir azalma görülmüştür. İstanbul’da bu dönemde bir önceki yıla göre insan hareketliliği ve araç kullanımının %60 azaldığı, NO_2 konsantrasyonunun %19,9 ile en az düşüşün olduğu yerlerden biri olduğu, önceki 3 yıla kıyasla O_3 miktarı en çok azalan şehir olduğu (en çok artış Wuhan’da) tespit edilmiştir.

Chu ve diğerleri (2020), pandemi ve karantina koşullarının etkisini görmek amacıyla Çin Ulusal Çevre İzleme Merkezi’nden elde edilen veriler yardımıyla Çin geneli, Hubei eyaleti ve Wuhan şehrindeki hava kirletici konsantrasyonlarının değişimlerini zamansal ve mekânsal olarak 2019-2020 yıllarını karşılaştırarak değerlendirmiş, $PM_{2.5}$ ve NO_2 ’nin birbiriyle ilişkili olduğu, NO_2 değerlerinin sırasıyla %30, %50, %53; $PM_{2.5}$ değerlerinin sırasıyla %19, %29, %35 azaldığı, bu 2 değerdeki eşzamanlı düşüşün O_3 miktarının artmasına sebep olduğu, SO_2 ve CO konsantrasyonlarının ise çok daha az miktarda düşüş gösterdiği görülmüştür.

Khan ve diğerleri (2020), Covid-19’un çevre üzerine etkilerin tartışılması amacıyla dünya genelindeki araştırma makaleleriyle birlikte NASA ve ESA tarafından yayınlanan güncel verileri derlemiştir. $PM_{2.5}$ ortalamalarının derlemedeki 9 çalışmada da azaldığı, en çok azalan şehirlerin Lahore (Pakistan), Delhi (Hindistan), Seul (Güney Kore) (sırasıyla %63, 60, 54 oranlarında) olduğu; $PM_{2.5}$, NO_2 ve CO konsantrasyonlarının aynı anda önemli miktarda azaldığı ve bunun sonucunda O_3 konsantrasyonunu da arttırdığı görülmüştür. Bu durum pandeminin ilk zamanlarında uygulanan 2-3 aylık karantinaların bile hava kalitesini olumlu şekilde etkilediğini göstermektedir.

Temiz Hava Platformu (2020)’na göre Türkiye’de 30 yaş üstü ölümlerden hava kirliliğine atfedilen ölüm sayısı 2018 yılında 45.398 (İstanbul; 5806), 2019 yılında 31.476’dır (İstanbul; 3761). Türkiye’de 17 Mart 2020’den itibaren 1 yıl içinde Covid-19 kaynaklı ölüm sayısı 29.623’tür (Sağlık Bakanlığı, 2021).

2.7. Hava Kirleticisi Parametrelerin Sınır Değerleri

Türkiye’de uygulanan hava kalitesi sınır değerleri 06.06.2008 tarihli Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nde (HKDYY) belirtilmiştir (Tablo 4). Yönetmelik, ilk çıktığı zamandan itibaren biraz daha yüksek olarak belirlenen değerler kademeli olarak azaltılarak günümüze kadar Avrupa Birliği tarafından uygulanan değerlere ulaşmayı hedeflemiştir ve genel olarak bu hedefine ulaşmış olarak kabul edilebilir.

Tablo 4. Hava kirleticisi parametrelerin sınır değerleri (HKDYY’den alınmıştır).

Kirleticisi	Süre	Limit Değerler ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		AB değerine ulaşılan/ulaşılabacak olan tarih
		Türkiye	AB	
PM ₁₀	Günlük	50	50	01.2019
	Yıllık	40	40	
CO	8 saatlik	10000	10000	01.2017
SO ₂	Saatlik	350	350	01.2019
	Günlük	125	125	
	Yıllık	20	20	01.2014
NO ₂	Saatlik	240	200	01.2024
	Yıllık	46	40	
NO _x	Yıllık	30	30	01.2014
Pb	Yıllık	0,5	0,5	01.2019
Cd	Yıllık	0,005	0,005	01.2020
Ni	Yıllık	0,02	0,02	01.2020

2.8. Hava Kirliliğinin Önlenmesi için Yapılan Çalışmalar ve Yıllara Göre Değişimi

Sanayi devrimi ile artmaya başlayan kirleticisi emisyonu 20. yüzyılda zirveye ulaşmıştır. Son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, daha düşük sülfür ve diğer kirleticisi parametreler içermesi sebebiyle doğalgaz kullanımı yaygınlaşmış, kaliteli ve daha az kükürt salınımına sebep olan kömürlerin kullanımı teşvik edilmiştir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), Birleşmiş Milletler öncülüğünde 1992 yılında sera gazı oranlarını düşürerek küresel ısınmayı yavaşlatmak amacıyla imzalanan ilk uluslararası çevre sözleşmesidir. Bu sözleşme kapsamında imzalanan Kyoto Protokolü daha net hedefler belirlemiştir. Türkiye, protokolü 2008 yılında onaylamıştır.

Gelişmiş ülkelerde motorlu taşıtların sebep olduğu kirliliklerin azaltılması için bir takım düzenlemeler getirilmiştir. Türkiye, Avrupa ve dünyanın büyük bölümünde “Euro” emisyon standartları kullanılmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Binek araçlar için Euro emisyon standardı sınır değerleri

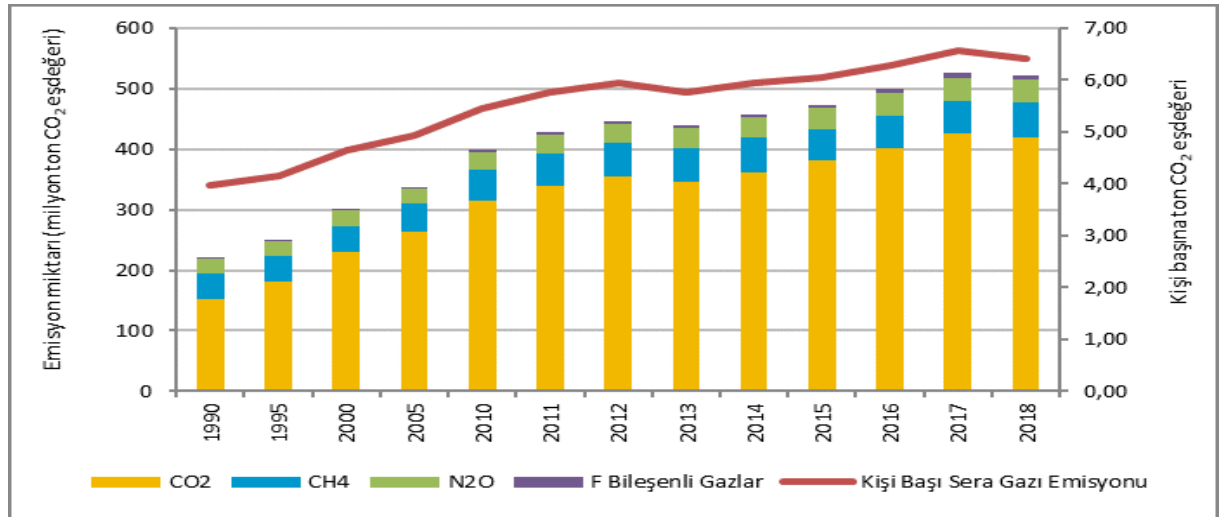
Standart	Tarih	CO (mg/km)		NO _x (mg/km)		PM (mg/km)	
		Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel
Euro 1	1992	2720	2720	-	-	-	140
Euro 2	1996	2200	1000	-	-	-	80
Euro 3	2000	2300	640	150	500	-	50
Euro 4	2005	1000	500	80	200	-	25
Euro 5	2009	1000	500	60	180	5	5
Euro 6	2014	1000	500	60	80	5	5

EPA (2021a), ABD’de hava kirletici bazı parametrelerin 1980, 1990, 2000 ve 2010 yıllarındaki miktarlarının 2020 yılına göre değişimlerinin incelendiği çalışmada parametrelerin tamamının bariz bir şekilde azalma gösterdiğini tespit etmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. ABD’de hava kirletici emisyonların 1980-2020 yılları arasındaki değişimi (%) (EPA (2021)’dan alınmıştır).

Parametre	1980-2020	1990-2020	2000-2020	2010-2020
Karbon monoksit (CO)	-75	-70	-57	-29
Kurşun (Pb)	-99	-87	-76	-30
Azot oksitler (NO _x)	-70	-68	-64	-46
Uçucu organik bileşikler	-60	-48	-29	-20
PM ₁₀	-64	-31	-28	-19
PM _{2,5}	-	-38	-44	-22
Sülfür dioksit (SO ₂)	-93	-92	-89	-76

Türkiye’de de seragazı emisyonlarının artış hızının son yıllarda yavaşladığı görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye’de seragazı emisyonlarının yıllara göre değişimi (TÜİK’ten alınmıştır).

Türkiye’de 2008 yılında hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini engellenmesi, hava kalitesi ile ilgili veriler toplayıp toplumun bilgilendirilmesi ve hava kirlletici parametrelerin kademeli olarak AB tarafından belirlenen limit değerlere indirilmesi amacıyla Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) yürürlüğe girmiştir. 2000’li yıllarda ayrıca endüstri, ısınma, motorlu araçlar vb. alanlarla ilgili çeşitli yönetmelikler yayımlanmış olup en çok dikkat çeken benzinde kükürt miktarının zamanla azaltılması ve yasaklanmasıdır.

İstanbul’da hava kalitesinin kontrolü ve takibi İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü Hava Kalitesi İzleme Merkezi’ne ait 26 adet; Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait 12 adet olmak üzere toplam 38 adet izleme istasyonu ile gerçekleştirilmektedir.

2.9. Partikül Madde

Havada asılı katı ve sıvı parçacıkların karışımından oluşan bir hava kirleticisidir. Bu parçacıklar birçok boyut ve şekilde olabilir ve yüzlerce farklı kimyasaldan oluşabilir (EPA, 2021b).

Partikül Madde (PM) ifadesi, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı yapılardan meydana gelen ve ortam havasında bulunan katı veya sıvı her türlü madde için kullanılır. Aerosol terimi

genellikle PM ile eşanlamlı olarak kullanılır. Bir aerosol, havada katı veya sıvı partiküllerin süspansiyonu olabilir, hem partikülleri hem de havanın tüm buhar veya gaz fazı bileşenlerini içerir.

En tehlikeli PM bileşenleri, çapı 10 µm veya daha düşük olan partikül maddelerdir (PM₁₀ ve PM_{2.5}). PM için uluslararası kuruluşlar ve ülkemizde farklı limit değerler uygulanmaktadır (Tablo 7). PM, tek başına bir toksik madde değildir; karbon, ağır metaller, inorganik iyonlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve toprak kökenli elementlerden oluşur. Çapı 2,5-10 µm arasındakiler (PM_{2.5}-PM₁₀) kaba, 2,5 µm ve daha küçük çaplılar ince olarak isimlendirilir ve ikisi de akciğerlerde lokal inflamasyona neden olurlar (EPA, 2021b). Trafik, özellikle de dizel motorlu araçlar PM kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Tablo 7. PM₁₀- PM_{2.5} için Türkiye-AB-DSÖ karşılaştırmalı sınır değerleri (µg/m³)

Parametre	Türkiye	AB	DSÖ
PM ₁₀	40	40	20
PM _{2.5}	Yok	25	10

2.10. Alüminyum

Alüminyumun hava kirliliği kaynaklı vücuda alımı çok az miktardadır. Havadaki alüminyum miktarı, yerine ve hava koşullarına göre değişse de genellikle 0,005-0,18 µg/m³ arasındadır ve bu miktar kentsel ve endüstriyel bölgelerde 0,4-8,0 µg/m³'e kadar çıkabilir. (Aksu, 2015). Havadaki alüminyumun temel kaynakları; rüzgâr sebebiyle toprak tozlarının uçması, kömür yakılması, boya, galvaniz kaplama işlemleri ve böcek ilaçlarıdır (Hashimoto ve Sekine, 1992).

2.11. Ağır Metaller

Ağır metal tanımı, yoğunluğu 5 g/cm³ ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba 60 tan fazla metal (kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa, çinko vb.) dâhildir ve bu elementler yer kürede genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde bileşik olarak veya silikatlar içinde bulunurlar (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2004).

Ağır metallerin çevreye yayılmasının en önemli kaynakları fosil yakıt (katı-sıvı) kullanılması, maden işletmeleri, kimya ve boya endüstrisi, çimento üretimi, demir çelik sanayi,

termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleri gibi endüstriyel faaliyetlerdir. Bu faaliyetler sebebiyle çevreye kadmiyum, kurşun, arsenik, demir, nikel, krom gibi metaller yayılmaktadır (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2004).

Metal kirliliği en çok sucul ortamlara zarar vermektedir. Metaller sularda çözünabilir ya da çözünmeden kalarak çökebilir. Kirlenme zirai ve endüstriyel atıklar ya da başka herhangi bir sebeple havaya salınan metal içerikli maddeler sebebiyle olabilmektedir. Kirlenen hava fiziki ve meteorolojik sebeplerle yere inerek akarsular ile su yataklarına ulaşırlar. Metal kirleticiler, organik kirleticiler gibi biyolojik ya da kimyasal olarak parçalanmazlar, sadece bir bileşikten başka bir bileşiğe, forma dönerler; ancak hiçbir şekilde kaybolmazlar (Taylan ve Özkoç, 2007; Rainbow, 1995).

Ağır metallerin çevrede birikmesinde ve çevreyi oluşturan alt birimlerdeki dağılımında bölgenin yağış miktarı, hâkim rüzgarların yönü ve hızları gibi iklim koşulları ile yükseklik ve bitki örtüsü önemli rol oynamaktadır. Atmosferdeki çeşitli partiküllere bağlı olarak bulunabilen ağır metaller, partikülün büyüklüğüne ve fiziksel durumuna göre bölgesel olarak birikebilirler. Partikül büyüklüğünün dağılımı metallerin toksisiteleri üzerine büyük bir etkiye sahiptir.

2.11.1. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum doğada nadir bulunan bir elementtir (yer kabuğunda 0,2 mg/kg). Esas olarak çinko, kurşun ve bakır sülfür cevherleri ile birlikte oluşur ve çinko endüstrisinde yan ürün olarak üretilir. Atmosferdeki kadmiyum çok çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan oluşmaktadır. Doğal kadmiyum kaynaklarının %62'si volkanik aerosoller, %25'i bitkiler ve bitki örtüsü, %12'si sızıntılar, %2'si orman yangınlarıdır (European Commission, 2000). Antropojenik kaynakları ise; çinko, bakır ve kurşun üretim proseslerinde, korozyona dayanımı sebebiyle uçak ve gemi sanayisinde, ısıtma ve yakma proseslerinde (kömür ve fuel oil), plastik yapımında stabilizatör olarak ve demir-çelik üretiminde atmosfere salınır. Kadmiyumun en önemli kullanım alanı eskiden kadmiyum-nikel pil üretimi iken günümüzde Li-ion ve Ni-MH (nikel-metal hidrit) pillerde kullanılmaktadır (Kwiatkowski ve diğerleri, 2020).

Kadmiyum atmosfere elementel kadmiyum, kadmiyum oksit, kadmiyum sülfür veya kadmiyum klorür olarak salınabilir. Antropojenik faaliyetler sonucu genellikle CdO formu çevreye yayılır. Havadaki kadmiyum genellikle ince partikül maddesidir. Emisyonların bir kısmı kaynağının hemen yakınında çökebilir ancak PM içerisindeki kadmiyum çok uzun mesafelere ulaşabilir (WHO, 2007).

Kadmiyum suda çözünme özelliği en fazla olan metaldir ve bu sebeple doğada yayılım hızı da yüksektir. Cd^{+2} halinde bitkiler ve deniz canlıları tarafından alınmakta olup organizmalarda birikme özelliğine sahiptir ve insanların yaşamı için gerekli olan elementlerden değildir. (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2004).

2.11.2. Kurşun (Pb)

Kurşunun en çok kullanıldığı sektör pil-batarya imalatıdır. Ayrıca petrol rafinerisinde, sac kurşun, lehimde, metallerin üretiminde, seramik sırlamada, boya üretiminde, mühimmatta, kablo kaplamasında kullanılmaktadır. Tetraetil kurşun, kurşun katkı maddeleri aşamalı olarak kaldırılana kadar oktan oranını artırmak için benzinde kullanılmış ve daha sonra benzinde kullanımı tamamen yasaklanmıştır (Geiger ve Cooper, 2010).

Kurşunun başlıca havaya yayılma kaynakları; demir-çelik üretimi, kurşun oksit üretimi, fueloil ve kömür kullanımı, pirinç üretimidir. Kurşun insan faaliyetleriyle atmosfere en çok zarar veren ağır metallerden biridir ve atmosfere metal veya bileşik olarak yayılarak çevre kirliliğine neden olur (Karaçağıl, 2013). Atmosferdeki kurşun, ince partikül maddede uzun menzilli olarak taşınabilmesi kutup bölgelerindeki kurşunun varlığını açıklamaktadır (Kwiatkowski ve diğerleri 2020).

Avrupa'da atmosferdeki kurşun seviyeleri son yıllarda önemli ölçüde azalmış, havadaki kurşun sebebiyle maruziyet ihtimali oldukça düşmüştür. Ancak petroldeki kurşunun yasaklanmasından önce ulaşım, özellikle trafiğin yoğun olduğu bölgelerde kurşun maruziyetinin başlıca kaynağı olmuştur (Kwiatkowski ve diğerleri, 2020).

2.11.3. Nikel (Ni)

Nikel ve bileşiklerinin endüstriyel ve ticari birçok kullanım alanı vardır. Nikelin yoğun olarak kullanıldığı alanlar; madencilik, metal cevherlerinin eritilmesi ve işlenmesi, çelik ve metal alaşım üretimi, elektrokaplama, pil, madeni paralar, araç bujileridir. Ayrıca, karbon emisyonlarını azaltmak gibi temel çevre politikası hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olan teknoloji ve uygulamalarda önemli rol oynamaktadır (Nickel Institute, 2021).

Nikelin çevreye en çok salındığı kaynaklar doğal olarak, toprak, bitki örtüsü, orman yangınları ve volkanik aktiviteler, antropolojik olarak ise mazot, kömür ve fuel oil yakılması, atık bertaraf tesisleridir (Kwiatkowski ve diğerleri, 2020).

Nikel genellikle kaba partiküllerde bulunur ve toplam nikel emisyonunun % 30'una kadarlık kısmı kaynağının yakınında bulunur (Kwiatkowski ve diğerleri, 2020). Birkaç farklı

oksidasyon da bulunabilmesine rağmen çevresel koşullar altında yaygın olanı Ni(II) olup en önemli bileşikleri ise klorür, sülfat, nitrat, karbonat ve oksit formlarıdır (Coogan ve diğerleri, 1989).

2.11.4. Krom (Cr)

Krom (Cr); ekosistemin tamamında, hava, su ve toprakta birçok farklı kimyasal formda (Cr (III) ile Cr (VI) arasında) bulunan, insan ve çevre için ciddi etkileri olan bir kirleticidir. En toksik krom türü olan Cr (VI) genellikle oksijenli bileşikler olan kromat (CrO_4^{2-}) ve dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) formunda bulunur ve kanserojendir. Cr (III) ise daha kararlı ve daha az toksiktir (Shanker ve Venkateswarlu, 2011).

Kromun en önemli kullanım alanları, deri sanayisi, kromat üretimi, paslanmaz çelik kaynakları, fren balatası, ferrokrom ve boyar madde üretimidir. Krom, çok farklı doğal ve antropojenik kaynaklardan çevreye yayılır. Doğal kaynaklar; toprak tozları, yanardağ faaliyetleri, orman yangınları vb.lerdir. Antropojenik kaynaklar; kâğıt fabrikaları, tabakhaneler, metal-krom sanayileri, atık bertaraf tesisleridir.

2.11.5. Bakır (Cu)

Bakırın kullanım alanları; tel, tesisat boruları, sac metal, madeni para imalatları ve tarımdır. Başlıca, iyi bir iletken olduğu için kablolar ve elektronik aletlerde kullanılmaktadır. Çevreye yayılım kaynakları doğal olarak volkanik patlamalar; antropojenik olarak araç fren balataları, kömürle çalışan termik santraller, bakır cevherinin eritilmesi, bakır tozları, kaynak işlemleridir (Khan, 2016). Bakır eritme tesislerinden çıkan en önemli emisyonlar sülfür dioksit ve partikül maddedir (Cheremisinoff, 2002).

Bakır elementinin korozyona karşı dirençli olduğu kabul edilmektedir. Ancak sülfür dioksitin havada nem ile birleşerek oluşturduğu sülfürik asit demir, çelik, çinko ve bakırda korozyona neden olabilmektedir. Sülfür oksitler bakır ile tepkimeye girerek yeşil patinanın (yüzeyde korozyonla oluşan tabaka) oluşmasına sebep olur (Cheremisinoff, 2002).

2.11.6. Çinko (Zn)

Çinko bileşikler endüstride yaygın olarak boya, kauçuk, boyalar, ahşap koruyucuları, merhem imalatında ve pirinç, bronz, çinko-bakır alaşımları dâhil birçok alışımda kullanılmaktadır. Çinko, kullanımı en yaygın olan metaller arasında sırasıyla demir, alüminyum ve bakırdan sonra dördüncü metaldir. Yaygın olarak karşılaşılan tehlikeli çinko bileşikleri;

Çinko klorür, çinko oksit, çinko sülfat ve çinko sülfürdür. Sülfidik inko cevher üretimi büyük miktarlarda kükürt dioksit ve kadmiyum buharı çevreye yaymaktadır (Geiger ve Cooper, 2010).

2.11.7. Demir (Fe)

Demir doğada en yaygın kullanılan toprak kökenli bir metaldir. Doğada oksik ortamlarda Fe (III), anoksik ortamlarda Fe (II) olarak bulunur (Bjerregaard ve Andersen, 2007). İnsan vücudunda hemoglobin üretimi gibi çok önemli görevi vardır.

Düşük maliyeti ve yüksek mukavemeti sebebiyle makine ve tezgahlarda, otomobillerde, büyük gemi gövdelerinde, binaların yapısal bileşenlerinde vb. mühendislik uygulamalarında vazgeçilmez bir metaldir. Saf demirin çok hafif olması sebebiyle çoğunlukla elik formunda kullanılmaktadır (Geiger ve Cooper, 2010). elik; demir ile beraber krom, nikel, bakır, mangan vb. elementlerin alaşımıdır. Demir elik endüstrisindeki emisyonlar NO_x, CO, SO₂, toz, duman; ayrıca kullanılan metale göre kadmiyum, bakır, çinko, kurşun, nikel vb.dir (Kahvecioğlu ve diğerleri, 2004).

2.11.8. Mangan (Mn)

Doğada en çok bulunan 5. metal olan mangan, saf olarak bulunmayıp MnO₂ (ticari olarak en önemlisi) ya da karbonat ve silikat gibi bileşikleri halinde bulunur. Havada (ortalama yaklaşık 0,02 µg/m³), suda (ortalama yaklaşık 0,004 ppm), toprakta (ortalama yaklaşık 40-900 ppm arası) günlük gıdalarda (ortalama yaklaşık 1-5 mg arası) bulunabilir (Röllin ve Nogueira, 2011).

Atmosferdeki manganın doğal kaynakları, okyanus spreyi, orman yangınları, bitkiler ve volkanik faaliyetler; antropojenik kaynaklar ise madenler, atık su deşarjı, elik ve pil üretimi olup ayrıca seramik, cam, tarım ilaçları, gübrelerde ve manganez trikarbonil (MMT) formuyla araç yakıtlarında (oktan arttırıcı olarak) yaygın kullanılmaktadır (Röllin ve Nogueira, 2011).

2.11.9. Kobalt (Co)

Kobalt periyodik tabloda geçiş elementi olarak sınıflandırılmıştır ve yer kabuğunda diğer elementlere göre nisbeten az miktarda bulunur (Kosiosek ve Wyszowski, 2019). Doğada en sık görülen formları Co⁺², Co⁺³ ve CoOH⁺'tır. Enerji santralleri vb. yakma işlemleri sonucu çevreye salınan kobalt atmosferde küçük parçacıklara bağlanırken (havada günlerce kalabilir) toprakta bulunan kobalt daha büyük parçalara bağlanabilir (ATSDR, 2004). İnsan vücudunun hemoglobin oluşturmak için Co (III) kompleksi olan B12 vitaminine ihtiyacı vardır.

Kobalt uçak motoru alaşımlarında, dayanım ve direnç gerektiren işlemlerde; kobalt bileşikleri boya, seramik ve camda pigment olarak, petrol endüstrisinde katalizör olarak, ilaç ve gübre sanayisinde katkı maddesi olarak kullanılır (ATSDR, 2004).

2.12. Gazlar

2.12.1. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit en yaygın ve en fazla dağılan hava kirleticilerinden biridir. Hayati derecede tehlikeli, renksiz, kokusuz bir gaz olup karbon tamamen yanmadığında oluşmaktadır. Karbonmonoksit sadece doğrudan havaya salınmakla kalmaz, su ve toprakta bulunan mikroorganizmalar da karbonmonoksiti karbondioksit'e dönüştürebilir (Wilbur ve diğerleri, 2012). Aynı zamanda metan gibi organik hava kirleticilerinden gelen kimyasal reaksiyonlarla da oluşabilir. Karbonmonoksit havaya salındıktan sonra yaklaşık iki ay atmosferde kalır ve atmosferdeki diğer kimyasallarla reaksiyona girerek karbondioksit'e dönüşür (Wilbur ve diğerleri, 2012).

Karbonmonoksit emisyonlarının yaklaşık üçte ikisi, fosil yakıt kullanımı (özellikle trafik sebebiyle araçların dur-kalk yapması ve ısınma amaçlı kullanım), tarlada kalan mahsülün yakılması, endüstriyel faaliyetler ve hidroksil radikaliyle (OH) metan oksidasyonu gibi antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 2016).

Yüksek miktarda karbonmonoksit kan dolaşımıyla akciğerden kritik organlara taşınan oksijen miktarının azalmasına sebep olarak insanlara zarar verebilmektedir.

2.12.2. Azot oksitler (NO_x)

Azot oksitler birincil kirleticidir. Azotun birçok oksitli bileşiği olmasına rağmen, insan aktiviteleri sonucu ortaya çıkmaları ve diğer oksitlerine göre atmosferde çok büyük oranda bulunmaları sebebiyle Azotmonoksit (NO) ve Azotdioksit (NO₂) bileşikler Azot Oksitler (NO_x) olarak adlandırılmaktadırlar. NO renksiz ve kokusuz; NO₂ kahverengi ve kokulu bir gazdır. NO genellikle nitrifikasyon, şimşek ve orman yangınları sonucunda doğal olarak; fosil yakıt kullanımı (egzoz emisyonları) ve enerji santralleri sebebiyle antropojenik olarak havaya yayılır (Reis ve diğerleri, 2009). En önemli azot oksit kaynağı, emisyonların %50'sinden fazlasının sebebi olan fosil yakıt kullanımıdır (Beirle ve diğerleri, 2003). NO₂ ise genellikle trafik, ısınma sistemleri ve endüstri gibi antropojenik kaynaklıdır.

Azot ve oksijen gazlarının yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonrası ana ürün olarak NO, yan ürün olarak NO₂ ve NO₃ oluşur (Glasson ve Tuesday, 1963). Azotmonoksit tam yanmama ürünü olup havadaki oksijen ile kolaylıkla azotdioksite dönüşebilir.

Azot oksitler hem asidifikasyon hem de ötrofikasyon kaynağıdır ve NO_x'in çok yüksek miktarda olduğu durumlarda NO₂ ile atmosferik OH'in tepkimeye girmesi sonucunda nitrik asit (HNO₃) oluşarak asit yağmuru, pus ve alg patlamasına sebep olabilir (Mallik, 2019). Azot oksitler, ozon üreterek küresel ısınmada önemli rol oynadıkları için 'dolaylı sera gazları' olarak da bilinirler (Grewe vd. 2012). Azot miktarının artması doğal besinin artması anlamına gelir ve bu da, besin dengesizliklerine ve stres azalmasına sebep olur; ormanlarda filizlenmeyi olumsuz yönde etkiler. Atmosferde kalma süreleri değişkendir. Küresel ısınmaya katkısı karbondioksitin yaklaşık olarak 300 katıdır (Pilling, 2007).

Azot oksitlerin insan sağlığına da zararlı etkileri vardır. Azotmonoksit, azotdioksite göre daha toksiktir (Lloyd's Register, 2002). USEPA tarafından bir kirletici olarak belirlenmiş olup NO_x emisyonlarının izlenmesi ve kontrol edilmesi zorunlu hale getirilmiştir (Mallik, 2019).

2.12.3. Kükürtdioksit (SO₂)

Kükürtdioksit renksiz, boğucu ve keskin bir kokuya sahip, suda çözünebilen, birincil kirletici bir gazdır. Kükürtdioksitin antropojenik kaynakları, doğal kaynaklarından kat kat fazladır. En önemli antropojenik kaynakları; kömür ve petrol kullanılan termik santraller, metal eritme tesisleri, taşıtlar ve ısıtma sistemleridir. Doğal kaynaklar ise orman yangınları, deniz spreyi ve oksijenin çok az olduğu bataklıklarda organik yapıların ayrışması sonucu açığa çıkan H₂S'tir. H₂S ile ozonun oksidasyonu sonucu da SO₂ oluşmaktadır (Mallik, 2019).

Asitlerin ve asit oluşturan bileşiklerin (SO₂ ve NO_x) kirlilik yükleri atmosferden Dünya'nın yüzeyine inerek birikebilir. Bu asit birikimi kuru veya ıslak olabilir (Pant ve Harrison, 2013). Islak birikim yaygın olarak asit yağmuru olarak tanımlanmaktadır.

SO₂'nin oksidasyon ile H₂SO₄'e dönüşme prensibi şu şekildedir (Stockwell ve Calvert, 1983):

- $\text{SO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HOSO}_2$
- $\text{HOSO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ (Sülfürik asit)

2.12.4. Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit miktarı 1750 sanayi döneminin başlangıcında havada ortalama yaklaşık 278 ppm oranında olduğu tahmin edilmekte iken 1976'da 332 ppm, 2000'de 369 ppm, günümüzde ise Haziran 2021 itibariyle 416 ppm'dir (Lindsey, 2020).

Karbondioksit birincil ve en önemli antropojenik sera gazıdır (EPA, 2021c). Okyanuslar antropojenik karbon dioksitin dörtte birinden fazlasını absorbe edebilir (~%27). Karbondioksitin diğer doğal depoları atmosfer (~%45) ve biyosferdir (~%28) (Pösel ve diğerleri, 2017). Okyanuslar ile birlikte ormanlar da doğanın karbondioksit depolarındandır. Ağaçlar fotosentez yaparken CO₂ kullanırlar ve atmosferden karbondioksiti doğal olarak uzaklaştırmış olurlar. Ormanların azalması, daha fazla karbondioksitin atmosferde birikmesi ya da okyanusların yükünün artması demektir (Fletcher ve Smith, 2020).

Doğada döngü halinde olan karbondioksitin doğal ve antropojenik kaynakları vardır. Son yıllarda antropojenik faaliyetler sebebiyle artan antropojenik kirlilik bu doğal döngüyü bozarak küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır. Karbondioksitin doğal kaynakları; doğal yanma olayları ve orman varlıklarının azaltılmasıdır. Antropojenik kaynaklar ise, enerji ve taşımacılık (kara, deniz, hava) için kullanılan fosil yakıtlar (petrol, kömür, doğalgaz vb.), çimento üretimi, imalat, inşaat ve madencilik endüstrisi ve tarımsal gübre kullanımıdır.

Karbondioksitin atmosferde bulunabilme süresi diğer çevresel koşullara göre 50 ila 200 yıldır (Pilling, 2007). Havadan yaklaşık 50 kat daha ağırdır ve yüksek basınç olduğunda alt tabakalarda birikir.

2.12.5. Ozon (O₃)

Ozon; arabalar, enerji santralleri, endüstriyel kazanlar, rafineriler, kimyasal tesisler ve diğer kaynaklardan yayılan kirleticilerin güneş ışığının varlığında kimyasal olarak reaksiyona girdiğinde açığa çıkar (NO_x+UOM+Sıcaklık&Güneş ışığı= Ozon). Ozon miktarının, kentsel ortamlarda sıcak ve güneşli günlerde sağlıklı seviyelere ulaşma olasılığı yüksektir, ancak daha soğuk aylarda da yüksek seviyelere ulaşabilir.

Suda çözünmeyen çok güçlü bir oksidandır. Yer seviyesinin yüksekliğine göre değişse de ozonun atmosferdeki ortalama ömrü yaklaşık 3 haftadır ve uzun mesafelere yayılabilir. Trafosferik ozon ise yer seviyesine kadar inen, çok düşük konsantrasyonlarda bile insan sağlığı için tehlikeli bir sera gazıdır ve ikincil kirleticidir (Filippidou ve Koukouliata, 2011).

Atmosferin doğal bileşeni olan ozonun yaklaşık %90'ı stratosfer %10'u troposfer tabakalarında bulunur (UNEP, 2021). Stratosferik ozon tabakasının görevi doğal dengenin sağlanması ve güneşten gelen zararlı UV ışınları süzülmesidir (UNEP, 2021). Bu tabakaya zarar veren en önemli kimyasallar sanayi kaynaklı, kloroflorokarbonlar (CCl_3F , CCl_3F_2), metil Klorür, metan, azot oksit ve halon gibi maddelerdir.

2.13. Zenginleşme Faktörü (ZF)

Zenginleşme faktörü, havadaki partikül maddenin kimyasal bileşiminin karakterize edilme yaklaşımı olup ölçümü yapılacak element ve normalizasyon metal konsantrasyon oranının havadaki miktarının referans ortam ve materyaldeki orandır (Balkıs ve diğerleri, 2009). Kirliliğin hem kaynağının, antropojenik kökenli mi doğal mı olduğunun, hem de miktarının tespit edilmesi için kullanılır. Referans ortam olarak kara seçildiğinde (ZF_{kara}) karadan havaya olan zenginleşme, deniz seçildiğinde (ZF_{deniz}) ise denizden havaya olan zenginleşme hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada normalizasyon elementi olarak Al kullanılmıştır. Al seçilmesinin nedenleri; toprak malzemesinin ince taneli fraksiyonlarını oluşturan potasyum alüminyum silikatın temel bileşenlerinden olması, doğada en çok bulunan 2. metal olması, alüminyum silikatın eser metal konsantrasyonuna katkıda bulunmaması ve antropojenik alüminyum kaynaklarından çok etkilenmemesidir (Balkıs ve diğerleri, 2009; Karbassi ve diğerleri, 2007; Schropp ve diğerleri, 1990).

Zenginleşme faktörü (ZF):

$$\text{ZF} = \frac{(\text{X}/\text{Al})_{\text{hava}}}{(\text{X}/\text{Al})_{\text{ref}}}$$

$(\text{X}/\text{Al})_{\text{hava}}$: Partikül maddede metal-Al konsantrasyon oranı

$(\text{X}/\text{Al})_{\text{ref}}$: Referans ortam ve materyalde metal-Al konsantrasyon oranı

Kadıköy istasyonunda ayrıca denizden havaya zenginleşme çalışması yapılmıştır. Denizden havaya zenginleşme faktörü hesaplanırken de Sodyum (Na) kullanılmaktadır (Chester, 1990).

Diğer ortamlardan karaya ya da denize zenginleşme faktörleri için belirlenmiş değerlendirme aralıkları olsa da, kara ve denizden havaya zenginleşme faktöründe net olarak değerlendirme yapılamamaktadır. Chester (1999), zenginleşme faktörü değerlerinin kabaca şu şekilde yorumlanabileceğini ifade etmiştir:

$ZF < 10$ ise, zenginleşme yoktur;

ZF_{kara} için, kirlilik kara kaynaklıdır.

ZF_{deniz} için, kirlilik deniz kaynaklıdır.

$ZF > 10$ ise, normal ya da aşırı zenginleşme vardır; kirlilik antropojeniktir.

2.14. Literatür

2.14.1. İstanbul'da hava kirliliği çalışmaları

Şahin ve diğerleri (2016), İstanbul'da 5 noktada [Avcılar, Beşiktaş, Rasathane, Göztepe ve Kilyos (şehrin geçmişini yorumlamak amacıyla)] 8 farklı boyutta topladığı partikül madde filtre örneklerinde boyut dağılımının ve kaynağın belirlenmesi amacıyla FAAS kullanarak 20 adet element analizi yapmıştır. En düşük metal konsantrasyonları Kilyos istasyonunda, antropojenik kaynaklı olarak bilinen metallerin (Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, V, As, Se, Co ve Cd) en yüksek değerleri Avcılar, Beşiktaş ve Göztepe istasyonlarında gözlemlenmiştir. İnce tane boyutuna sahip partiküldeki zenginleşme faktörünün kaba partiküldekinden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Faktör analizine göre en önemli emisyon kaynakları; Avcılarda endüstriyel, Beşiktaş'ta trafik, Göztepe'de ısınma, Rasathane'de ise ısınma, deniz tuzu aerosolü ve gemi trafiğidir.

Aksu (2015), İstanbul'da tersaneler ve metal, kimya, deri organize sanayi bölgelerinin bulunduğu Tuzla'da 2010 yılında aylık olarak topladığı 48 adet ortam numunesinde Cr, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb ve Al analizlerini yapmış ve Al kullanarak zenginleşme oranlarını hesaplamıştır. Zenginleşme faktörü yardımıyla aerosoldeki Cr ve Fe elementlerinin toprak kökenli olduğu, oranın ise sırasıyla $Cd > Pb > Cu > Zn$ şeklinde olduğu tespit edilmiştir.

Onat ve diğerleri (2012), İstanbul'un yoğun nüfuslu bölgelerinde (Yenibosna, Göztepe) 7 aylık dönemde aerosolde iz metallerin boyut dağılımı ve kaynak araştırması için farklı fraksiyonlarda PM numunelerini toplamış ve metal analizlerini (Pb, Ni, Cd, V, Cr, Co, Cu, Sn) yapmışlardır. Pb hariç bütün metallerdeki en yüksek değerler Göztepe istasyonunda ölçülmüştür. Yenibosna'da Pb konsantrasyonunun yüksek olmasının nedeninin havaalanı emisyonu, trafik ve endüstriyel emisyonlar olduğu belirtilmiştir.

Onat ve diğerkleri (2013), İstanbul D100, TEM bağlantısı ve Atatürk Havaalanı'nın olduğı Kùltür Üniversitesi Kampüsünde Nisan 2009-2010 arasında belirli dönemlerde yaptığı $PM_{2.5}$ ve PM_{10} örneklemelerinde 23 element analizi yapmış, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının önceki çalışmaya göre 10 kat arttığını tespit etmiştir.

Demir ve diğerkleri (2010), 2009 yılı mart ve nisan aylarında İstanbul'da Beşiktaş (trafik), Kabataş (Boğaz) ve Okmeydanı'nda (kentsel) oyun parklarında aerosol kaynaklı iz metal konsantrasyonlarını, aralarındaki korelasyonu ve topraktaki birikimini belirlemek amacıyla hava (hem $PM_{2.5}$ hem de PM_{10}) ve toprak numunelerinde Al, Na, K, Ca, Mg, Pb, Cu, Cr, Co, Zn, Ni, Cd ve V metallerinin analizlerini yapmıştır. 1.bölgede Pb özellikle izlenmiş ancak diğerk metallerle arasında önemli bir korelasyon görülmemiştir. 2.bölgede PM_{10} 'da Na ile Ca, Mg, Cu arasında bir korelasyon olduğı görülmüş, Na ve Mg arasındaki korelasyonun PM'nin büyük bir bölümünün deniz tuzu kaynaklı olduğunu gösterdiği belirtilmiştir. 3.bölgede diğerk bölgelerden farklı olarak hem $PM_{2.5}$ hem de PM_{10} 'da Pb ile Co, PM_{10} 'da Al ile Cd arasında yüksek korelasyon olduğı, bunun da elementlerin aynı kaynaklı olduğı anlamına geldiğı belirtilmiştir. Bu karşılaştırma topraktaki element miktarının antropojenik partiküller nedeniyle değişmekte olduğunu göstermiştir.

Özcan ve diğerkleri (2007), İstanbul Boğaz Köprüsünde motorlu taşıtların sebep olduğı ağır metal kirliliğine maruz kalan gişe memurunun kabininde soluduğı havada 13 ay boyunca 10 kez örnekleme yapıp toplam geçen araç sayısı ile beraber Pb, Cu, Zn, Cd, Ni analizlerini yapmıştır. Egzoz borusundan tetraetil kurşun emisyonu nedeniyle en yüksek konsantrasyon değerkleri kurşunda ve özellikle araçların lastikleri sebebiyle çinkoda elde edilmiştir. Bu elementlerin konsantrasyonlarının yüksekliğı ağır metal kirliliğı olduğunu göstermektedir.

Kural (2012), Tuzla atmosferinde Cr, Fe, Cu, Zn, Cd, Al ve Pb metalleri üzerine çalışma yapmıştır. Cr ve Fe elementlerinin kaynaklarının topraktan, Cu ve Cd elementlerinin antropojenik, Zn elementinin havadan, Pb elementinin doğal ve antropojenik olduğı düşünülmektedir. Güney ve güneybatı yönlü rüzgârların taşınım etkisi ile metallerin derişimlerini fazla oranda artırdığı gözlenmiştir. Güneyli rüzgârların hâkim olduğı sonbahar ve ilkbahar aylarında yüksek değerklere rastlanmıştır. Metal taşıyan parçacıkların yağmurla yere inmesi ile nemin yüksek olduğı dönemlerde metal derişimlerinde artışlar gözlenmiştir. Al sıcaklık artışı ile doğrudan ilişki gösterirken, Cd ters ilişki gösterdiği saptanmıştır. Cu, Zn, Pb ve Fe elementlerinin sıcaklıkla derişim değerişimleri söz konusu değildir. Atmosferdeki Cd, Pb

ve Cu varlığına doğal kaynaklarının yanı sıra antropojenik katkının olduğu saptanmıştır. Çevredeki sanayi tesislerinin katkısı söz konusu olabilir. Cr, Zn ve Fe elementinin kaynaklarının doğal olduğu düşünülmektedir. Cu ile Al ve Fe ile Pb arasında orta derecede korelasyona rastlanırken, Cd ve Pb arasında yüksek değerlerde korelasyona rastlanmıştır. PM derişimlerinin yüksek olduğu ölçüm dönemlerinde, toprak kaynaklı olan Al'nin de derişimlerinde artışlar gözlenmiştir.

Başarır (2014), Eylül 2010-Aralık 2011 döneminde Avcılar Yerleşkesinde örnekleme yapılan atmosferik partiküllerin (PM₁₀) içerisindeki metal, iyon ve katyonların konsantrasyon değerlerinin model kullanarak kaynak analizlerinin yapılması ve hava kirliliğine sebep olan kaynakların tanımlanması çalışmasını yapmıştır. Sn, Cu, Ni, Mn elementlerinin birbirleriyle ilişkili olduğunu (metal sanayinde kullanılan temel elementler), F- ve PO₄⁻² iyonları arasında etkili bir korelasyon olduğunu (kimya sanayisinden kaynaklanabilir) tespit edilmiştir.

Koçak ve diğerleri (2010), Kasım 2007-Haziran 2009 döneminde İstanbul'da (Boğaziçi Üniversitesi Kampüsü) topladığı PM₁₀ numunelerde iz element (Al, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb) ve suda çözünebilir iyon (Cl, NO₃, SO₂⁻⁴, C₂O₄, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) analizleri yapmıştır. Pozitif Matris Çarpanlarına Ayırma (PMF) kaynak analizi ile PM₁₀'un yaklaşık % 80'inin köken olarak antropojenik olduğunu (ikincil olarak, çöp yakma, akaryakıt ve katı yakıt yanması ve trafik) tespit etmiştir. Örnekleme döneminde, 50 mg/m³ sınır değerini aşan 42 olay tanımlanmış, bunların önemli bir kısmının (%91) antropojenik kaynaklı olduğu görülmüştür. Bu çalışmaya göre, PMF İstanbul kış aylarında Balkanlar ve Batı Avrupa'dan, yaz aylarında Doğu Avrupa'dan -uzak kaynaklardan- etkilenmekte, öte yandan kış aylarında Batı Karadeniz ve Doğu Avrupa'yı, yaz aylarında Ege Denizi'ni ve Levant bölgesini (Doğu Akdeniz'in güneyini) etkilemektedir.

Ay (2020), 2010-2017 yılları arasında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemi sayısının ve gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi çalışması yapmış, yıllar içinde gemi sayısının azalmasına rağmen kirliliğin azalmadığını ve toplam kirlilik yükünün %96'sının CO₂'ye ait olduğunu, diğer kirleticilerin SO_x ve NO_x olduğunu tespit etmiştir.

Aydoğan (2019), İstanbul'da Aksaray, Alibeyköy, Beşiktaş, Esenler, Kadıköy, Ümraniye, Kartal, Sarıyer, Üsküdar istasyonlarındaki kirletici parametrelerinin (CO, SO₂, NO₂ ve PM₁₀) Ocak 2007- Aralık 2017 yılları arasındaki verilerinin alansal ve mevsimsel analizi yapmış, alansal olarak en yüksek değerlerin Aksaray, en düşük değerlerin Üsküdar ve Sarıyer

istasyonlarında ölçüldüğü görülmüştür. 11 yılda kirletici parametrelerde genel olarak azalma olduğu, mevsimsel olarak PM₁₀, SO₂ ve CO konsantrasyonlarının kış aylarında, NO₂ konsantrasyonunun ise ilkbaharda belirgin artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Güçlü ve diğerleri (2018), İstanbul ili Kadıköy, Ümraniye, Beşiktaş, Esenler ilçelerinin 2007-2015 yılları arasındaki PM₁₀, SO₂, NO₂, CO değerlerini incelemiş ve insan sağlığı açısından değerlendirmiştir. Yaptığı ITD (Innovative Trend Diagram) analizi sonucu Esenler’de doğalgaz kullanımının artması sebebiyle parametrelerde belirgin bir azalma, diğer istasyonlarda ise daha stabil değerlere rastlanmıştır. Kadıköy istasyonunda PM₁₀ değerlerinin artış eğilimi olmayan ve sağlıklı, NO₂ konsantrasyonunun ise kısmen artış eğilimli ve sağlıklı olduğu tespit edilmiştir.

Baltacı ve diğerleri (2020), İstanbul ili Beşiktaş ilçesinin 2007-2017 yılları arasındaki PM₁₀ verilerini değerlendirmiştir. Önce Ward metoduyla yerel ve dış kaynaklı olarak gruplandırma yapmış, sonra meteorolojik, mevsimsel ve yıllık olarak incelemiştir. Toplam 94 günde 100 µg/m³ değerinin aşıldığını, bu değerlerin %73’ünün kış ve ilkbahar mevsimlerine ait olduğunu, kirleticilerin %58,5’nin Avrupa, Rusya ve Sahra kaynaklı olduğunu tespit etmiştir.

Şahin (2020), İstanbul’da Covid-19 önlemlerinin uygulanmasından önce ve sonra hava kirleticilerindeki değişimi tespit etmek amacıyla Avrupa ve Anadolu yakasında trafik (Beşiktaş, Çatladıkapı, Mecidiyeköy; Üsküdar, Selimiye) ve kentsel (Bağcılar; Kadıköy, Sancaktepe) olmak üzere toplam 8 istasyondaki verileri, pandemi önlemlerinin (okulların kapanması, yol ve yolculuk kısıtlamaları vb.) alınmaya başlandığı 16 Mart sonrası (16-31 Mart) ile hem önlem öncesi dönemi (1 Mart-15 Mart) hem de önceki 3 yılın aynı dönemini karşılaştırarak değerlendirmiştir. NO₂ (daha çok araç egzozu kaynaklı) konsantrasyonları, Avrasya tüneli yakınındaki Selimiye istasyonu hariç bütün istasyonlarda 2019 yılına göre 1,6-2,4 kat düşüş göstermiştir ve Avrupa yakasındaki en büyük azalmanın olduğu parametredir. 2020 ile önceki 3 yılın ortalamaları karşılaştırıldığında bütün parametrelerde önemli miktarda azalmalar olduğu görülmüştür. PM₁₀ (%36–44), PM_{2.5} (%10–36), NO₂ (%18–59), CO (%4–60), SO₂ (%28–55) oranında azaldığı görülmüştür.

Özdemir ve diğerleri (2017), İstanbul Boğazı’nda mevcut deniz yolu trafiğinden kaynaklanan kirletici emisyonları ve bunların neden olduğu hava kalitesi seviyelerini, ayrıca gelecekte faaliyete geçirilmesi planlanan Kanal İstanbul Projesi sonrası kent atmosferinde beklenen hava kalitesi değişimlerini araştırmışlardır. Boğazın mevcut durumu için

emisyonların tüm kirletici parametreler için büyük motor hacimleri sebebi ile %95 oranında transit yük gemilerinden (kargo gemileri olmak üzere sırasıyla dökme yük gemisi ve tankerler) kaynaklandığı belirlenmiştir. Şehir içi hatlardan meydana gelen emisyonların %60'lık bir kısmı sefer sayısı fazla olan Üsküdar, Eminönü, Kadıköy, Beşiktaş hatlarından kaynaklanmaktadır. Kanal projesinin hayata geçirilmesinden sonra Boğaz için tehlike oluşturan transit yük gemisi trafiğinin kanala kaydırılması hedeflendiği için transit yük gemileri için hesaplanan emisyonların tamamının kanalda da aynı olacağı kabul edilmiştir. Diğer kirleticilerden farklı olarak SO₂ emisyonu, taraf olunan uluslararası sözleşmelerin gemi yakıtlarının kükürt içeriğine getirdiği sınırlamalar sebebiyle kanalda boğaz için hesaplanan değer üçte biri olarak oluşacaktır. Kirlilikten en çok Boğaz'a yakın konumdaki Kadıköy, Üsküdar, Bakırköy ve Fatih etkilenmektedir. Boğaz'dan geçiş yapan gemilerin tamamen Kanala kaydırılması ile Boğaz'da sadece şehir hatlarında ilerleyen vapurlar faaliyet gösterecektir ve bu durum Boğaz bölgesini oldukça büyük bir kirlilik yükünden kurtaracaktır, ancak mevcut durumda kirliliğe rastlanmayan bölgelerde kirlilik artışına sebep olacaktır. Genel olarak İstanbul'un kent atmosferindeki kirlilik seviyelerine çok fazla katkı sağlaması beklenmemektedir.

İm ve diğerleri (2013), 2007-2010 yılları arasında şehrsel, yarı-şehrsel ve kırsal bölgelerde yapılmış olan O₃ ve NO_x ölçümleri İstanbul'da ilk defa farklı bölgelerde O₃ seviyelerinin nasıl değişebildiğini ortaya koymuş, bu ölçümlerin sadece şehrsel alanlarda değil, daha temsil edici olabilmeleri için kırsal alanları da kapsamı gerektiğini göstermiştir. Bu çalışmada İstanbul'da kırsal bölgelerdeki O₃ seviyelerinin şehrsel bölgelere göre %70'e, yarı-şehrsel bölgelere göre de %25'e kadar daha yüksek olabildiği gösterilmiştir. Bunun sebebi, şehrsel alanlarda, kırsal alanlara göre daha fazla NO olması ve O₃'u bozmasıdır.

İm ve Kanakidou (2012), bir model çalışması yaparak İstanbul emisyonlarının özellikle yaz aylarında uzun mesafeler boyunca etki edebildiğini göstermiştir. Özellikle yazın, kuzeyli rüzgârların daha da güçlenmesi ile İstanbul emisyonları tüm Ege ve doğu Akdeniz üzerinde etkili olmaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre İstanbul emisyonları, lokal O₃ seviyelerini, yüksek miktardaki NO_x emisyonları ile titre ederek kışın %60, yazın ise %20 seviyesinde alta çekmektedir. PM_{2,5} seviyeleri ise O₃'un tersine kışın %75, yazın ise %50 oranında şehrin kendi emisyonlarından meydana gelmektedir. İstanbul emisyonları ayrıca Doğu Akdeniz bölgesindeki NO_x ve PM_{2,5} seviyelerinin %9-18'i ve %4'ünden sorumludur. Aynı çalışma, şehirdeki O₃ seviyelerinin kışın %60-80, yazın ise %40- 50 oranında uzun ölçekli taşıma ile

biriktiğini göstermiştir. PM_{2,5} seviyeleri ise özellikle kışın lokal emisyonlar tarafından kontrol edilmektedir.

Temiz Hava Hakkı Platformu (2020), Türkiye genelinin 2016-2020 arasındaki hava kalitesi verilerini değerlendirdiği rapora göre İstanbul'da hava kirliliği en yüksek olan noktalar Sultangazi, Kağıthane, Alibeyköy, Mecidiyeköy ve Esenyurt olurken en temiz bölgeler ise Kandilli, Büyükkada, Şile, Avcılar, Silivri ve Üsküdar olarak öne çıkmıştır. İstanbul başta olmak üzere bazı bölgelerde son yıllarda ve salgın tedbirleri kapsamında trafiğin azalması sebebiyle özellikle 2020 yılı itibarıyla hava kalitesinde bir iyileşme gözlemlense de değerlerin hala tehlikeli seviyelerin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Çevre Bülteni (2020), İstanbul'un son 5 yılı yaz dönemine ait hava kalitesi verilerini değerlendirerek hava kalitesi indeksi (HKİ) belirlemiştir. İndekse göre en yüksek değer, yani en kirli hava değerleri 2017, en düşük değer ise 2020 yılında tespit edilmiştir.

2.14.2. Marmara bölgesi'nde hava kirliliği çalışmaları

Can-Terzi ve diğerleri (2020), Ergene havzasında, Trakya'nın İstanbul'dan sonraki en büyük organize sanayi bölgelerinin ve nüfus yoğunluğunun olduğu Çorlu (kentsel) ve Çerkezköy (sanayi) ilçelerinde PM_{2,5} ve PM₁₀ numunelerinde Al ve ağır metal değerlerini birbirleriyle karşılaştırmış ve sağlık riskine göre değerlendirmiştir. PM₁₀'da As dışındaki bütün konsantrasyonlar Çerkezköy'de Çorlu'dan, PM_{2,5}'da ise Al, Cr, Co ve Pb konsantrasyonları Çorlu'da Çerkezköy'den önemli ölçüde yüksek tespit edilmiştir. Sağlık açısından kromun konserojenik risk açısından tehlikeli seviyede olduğu, biri sanayi biri kentsel olmasına rağmen 2 nokta arasında sadece küçük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

Demir (2015), Dilovası'nda hava kirliliğine neden olan ve/veya artıran coğrafi ve meteorolojik parametrelerin etkisi ve Dilovası'nın hava kirliliği envanteri üzerine çalışma yapmıştır. 2005 yılından 2013 yılına kadar belirli dönemlerde alınan numunelerde PM₁₀ ve SO₂ analizleri yapılmış, her 2 sonucun da Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği günlük ve yıllık limitleri fazlasıyla aştığı görülmüştür. Kirliliğin özellikle havanın soğuk olduğu kış aylarında (kasım, aralık, ocak ve şubat) artış gösterdiği, kirliliğin yüksek olduğu günlerde sıcaklığın genellikle düşme eğiliminde olduğu (enverziyon sebebiyle), soğuk havanın çökmesi ile birlikte atmosferde bulunan hava kirlleticilerin çökerek ve kirliliği artırdığı, kirleticilerin çanak şeklinde kurulmuş olan şehir merkezinde dağılmadan uzun süre kalabildiği, güncel basınç değerlerindeki

artışın havanın yoğunluğunun artmasına ve hacminin azalmasına sebep olduğu, SO₂ konsantrasyonunun yoğun olduğu zamanlarda nisbi nem de yüksek ise havada H₂O (Su buharı) ile SO₂ reaksiyona girip H₂SO₄ oluştuğu tespit edilmiştir.

2.14.3. Türkiye’de hava kirliliği çalışmaları

Kara (2020), Nisan 2016’da İzmir’de 20 farklı noktadan (sanayi, konut, trafik) yağmurdan sonra aldığı sokak tozu numunelerinde toplam ve suda çözünür iz ve toksik element analizleri yapmış, yetişkin ve çocuklara etkilerini araştırmıştır. Şehrin kuzey ve güney kesimlerinde sanayi bölgeleri ve havaalanı olduğu için bu bölgelerde daha yüksek konsantrasyonlar ölçülmüş olsa da, antropolojik kaynaklı kirlilik elementlerinin de majör elementlerin de İzmir’in tamamına homojen olarak yayıldığını tespit etmiştir. Yaptığı bileşen analizi sonucu Li, Co, K, Rb, Mn, As ve Se ısıtma ile (kömür ve odun yakma); Cu, Sb, Mo ve Zn trafik emisyonlarıyla; Zn, Pb, Cd, Sn ve Tl elementlerinin ise endüstriyel faaliyetlerle ilişkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kanserojenik olan olmayan bütün hastalık rislerine göre yaptığı değerlendirmede, genel olarak sonuçlar toksik seviyenin altında olsa da As, Al, Sb ve Mn elementlerinin çocuklar için tehlikeli olabilecek seviyeye yakın olduğunu ortaya koymuştur.

Karayavuz (2017), Zonguldak’ta ve merkeze yakın 2 ilçesinde ısınma, trafik ve sanayi kaynaklı kirliliği araştırmak üzere Ocak 2015, Ocak 2016 dönemine ait basamaklı ayrıştırıcı ile toplanmış PM₁₀, PM_{2.5} ve PM₁ numunelerinde ICP-MS ile 11 adet element ve IC ile NO₃⁻, SO₄⁻², Na, Ca, K, Mg iyon analizleri yapmıştır. Pearson korelasyon testi ile ağır metal ve iyonlar arasında ilişkilendirme yapmış, Fe hariç tüm elementler arasında pozitif ilişki tespit etmiş, Cu, Mo, Ag, Cd, Pb ve Ni elementleri arasında ise pozitif ve yüksek bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Ayrıca element ve iyon ilişkilerini incelemiş, NO₃⁻ ve SO₄⁻² iyonlarının Zn hariç tüm elementler ile pozitif ve güçlü korelasyona sahip olduğunu göstermiştir.

Akdoğan ve diğerleri (2016), Denizli’nin farklı bölgelerinden (yoğun, normal ve trafik, okul ve hastane yakınları, vb.) topladığı 59 adet sokak tozu numunesinde FAAS ile ağır metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn) analizi çalışması yapmış ve metal korelasyonlarını yorumlamıştır. Bütün trafik bölgelerinde Pb ve Cu kontaminasyonu, hastane ve yoğun trafik bölgelerinde Ni kontaminasyonu tespit edilmiştir.

Tosun (2017), 2009-2016 yılları arasında Türkiye genelindeki hava kalitesi izleme istasyonlarının, hava kirletici parametrelerini (PM_{2.5}, PM₁₀, CO, SO₂, NO_x, O₃) ölçebilme ve

verilerine ulaşılabilme durumlarını incelemiş, sonuçları değerlendirmiştir. Yıllara göre istasyon sayısının arttığını, en çok veri sayısının SO₂ ve PM₁₀, en az veri sayısının PM_{2.5} ve CO parametrelerine ait olduğunu, 7 yılda PM₁₀ değerlerinde %22 azalma olduğunu tespit etmiştir.

Bozkurt ve diğerleri (2018), Düzce’de kentsel ve yarı-kentsel olarak belirlediği bölgelerde 2015 yılında kış ayları ve yaz aylarındaki PM₁₀ rneklemelelerinde 20 adet metal analizi yapmış, kirlilik kaynağı ve yayılımını incelemiştir. En yüksek konsantrasyonlar Al ve Fe elementlerinden sonra Mo, Cu, Zn, Mn, Cr; en düşükler ise Ag, Bi, Cd, Co, Se ve Sc elementlerinde; Kentsel/yarı kentsel veriler oranında en yüksek değerler Cu, Sc, Mn, Sb, Se, Co, Fe ve Al elementlerinde; kış/yaz oranında ise Ba, Fe, Sc ve Zn elementlerinde tespit edilmiştir. Element konsantrasyonlarının genel olarak kış aylarında daha yüksek olmasının sebebinin diğer sebeplerle birlikte şehrin coğrafi yapısının dağlık olması ve düşük rüzgâr hızı sebebiyle kirlı havanın dağılamaması olarak belirtilmiştir. Zenginleşme görülen elementler kış aylarında Sb, Mo, Cr, Sc, Ni, Cu, Pb, Sn, Zn ve As; yaz aylarında Sb, Mo, As, Cu ve Sn elementleridir. Zenginleşme faktörü Sb ve Mo için 100’n üzerindedir.

2.14.4. Dünya’da hava kirliliği alışmaları

Khan (2016), İtalya’nın kuzeyinde yoğun nüfus ve sanayi bölgesinin de içinde olduğu Po Vadisi’nde 6 ilde Nisan 2012-şubat 2013 dönemine ait toplam 360 adet PM_{2.5} numunesinde majör ve iz element, elementel ve organik karbon, PAH analizleri yapmış, sonuçları meteorolojik koşullarla birlikte değerlendirmiştir. Kış aylarında Fe, K, Zn, Ba, Pb, Sb ve Cu; yaz aylarında Ca, Al, Mg, Ti, Mn, Cd, V ve Co elementlerinin yüksek konsantrasyonlarda olduğu, S, Ti, Zn, As ve Ni elementlerinin yıl boyunca yakın konsantrasyonlarda olduğu, rüzgâr, güneş radyasyonu, sıcaklık, nem ve yağış gibi meteorolojik faktörlerin iz elementleri etkilediği tespit edilmiştir. Zenginleşme faktörü, antropojenik emisyon kaynaklı olan S, Zn, As, Cd, Pb ve Sb elementlerinde yüksek değerde çıkmıştır. Ayrıca element analiz sonuçları Dünya’da, aralarında Türkiye’nin de olduğu (Tecer ve diğerleri, 2012) diğer 8 ülkedeki çalışmalarla karşılaştırılmış, Ca, Al, Ni, K ve Mg sonuçlarının Çin’deki çalışmadan sonra en yüksek olduğu, Cd, V, As ve Cu sonuçlarının ise en düşük değerlerde olduğu grlmştir.

Keshavarzi ve diğerleri (2015), Shiraz’da (İran) kentsel sokak tozundaki Hg, As, Cd, Cu, Cr, Ni, Mn, Fe, Pb, Sb ve Zn elementlerinin dağılımını, kirlilik seviyesini, kaynaklarını, hareketini ve sağlığa etkisini araştırmışlardır. Tozların kirliliğe etkisini ölçmek için zenginleşme faktörü (ZF) alışması, metaller arası ilişkileri belirlemek ve temel köken analizi

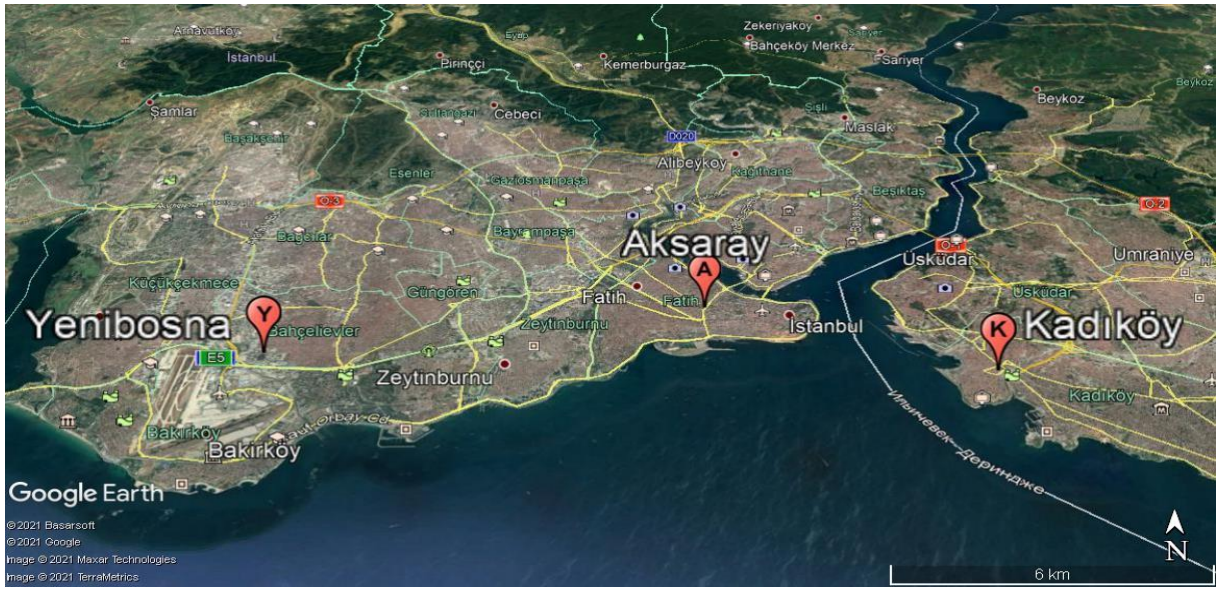
yapmak için Faktör Analizi (FA) yapmıştır. ZF değeri sırasıyla büyük değerden küçüğe; Pb, Hg, Cu, Sb, Zn Ni, Cr, As, Mn, Cd, Fe olarak bulunmuştur. ZF ve FA analizleri sonucunda ağır metallerin 3 temel kaynağının olduğunu, Cu, Pb, Zn ve Sb elementlerinin trafik emisyonu kaynaklı; As, Cr, Mn ve Ni elementlerinin doğal kaynaklı; Fe, Cd ve Hg elementlerinin hem doğal hem antropolojik kaynaklı olduğunu belirtmiştir.

Szigeti ve diğerleri (2013), farklı coğrafi konum, meteorolojik koşullar, nüfus, trafik yoğunluğu ve sanayi özelliklerine sahip 2 bölge olarak Budapeşte (Macaristan) ve İstanbul'da PM_{2.5} örneklemelerinin kimyasal bileşimlerini incelemiştir. Trafik kaynaklı iz elementler (V, Ni, Co, Zn ve Mn), suda çözünabilir Cr, Mn ve Ni elementleri ile SO₄⁻² ve Cl⁻ konsantrasyonları İstanbul'da Budapeşte'den oldukça yüksektir.

3. MATERYAL METOT

3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada İstanbul'un batısında, ortasında ve doğusunda olmak üzere İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü'ne ait 3 farklı istasyonun hava kalitesi verileri değerlendirilmiştir. Bunlar; Yenibosna, Aksaray ve Kadıköy istasyonlarıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı haritası (Google Earth)

Yenibosna istasyonu $40^{\circ}59'50.96''$ kuzey enleminde $28^{\circ}49'38.01''$ doğu boylamında bulunmaktadır. Yenibosna; Avrupa yakasında Bahçelievler ilçesinde (2020 yılı nüfusu 592.371 kişi), D-100 otoyolunun kuzeyinde, Atatürk Havalimanı ve Otoban bağlantı yolunun (E6) yakınında bulunmaktadır. Bu sebeple trafiğin sürekli yoğun olduğu bir konumdur. Aynı zamanda yerleşim alanı olup İBB tarafından kentsel istasyon tipi olarak kabul edilmiştir. Bu istasyona ait veriler yardımıyla kentsel kirlilik yükü ile birlikte hem karayolu, hem de uçakların sebep olduğu kirliliğin izlenebilmesi amaçlanmaktadır.

Aksaray istasyonu $41^{\circ}0'51.70''$ kuzey enleminde $28^{\circ}57'14.19''$ doğu boylamında bulunmaktadır. Aksaray; Avrupa yakasında İstanbul'un coğrafi olarak orta bölümünde, Fatih ilçesinde hem turizm merkezi hem de yoğun trafik ve nüfus (Fatih ilçesi 2020 nüfusu 396.594

kişi) taşıyan bölgelerinden biridir. İstasyon, gün boyu trafiğin yoğun olduğu Haşim İşcan Geçidi'nin hemen yanında olup İBB tarafından trafik istasyon tipi olarak kabul edilmiştir. Trafiğin hava kirliliğine etkisinin literatürden farklı bir bölgede incelenebilmesi amacıyla tercih edilmiştir.

Kadıköy istasyonu 40°59'26.88" kuzey enleminde 29° 2'0.01" doğu boylamında bulunmaktadır. Kadıköy; Anadolu yakasının hem nüfus (2020 yılı nüfusu 481.983 kişi) hem de trafik olarak yoğun bölgesi olması sebebiyle trafik ve nüfus yoğunluğu kaynaklı kirlilik parametrelerinin incelenebilmesi için uygun bir yer olarak düşünülmüştür. İBB tarafından kentsel istasyon tipi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca deniz kenarında olması sebebiyle deniz kaynaklı girdilerin de incelenebileceği bir yerdir.

3.2. Örneklemeye

Bu çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediye Çevre Koruma Müdürlüğü Hava Kalitesi İzleme Merkezi tarafından alınan PM₁₀ numuneleri kullanılmıştır (Şekil 4). Örneklerin ait olduğu dönemler aşağıdaki gibidir:

Aksaray İstasyonu:	06.06.2017 – 17.06.2017 14.01.2018 – 18.01.2018
Kadıköy İstasyonu:	26.01.2017 – 06.02.2017 17.10.2017 – 20.10.2017
Yenibosna İstasyonu:	23.05.2017 – 27.05.2017 28.02.2018, 02.03.2018, 04.03.2018



Şekil 4. Kadıköy istasyonuna ait örnek numuneler

3.3. Analiz Yöntemleri

Analizler İstanbul Büyükşehir Belediyesi Anadolu Yakası Çevre Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

3.3.1. Analiz Ön İşlemleri

PM₁₀ filtre kâğıtları homojen olarak kabul edilmiş ve paralel analiz yapmak amacıyla ortadan 2 parçaya bölünerek Precisa/XB 220A marka hassas terazide tartılmıştır. Mikrodalga tüplerine yerleştirilen filtre kâğıtlarının üzerine 8 ml HNO₃ (nitrik asit) (Tekkim) ile 2 ml H₂O₂ (hidrojen peroksit) (Merck) ilave edilmiş ve tepkimenin gerçekleşmesi için çeker ocakta minimum 30 dakika bekletilmiştir.

Parçalama sonrası yakma işlemi Anton Paar/Multiwave Go mikrodalga cihazında yapılmıştır (Şekil 5). Mikrodalgada uygulanan program Tablo 8'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Analizin mikrodalga aşaması

Tablo 8. Mikrodalga cihazı program aşamaları

Adım	Rampa	Sıcaklık	Bekletme	Güç
1	10 dakika	160 °C	15 dakika	800 W
2	10 dakika	195 °C	10 dakika	800 W
3	Soğutma	40 °C		

Yakma işleminden sonra numuneler PTFE şırınga ucu filtresiyle süzölmüş ve analiz töpünde UP saf su ile seyreltilmiştir.

3.3.2. Kalibrasyon standartlarının hazırlanması

ICP OES cihazının kalibrasyonu için Merck Multi Standart çözeltisi kullanılmıştır. Standart çözeltiden bir miktar tartım yapıp nitrik asit çözeltisiyle seyreltilmiş ve Std 5 hazırlanmıştır. Std 5'ten yaklaşık 5 kat seyreltme yaparak Std 4 ve aynı yöntemle diğer kalibrasyon standartları hazırlanmış, sertifikasında belirtilen stok konsantrasyonlar dikkate alınarak her bir standardın her bir elementine ait konsantrasyonu hesaplanmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Standart hazırlama tablosu (mg/l)

Stok Kons. (mg/l)	Element	Std 5	Std 4	Std 3	Std 2	Std 1
1002	Cd	6,9527	1,1844	0,1969	0,0337	0,0055
1003	Cr	6,9596	1,1856	0,1971	0,0338	0,0055
999	Cu	6,9318	1,1809	0,1964	0,0336	0,0055
1005	Fe	6,9735	1,1880	0,1975	0,0338	0,0055
1008	Mn	6,9943	1,1915	0,1981	0,0339	0,0055
1001	Na	6,9457	1,1832	0,1968	0,0337	0,0055
999	Ni	6,9318	1,1809	0,1964	0,0336	0,0055
1001	Pb	6,9457	1,1832	0,1968	0,0337	0,0055
1001	Zn	6,9457	1,1832	0,1968	0,0337	0,0055
999	Co	6,9318	1,1809	0,1964	0,0336	0,0055
1001	Al	6,9457	1,1832	0,1968	0,0337	0,0055

3.3.3. Analiz işlemi

Numunelerin analizi PerkinElmer Optima 2100 ICP OES cihazında yapılmıştır (Şekil 6). Numuneler 2 parçaya bölünerek çalışıldığından ICP OES cihazından elde edilen analiz sonuçlarının ortalaması alınmış ve 2 ile çarpılmıştır. Çarpım sonucu elde edilen sonuç örnekleyicinin ortalama toplama hacmine (55,2 m³) bölünerek µg/m³ birimine dönüştürölmüştür.



Şekil 6. ICP cihazı analiz aşaması

4. BULGULAR

İBB Hava Kalitesi İzleme Merkezi'nden temin edilen 2017 ve 2018 yılları Aksaray, Kadıköy ve Yenibosna istasyonlarına ait PM_{10} numunelerinde ICP OES cihazında Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn metallerinin analizi yapılmıştır.

3 istasyona ait karasal kirlilik miktarlarının değerlendirilmesi amacıyla Al metali kullanılarak zenginleşme faktörü hesabı yapılmıştır. Kadıköy istasyonu denize yakın olduğu için bu çevreye ait deniz kaynaklı kirliliğin hesaplanması amacıyla Na metali ile de zenginleşme faktörü hesabı yapılmıştır. Referans değer olarak Krauskopf (1979)'a ait yer kabuğu (ZF_{kara} için) ve deniz suyu (ZF_{deniz}) değerleri kullanılmıştır. Zenginleşme faktörünün değerlendirilmesi Chester (1999)'a göre yapılmıştır.

4.1. Aksaray İstasyonu

Haziran 2017 (13 gün) ve Ocak 2018 (4 gün) numuneleri ile yaz ve kış dönemleri incelenmiştir. Yaz ve kış dönemlerine ait metal analizi verileriyle önce zenginleşme faktörü sonra döneme ait zenginleşme faktörü ortalaması hesaplanmış ve kış dönemi ortalaması yaz dönemi ortalamasına oranlanmıştır. Böylece kış dönemine özgü zenginleşmenin olduğu elementlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 10. Aksaray istasyonu metal verileri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tarih	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
06.06.2017	83,77	0,010	0,061	0,667	1,51	59,67	0,014	0,408	0,168	4,75
07.06.2017	102,8	0,029	0,059	0,498	2,36	64,81	2,16	0,262	0,180	6,18
08.06.2017	84,28	0,033	0,036	0,247	1,16	23,07	1,64	-	-	2,33
09.06.2017	59,83	0,009	0,038	0,268	0,788	22,85	0,020	0,006	0,013	2,02
10.06.2017	62,47	0,011	0,033	0,301	0,945	24,65	0,055	0,041	-	2,19
11.06.2017	76,01	0,023	0,061	0,459	1,57	49,37	0,042	0,277	0,225	2,86
12.06.2017	55,01	0,020	0,033	0,329	1,46	42,26	0,026	0,162	0,138	2,25
13.06.2017	90,43	0,016	0,070	1,57	1,69	44,07	1,54	0,305	0,353	3,68
14.06.2017	98,48	0,021	0,074	1,76	1,84	35,34	1,63	0,423	0,232	3,86
15.06.2017	86,30	0,016	0,036	1,17	0,814	18,43	1,07	0,221	-	4,12
16.06.2017	73,41	0,012	0,055	1,09	0,657	13,63	1,00	0,188	-	2,12
17.06.2017	78,33	0,018	0,018	1,10	0,964	26,38	0,514	0,236	-	2,30
18.06.2017	84,20	0,027	0,060	1,53	2,32	65,04	1,76	0,505	0,954	4,72
14.01.2018	23,22	0,042	0,050	0,466	0,799	14,37	0,323	0,332	0,389	1,92
15.01.2018	64,68	0,047	0,054	0,669	1,38	23,72	1,02	0,524	0,639	4,12
16.01.2018	121,7	0,069	0,078	1,59	2,91	59,17	1,51	0,733	0,845	5,68
17.01.2018	91,09	0,049	0,057	0,619	1,56	28,14	1,13	0,474	0,598	3,80

:- Cihaz ölçüm limitlerinin altında

Tablo 10'a göre metal sonuçları Cd için 0,009-0,069 arasında, Co için 0,018-0,078 arasında, Cr için 0,247-1,76 arasında, Cu için 0,657-2,91 arasında, Fe için 13,63-65,04 arasında, Mn için 0,014-2,16 arasında, Ni için 0-0,733 arasında, Pb için bazı günlerde sonuçlar cihazın ölçüm limitlerinin altında kalmış olup görülen en yüksek değer ise 0,954, Zn için 1,92-6,18 arasındadır.

Tablo 11. Aksaray istasyonu zenginleşme faktörü

Tarih	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
06.06.2017	63,06	2,70	6,45	29,13	1,07	0,01	5,25	13,03	65,60
07.06.2017	150,8	2,12	3,92	37,14	0,95	1,70	2,76	11,36	69,54
08.06.2017	211,3	1,58	2,37	22,29	0,41	1,58			31,97
09.06.2017	84,36	2,32	3,63	21,35	0,57	0,03	0,11	1,46	39,11
10.06.2017	98,34	1,96	3,91	24,50	0,59	0,07	0,72		40,48
11.06.2017	160,1	2,97	4,89	33,45	0,97	0,05	3,94	19,20	43,49
12.06.2017	200,6	2,21	4,84	42,93	1,15	0,04	3,18	16,20	47,42
13.06.2017	93,89	2,86	14,05	30,21	0,73	1,38	3,64	25,28	47,12
14.06.2017	114,4	2,76	14,51	30,30	0,54	1,34	4,64	15,27	45,39
15.06.2017	100,2	1,53	10,94	15,29	0,32	1,00	2,76		55,18
16.06.2017	85,29	2,75	12,04	14,49	0,28	1,10	2,77		33,47
17.06.2017	122,4	0,83	11,40	19,95	0,51	0,53	3,26		33,99
18.06.2017	171,9	2,63	14,71	44,65	1,16	1,69	6,48	73,44	64,93
14.01.2018	977,5	7,94	16,26	55,77	0,93	1,13	15,43	108,4	95,60
15.01.2018	393,8	3,08	8,38	34,67	0,55	1,28	8,76	64,02	73,66
16.01.2018	306,5	2,37	10,57	38,76	0,73	1,01	6,51	45,00	53,99
17.01.2018	288,7	2,32	5,50	27,66	0,46	1,01	5,62	42,56	48,31

Tablo 11'e göre ZF değeri Cd için 63,06- 977,5 arasında, Co için 0,83-7,94 arasında, Cr için 2,37-16,26 arasında, Cu için 14,49-55,77 arasında, Fe için 0,28-1,16 arasında, Mn için 0,01-1,70 arasında, Ni için 0-15,43 arasında, Pb için 0-108,4 arasında, Zn için 31,97-95,60 arasındadır. Ağır metallerde (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) kış döneminde 14 Ocak 2018 tarihinde, yaz döneminde ise 16 Haziran 2017 tarihinde yüksek zenginleşme görülmüştür.

Tablo 12. Aksaray istasyonu ortalama zenginleşme faktörü kış/yaz dönemi oranı

Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
3,86	1,75	1,23	1,39	0,94	1,37	2,99	4,82	1,43

Aksaray istasyonunda kış dönemine ait ZF değerlerinin ortalaması yaz dönemine ait ZF değerlerinin ortalamasına oranlanarak Tablo 12'deki veriler elde edilmiştir. Bu verilere göre yaz döneminden kış dönemine en yüksek zenginleşme artışı görülen metaller Pb (4,82 kat), Cd (3,86 kat) ve Ni (2,99 kat)'dir. Fe elementinde ise dönemsel zenginleşme artışı görülmemiştir.

4.2. Kadıköy İstasyonu

Bu istasyonda Ocak-Şubat 2017 (12 gün) ve Ekim 2017 (4 gün) numuneleri ile parametrelerdeki 9 aylık değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Her 2 döneme ait verilerle (Tablo 13) önce zenginleşme faktörü (ZF_{kara}), sonra dönemsel zenginleşme faktörleri ortalaması hesaplanmış ve ekim dönemi ortalaması ocak-şubat dönemi ortalamasına oranlanmıştır. Böylece 9 aylık dönemde zenginleşmenin (ya da değişimin) olduğu elementlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 13. Kadıköy istasyonu metal verileri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tarih	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
26.01.2017	48,55	0,028	0,034	0,516	0,959	11,42	0,693	3138	0,464	0,296	1,61
27.01.2017	26,63	0,021	0,022	0,198	0,498	7,68	0,480	2008	0,159	0,384	1,77
28.01.2017	28,02	0,010	0,020	0,211	1,27	8,70	0,453	2460	0,124	0,320	1,42
29.01.2017	51,16	0,014	0,033	0,729	1,68	39,57	1,31	2322	0,221	0,491	2,98
30.01.2017	81,52	0,038	0,067	0,759	1,36	29,43	1,39	4625	0,724	0,578	4,14
31.01.2017	69,01	0,035	0,084	0,616	1,94	14,62	0,899	4444	0,604	0,246	2,41
01.02.2017	123,6	0,054	0,062	1,84	3,89	146,7	3,13	150,5	0,872	0,902	5,99
02.02.2017	7,68	0,047	0,014	0,728	0,814	11,22	0,202	141,9	0,684	0,298	0,849
03.02.2017	22,70	0,043	0,032	0,798	1,23	27,22	0,501	208,2	0,673	0,463	1,36
04.02.2017	7,44	0,049	0,032	0,675	0,71	15,91	0,276	86,45	0,607	0,372	0,911
05.02.2017	17,30	0,049	0,043	0,749	1,27	23,17	0,447	135,9	0,666	0,404	1,72
06.02.2017	38,87	0,040	0,016	1,25	2,18	61,46	1,25	81,45	0,853	1,39	2,87
17.10.2017	197,0	0,045	0,093	2,96	3,68	120,7	3,02	7544	0,378	0,528	5,49
18.10.2017	51,74	0,030	0,031	0,450	2,76	44,91	0,521	7870	0,424	0,333	1,97
19.10.2017	140,7	0,038	0,064	1,14	3,96	116,1	2,38	1488	0,698	0,561	5,19
20.10.2017	187,6	0,030	0,077	1,32	4,46	136,3	2,64	922,5	0,810	0,710	5,77

Tablo 13'e göre metal sonuçları Cd için 0,010-0,054 arasında, Co için 0,014-0,093 arasında, Cr için 0,198-2,96 arasında, Cu için 0,498-4,46 arasında, Fe için 7,68-146,7 arasında, Mn için 0,202-3,13 arasında, Ni için 0,124-0,872 arasında, Pb için 0,246-1,39 arasında, Zn için 0,849-5,99 arasındadır.

Kadıköy istasyonu ocak-şubat dönemi metal verilerine göre 1 Şubat 2017 tarihinde Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn elementlerinde dönemsel en yüksek değer görülmüştür. Ekim döneminde ise 17 Ekim tarihinde Cd, Cr, Cu, Mn elementleri en yüksek değere ulaşmıştır.

Tablo 14. Kadıköy istasyonu zenginleşme faktörü (Al)

Tarih	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
26.01.2017	312,7	2,61	8,61	31,99	0,35	1,16	10,32	39,50	38,45
27.01.2017	420,9	3,10	6,02	30,30	0,43	1,46	6,47	93,53	76,98
28.01.2017	183,6	2,61	6,09	73,69	0,47	1,31	4,79	74,04	58,78
29.01.2017	151,1	2,36	11,55	53,32	1,16	2,07	4,66	62,23	67,59
30.01.2017	251,5	3,05	7,54	27,00	0,54	1,38	9,59	45,98	58,96
31.01.2017	275,6	4,50	7,23	45,56	0,32	1,05	9,45	23,07	40,58
01.02.2017	236,1	1,86	12,03	51,01	1,78	2,05	7,62	47,29	56,23
02.02.2017	3332	6,81	76,72	171,8	2,19	2,13	96,22	251,6	128,4
03.02.2017	1031	5,13	28,47	87,70	1,80	1,79	31,99	132,3	69,77
04.02.2017	3544	15,79	73,44	155,6	3,21	3,01	88,08	323,6	142,2
05.02.2017	1538	9,24	35,04	119	2,01	2,09	41,54	151,3	115,2
06.02.2017	558,7	1,55	25,97	90,97	2,37	2,61	23,70	231,6	85,87
17.10.2017	123,5	1,73	12,15	30,28	0,92	1,24	2,07	17,37	32,34
18.10.2017	313,9	2,21	7,04	86,49	1,30	0,82	8,86	41,68	44,29
19.10.2017	145,7	1,68	6,54	45,61	1,24	1,37	5,36	25,85	42,87
20.10.2017	87,60	1,50	5,68	38,50	1,09	1,14	4,66	24,53	35,72

Tablo 14'e göre ZF_{kara} değeri Cd için 87,60-3544 arasında, Co için 1,5-15,79 arasında, Cr için 5,68-76,72 arasında, Cu için 27-171,8 arasında, Fe için 0,32-3,21 arasında, Mn için 0,82-3,01 arasında, Ni için 2,07-96,22 arasında, Pb için 17,37-323,6 arasında, Zn için 32,22-141,6 arasındadır. Cd, Cu, Pb ve Zn elementlerinde bütün günlerde zenginleşme görülmüştür.

Bütün ağır metallerde (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) zenginleşmenin görüldüğü tarih ocak-şubat dönemindeki 4 Şubat 2017'dir.

Tablo 15. Kadıköy istasyonu ortalama zenginleşme faktörü ekim/ocak-şubat dönemi oranı

Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
0,17	0,36	0,32	0,64	0,82	0,62	0,19	0,22	0,50

Kadıköy istasyonunda ekim ayı zenginleşme faktörü ortalamasının ocak-şubat dönemi zenginleşme faktörü ortalamasına oranı Tablo 15'te verilmiştir. Verilere göre ocak ayından ekim ayına bütün değerlerde azalma olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 16. Kadıköy istasyonu zenginleşme faktörü (Na)

Tarih	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
26.01.2017	965,1	2363	5902	6581	19600	11900	937,0	33860	1126
27.01.2017	1113	2405	3539	5343	20596	12872	503,1	68717	1932
28.01.2017	417,1	1738	3073	11160	19042	9913	319,8	46723	1267
29.01.2017	663,6	3041	11272	15613	91724	30381	602,3	75933	2817
30.01.2017	884,1	3142	5889	6327	34269	16147	991,1	44893	1967
31.01.2017	853,4	4092	4978	9406	17710	10888	860,5	19844	1192
01.02.2017	38683	89396	437990	557115	5250181	1121335	36694	2151926	87410
02.02.2017	35973	21562	184084	123651	426015	76595	30557	754487	13156
03.02.2017	22417	32726	137577	127156	704005	129499	20466	798972	14398
04.02.2017	60846	79534	280219	178062	991237	172112	44480	1543429	23159
05.02.2017	39059	68871	197785	201500	918466	177317	31038	1067427	27770
06.02.2017	53179	43301	549359	577211	4063184	828351	66340	6122802	77554
17.10.2017	643,5	2644	14067	10515	86129	21535	317,4	25130	1598
18.10.2017	411,6	850,9	2051	7561	30733	3566	341,6	15180	551,1
19.10.2017	2749	9285	27436	57370	420203	86165	2972,0	135451	7674
20.10.2017	3553	17868	51213	104113	795694	154316	5563,9	276427	13747

Kadıköy istasyonunda ayrıca deniz kaynaklı kirliliğin görülebilmesi amacıyla Na elementi referans seçilerek denizden havaya zenginleşme faktörü (ZF_{deniz}) hesabı yapılmıştır (Tablo 16). Bütün tarihlerde bütün elementlerde yüksek oranda zenginleşme görülmüştür.

4.3. Yenibosna İstasyonu

Yenibosna istasyonunda Mayıs 2017 (5 gün) ve Şubat-Mart (3 gün) verileriyle dönemsel değişim incelenmiştir. Her iki dönem için metal verileri (Tablo 17) yardımıyla zenginleşme faktörü hesabı yapılmış (Tablo 18) ve dönemsel değişimin görülmesi için dönem ortalamaları birbirlerine oranlanmıştır (Tablo 19).

Tablo 17. Yenibosna istasyonu metal verileri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tarih	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
23.05.2017	20,83	0,018	0,017	1,43	1,68	37,18	0,703	0,406	0,298	2,31
24.05.2017	18,09	0,010	0,009	1,18	1,36	30,41	0,489	0,364	0,209	1,83
25.05.2017	26,90	0,030	0,032	1,84	2,31	47,83	1,03	0,502	0,392	2,97
26.05.2017	20,74	0,027	0,015	1,59	1,78	38,87	0,715	0,403	0,276	2,29
27.05.2017	15,38	0,008	0,007	1,26	1,23	20,81	0,271	0,257	0,164	1,54
28.02.2018	54,49	0,014	0,047	1,26	0,82	17,58	1,07	0,347	1,37	3,33
02.03.2018	68,86	0,026	0,048	1,37	1,18	32,04	1,44	0,430	0,482	4,15
04.03.2018	51,89	0,012	0,036	1,07	0,809	23,49	1,02	0,230	0,496	2,51

Tablo 17'ye göre metal değerleri Cd için 0,010-0,030 arasında, Co için 0,007-0,048 arasında, Cr için 1,07-1,84 arasında, Cu için 0,809-2,31 arasında, Fe için 17,58-47,83 arasında, Mn için 0,271-1,44 arasında, Ni için 0,230-0,502 arasında, Pb için 0,164-1,37 arasında, Zn için 1,54-4,15 arasındadır. Ağır metallerde en yüksek değerlerin görüldüğü tarihler 25 Mayıs 2017 ve 2 Mart 2018, en düşük değerlerin görüldüğü tarih 27 Mayıs 2017'dir.

Tablo 18. Yenibosna istasyonu zenginleşme faktörü

Tarih	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
23.05.2017	475,2	2,93	55,42	131	2,68	2,73	21,04	92,68	128,1
24.05.2017	300,7	1,84	52,70	121,6	2,52	2,19	21,75	74,82	117,2
25.05.2017	600,8	4,33	55,51	138,9	2,67	3,12	20,16	94,37	127,6
26.05.2017	696,2	2,59	62,01	139,4	2,81	2,79	20,97	86,33	127,6
27.05.2017	269,6	1,75	66,46	129,6	2,03	1,43	18,01	68,89	115,7
28.02.2018	139,3	3,16	18,73	24,30	0,48	1,59	6,88	163,1	70,72
02.03.2018	200,6	2,58	16,12	27,70	0,70	1,70	6,75	45,36	69,75
04.03.2018	129,7	2,53	16,68	25,25	0,68	1,60	4,78	61,95	55,86

Yenibosna istasyonu zenginleşme faktörü değeri Cd için 139,3- 696,2 arasında, Co için 1,75-4,33 arasında, Cr için 16,12-66,46 arasında, Cu için 24,30-139,4 arasında, Fe için 0,48-2,81 arasında, Mn için 1,43-3,12 arasında, Ni için 4,78-21,75 arasında, Pb için 45,36-163,1 arasında, Zn için 55,86-128,1 arasındadır (Tablo 18).

25 ve 26 Mayıs 2017 tarihleri Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn elementleri için en yüksek değerlerin görüldüğü zamanlardır. Kış dönemindeki güneşirı 3 günde, Pb hariç bütün elementlerin değerlerinin stabil olduğu görülmüştür.

Tablo 19. Ortalama zenginleşme faktörü 2018 yılı Şubat-Mart dönemi/2017 yılı Mayıs dönemi oranı

Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
0,33	1,03	0,29	0,19	0,24	0,66	0,30	1,08	0,53

Yenibosna istasyonuna ait dönemsel zenginleşme tablosuna göre (Tablo 19) Co ve Pb elementlerinde sırasıyla ortalama 1,03 kat ve 1,08 kat zenginleşme artışı olduğu, diğır elementlerde azalma olup en çok azalan elementlerin de Cu ve Fe olduğu görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

5.1. Analiz Dönemine ait Değerlendirmeler

5.1.1. Aksaray istasyonu

Aksaray istasyonuna ait zenginleşme faktörü sonuçları Chester (1999)'a göre değerlendirildiğinde bütün günlerde zenginleşme görülen elementler Cd, Cu, Zn olup antropojenik kirlilik katkısının çok yüksek olduğu söylenebilir. Bazı günlerde zenginleşme görülen elementler Cr, Ni, Pb olup dönemsel olarak antropojenik etkinin arttığı düşünülebilir. Hiç zenginleşme görülmeyen elementler Co, Fe ve Mn olup kirlilik kaynağı genellikle karasaldır.

En yüksek metal değerleri 16 Ocak'ta görülmesine rağmen en yüksek zenginleşme 14 Ocak'ta görülmüştür. Bu durum, toprak kökenli olmayan kirlilik sebebiyle 14 Ocak'ta alüminyum miktarının düşük, diğer elementlerin yüksek miktarda olması, sonuç olarak da zenginleşme oranının artmış olmasıyla açıklanabilir.

Aksaray istasyonunda kış döneminde yaz dönemine göre Fe hariç bütün elementlerde dönemsel zenginleşme gözlemlenmiştir. Kışın en çok zenginleşme görülen elementler Pb, Cd ve Ni olup bu 3 element de trafik kaynaklıdır. Artışın İstanbul'da kışın trafikteki araç sayısının artması sebebiyle olduğu düşünülebilir.

İBB HKİM tarafından paylaşılan ve çalışmada değerlendirilen bu istasyona ait veriler; CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂, hava sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı ve yağmur oranıdır.

Tablo 20. Aksaray istasyonu analiz dönemine ait kirletici gaz ve meteoroloji parametreleri

Tarih	CO (µg/m ³)	Hava Sıc. (°C)	NO (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	Nem (%)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Rüz. Hızı (m/sn)	SO ₂ (µg/m ³)	Yağ. Or. (mm/s)
06.06.2017	345,1	20,4	29,1	62,3	96,3	81,9	5,4	55,7	1,8	3,7	0
07.06.2017	658,4	21,8	75,2	86	201,4	76,8	3,2	87,8	1,7	3	0
08.06.2017	692,1	23,6	114,9	107	283,2	73,7	2,7	113,3	1,7	4,5	0,5
09.06.2017	338,4	19	20,2	51,2	75,7	85,4	5,1	38,7	2,8	4,1	1,1
10.06.2017	439,7	18,7	15,8	53,2	71,6	80,2	3,9	38,3	1,5	8,4	0
11.06.2017	621,3	21,5	60,5	72,8	165,6	68,2	4,1	58,5	2,1	6,1	0
12.06.2017	320,3	21,4	32,3	70,6	113,1	72,6	7,0	36,4	3,2	5,3	0
13.06.2017	338	21,5	37,8	70,3	128,3	69,9	4,0	33,9	2,6	5,4	0
14.06.2017	426,5	21,7	64,8	84,1	183,4	75,9	3,7	68,8	2,3	5	0
15.06.2017	490,7	22	70,5	88,1	196,2	78	3,3	64,5	2,2	6,5	0,5
16.06.2017	346,6	22,2	42,4	80,4	145,4	61,5	3,7	36,9	2,8	3,3	0
17.06.2017	396,1	21,4	51,2	88,1	166,6	59,8	3	52,1	2	4	0,1
18.06.2017	310,2	19,9	21,3	68,9	101,6	74,3	3,4	40,1	1,8	2,9	0,4
14.01.2018	155,4	5,2	42,8	31,6	97,2	77,4	9,2	26,1	5	3,4	0,3
15.01.2018	480,8	5,4	91	42,1	181,7	67,4	8,6	36	2,3	3,2	0
16.01.2018	708,6	8,6	101,1	50,2	205,3	78,9	6,7	44,8	3	3,4	0,2
17.01.2018	522,1	11,6	49,6	57,6	133,7	78,4	9	30,7	4,4	2,8	0

Yaz döneminde 8 Haziran 2017 tarihinde CO, NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ parametrelerinin en yüksek değere ulaştığında O₃ miktarının en düşük, hava sıcaklığının yüksek, rüzgar hızının düşük olduğu görülmüştür (Tablo 20). Metal verilerinde aynı tarihte Al, Cd ve Zn elementlerinde en yüksek değere ulaşılmış, Pb ve Ni elementleri cihaz tespit limitlerinin altında kalmış, Cr elementinde ise kendi en düşük değeri görülmüştür. 10 Haziran 2017 tarihinde NO, NO_x, rüzgar hızı ve hava sıcaklığı parametrelerinde en düşük değer görülürken SO₂ ise 2 dönemin en yüksek değerine ulaşmıştır.

Kış döneminde 16 Ocak 2018’de CO, NO, NO_x, PM₁₀, SO₂ ve nem değerleri en yüksek değerlere ulaştığında O₃ için en düşük değer görülmüştür. Aynı tarihteki metal verilerinde elementlerin tamamında dönemsel en yüksek değerler görülmüştür.

5.1.2. Kadıköy istasyonu

Kadıköy istasyonuna ait zenginleşme faktörü (ZF_{kara}) sanuçlarının Aksaray istasyonuna benzer olduğu görüşmüştür. Bütün günlerde zenginleşme görülen elementler bu istasyonda da Cd, Cu, Zn olup kirliliğin antropojenik olduğu söylenebilir. Bazı günlerde zenginleşme görülen elementler Cr, Ni, Pb olup dönemsel olarak antropojenik kaynaklı kirlilik görüldüğü düşünülebilir. Co elementinde sadece 4 Şubat 2017 gününde zenginleşme görülmüştür. Bu tarih ayrıca bütün elementlerin en yüksek zenginleşmeye ulaştığı zamandır. Hiç zenginleşme görülmeyen elementler Fe ve Mn olup kirlilik kaynağı karasaldır.

Kadıköy istasyonu ZF_{kara} verileri 2017 yılı Ocak-Şubat ve Ekim olmak üzere 2 döneme aittir. Bütün elementlerde dönemsel olarak azalma olduğu anlaşılmıştır. Miktarı en çok değişen elementler Cd, Ni, Pb iken en az değişen ise Fe elementidir. Bu verilere göre Kadıköy atmosferinde ocak-şubat dönemindeki ağır metal kirliliği ekim ayında belirgin bir şekilde azalmıştır. Bunun en büyük sebebi olarak ısınma kaynaklı kirlilik yükünün ekim ayında tam olarak etkisini göstermemiş olabileceği düşünülebilir.

Denize yakın olması sebebiyle sadece Kadıköy istasyonunda denizel kirliliğin tespit edilmesi amacıyla hesaplanan ZF_{deniz} verilerine göre bütün elementlerde görülen yüksek değerler ($ZF_{deniz} > 10$), zenginleşmenin deniz kaynaklı olmadığını, antropojenik katkının çok yüksek olduğunu göstermektedir.

İBB HKİM tarafından paylaşılan ve çalışmada değerlendirilen bu istasyona ait veriler; CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂, hava sıcaklığı ve nemdir.

Tablo 21. Kadıköy istasyonu analiz dönemine ait kirletici gaz ve meteoroloji parametreleri

Tarih	CO (µg/m ³)	Hava Sıc. (°C)	NO (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)	Nem (%)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
26.01.2017	397,1	3,1	11,7	46,8	58,5	83,2	33,2	16	0,6
27.01.2017	403,3	1,8	10,5	51,4	61,9	69,6	41,2	18,5	1,5
28.01.2017	612,1	2,8	41,7	90	131,7	86,4	9,3	44,9	3,7
29.01.2017	1047,8	5	15,5	57,8	73,3	86,1	19	23,3	0,9
30.01.2017	1505,1	4,5	17,9	54,4	72,3	83,6	26,4	18,3	1,1
31.01.2017	1437,3	3,3	28,9	62,9	91,8	62,5	28,7	50,6	1,2
01.02.2017	1298,2	3,6	154,9	99,3	254,2	67,5	19,5	111,8	3,4
02.02.2017	285,2	5,8	333,9	141,8	475,7	74,4	15,1	227,2	4,4
03.02.2017	322	10,4	23,3	75,6	98,9	71,6	22,3	63,6	3,7
04.02.2017	306,7	12,3	15,6	53,5	69,1	80	31,7	30,3	1,6
05.02.2017	440,6	12	14,6	50,3	64,9	87,4	29,5	21,8	1,3
06.02.2017	413,2	13,4	45,8	75,3	121,1	81,8	14,8	42,7	2,5
17.10.2017	395,2	18,7	53,5	63,9	117,4	74,5	7,4	43,7	3,4
18.10.2017	487,2	21,2	59,6	76,1	135,7	51,9	7,2	61,4	3,6
19.10.2017	611	20,2	103,5	78,8	182,3	68,5	5,6	74,7	2,6
20.10.2017	1422,9	18,8	267,3	82,6	349,8	87,8	7,2	154	3,1

Kadıköy istasyonunda ocak-şubat döneminde 2 Şubat 2017 tarihinde NO, NO₂, NO_x, PM₁₀, SO₂ parametrelerinde en yüksek değere ulaştığında CO için ise en düşük değer görülmüştür (Tablo 21). Bu tarih aynı zamanda metal verilerine göre Cr, Cu, Ni, Pb, Zn elementlerinde en yüksek değerlerin görüldüğü gündür.

Ekim döneminde 20 Ekim 2017 tarihinde CO, NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ ve nem parametreleri en yüksek değere ulaşmıştır. Bu tarihte metal verilerinde Cd, Co ve Cr için en düşük değer tespit edilmiş, ZF değerlerinde ise bütün elementler için dönemsel olarak en yüksek değerler görülmüştür.

5.1.3. Yenibosna istasyonu

Yenibosna istasyonu ZF verilerine göre bütün günlerde zenginleşme görülen elementler yine Cd, Cu ve Zn olup kirlilik kaynağı antropojeniktir. Bazı günlerde zenginleşme görülen elementler Cr, Ni, Pb olup kirliliğin kaynağının da antropojenik olduğu düşünülebilir. Hiç zenginleşme görülmeyen elementler Co, Fe ve Mn olup kirlilik doğal kaynaklıdır.

Yenibosna istasyonu Mayıs 2017 ZF verilerinin Mart 2018 verilerine oranlarına göre sadece Co ve Pb elementlerinde kısmen artış, diğer elementlerde belirgin bir azalma görülmüştür. 28 Şubat tarihinde diğer elementlerdeki zenginleşme değerleri benzer seviyede iken Pb elementinde aşırı zenginleşme görülmüştür.

Yenibosna istasyonu kirletici parametreleri değerlendirildiğinde PM₁₀ parametresinin en yüksek olduğu günde aynı zamanda bütün elementlerde en yüksek değerler tespit edilmiştir. Bu durum PM₁₀ miktarının artmasının kirletici yükünü arttırdığı anlamına gelmektedir.

İBB HKİM tarafından paylaşılan ve çalışmada değerlendirilen bu istasyona ait veriler; CO, PM₁₀, SO₂, hava sıcaklığı, nem ve yağmur oranıdır.

Tablo 22. Yenibosna istasyonu analiz dönemine ait kirletici gaz ve meteoroloji parametreleri

Tarih	CO (µg/m ³)	Hava Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	Yağ. Oranı (mm/ s)
23.05.2017		16,6	83	46,6	1,9	2,6
24.05.2017		16,2	83	33,6	1,3	2,6
25.05.2017		17,8	81,8	66,8	1,5	3,5
26.05.2017		17,4	83,1	51,9	0,7	2,6
27.05.2017		16,5	83,5	24,3	0,8	2,8
28.02.2018	964,7	4,1	87,3	32,5	1	
02.03.2018	772,6	8,7	83,6	53,5	3,3	
04.03.2018	817,5	9,7	86,9	36,3	2,8	

Yenibosna istasyonuna ait kirletici gazların verileri diğer istasyonlara göre daha kısıtlıdır. PM₁₀ parametresinin en yüksek olduğu günde (25 Mayıs 2017) yağmur oranının ve sıcaklığın en yüksek, nemin en düşük olduğu görülmüştür (Tablo 22).

5.1.4. Genel değerlendirme

Bütün metal parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, 3 istasyonda da bütün dönemlerde zenginleşme görülen elementler aynıdır. Bunlar Cd, Cu ve Zn elementleridir. Bu da 3 istasyonun da en azından trafik kaynaklı kirliliğe maruz kaldığı göstermektedir. Ayrıca metallerin birbirleriyle olan korelasyon katsayıları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 23'te verilmiştir. Tabloya göre aralarında en yüksek korelasyon tespit edilen metaller sırasıyla; Fe-Cu>Mn-Zn>Fe-Mn>Cu-Mn>Fe-Zn>Co-Zn>Ni-Cd>Cu-Zn. Elementler arasındaki korelasyonun yüksekliği, kaynaklarının aynı ya da benzer olabileceği anlamına gelebilir.

Tablo 23. Bütün istasyonlardaki bütün dönemler için PM₁₀ metal verilerinin korelasyonu.

Metal	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Na	Ni	Pb	Zn
Al	1	0,21	0,79	0,44	0,72	0,76	0,78	0,49	0,18	0,18	0,84
Cd		1	0,35	0,17	0,39	0,31	0,35	-0,20	0,72	0,43	0,27
Co			1	0,32	0,52	0,50	0,60	0,54	0,29	0,22	0,72
Cr				1	0,52	0,55	0,62	-0,01	0,36	0,36	0,49
Cu					1	0,93	0,76	0,04	0,54	0,39	0,71
Fe						1	0,77	0,01	0,47	0,38	0,76
Mn							1	0,23	0,39	0,44	0,80
Na								1	-0,38	-0,23	0,37
Ni									1	0,62	0,33
Pb										1	0,38
Zn											1

Dönemsel karşılaştırmalar, analizi yapılan dönemlere özgü kirleticilerin tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. İstasyonlara ait verilerdeki önemli dönemsel değişimler ve yüklenebilecek olan anlamlar Tablo 24'te açıklanmıştır.

Tablo 24. Üç istasyonun metal konsantrasyonlarının dönemsel incelenmesi

İstasyon	Dönem	Bulgu	Yorum
Aksaray	Yaz⇒Kış	Pb, Cd, Ni değerlerinde belirgin artma	Kış döneminde ısınma ihtiyacı ve İstanbul'da trafikteki araç sayısı arttığı için araç kaynaklı kirliteciler de artış göstermektedir.
Kadıköy	Ocak-şubat ⇒kasım	Cd, Ni, Pb değerlerinde belirgin azalma	Ocak döneminde en yüksek değerlere yükselip sonra azalma eğiliminde olabilir. Ocak ayı İstanbul için genellikle kirlilik yükünün en yüksek olduğu zamandır.
Yenibosna	2017 Mayıs dönemi⇒2018 yılı Mart dönemi	Cu, Fe, Cr elementlerinde azalma	Dönemsel sıcaklık değişimi ya da mayıs ayında rüzgarla PM taşınması sebebiyle olabilir.

Kirletici gaz ve meteoroloji parametreleri genel olarak değerlendirildiğinde yağmurlu günlerde ya da sonrasında PM₁₀ miktarının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu durum, havadaki partiküllerin gece yağan yağmurla birlikte yere zemine inmesiyle açıklanabilir.

PM₁₀, CO, NO, NO_x, SO₂ parametrelerinin genellikle birbiriyle pozitif ilişki içinde olduğu ve bu parametrelerde artışın olduğu günlerde metal konsantrasyonlarının da artış gösterdiği gözlemlenmiştir. O₃ ise diğer parametrelerle ters orantılı davranış göstermiştir. Bunun durum, O₃ oluşum denkleminde oksijen atomunun yer değiştirmiş olmasıyla açıklanabilir.

Bu çalışmada elde edilen metal analiz sonuçları, İstanbul’da daha önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır (Tablo 25).

Tablo 25. İstanbul’da geçmiş dönemde yapılmış çalışmalar

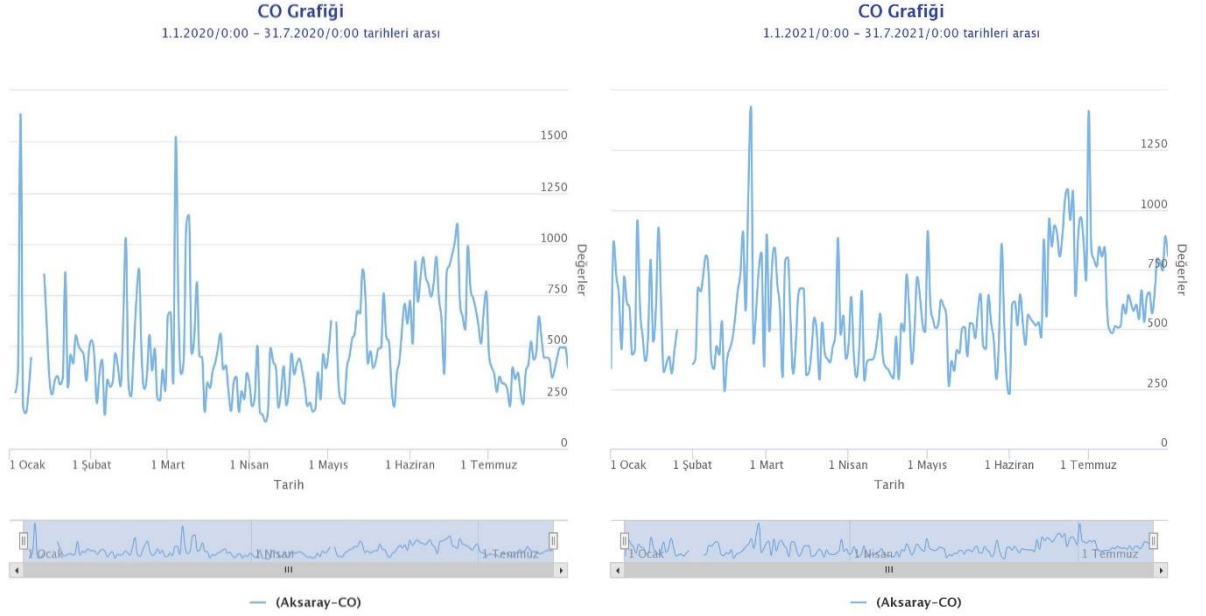
Çalışma	Çalışma Dönemi	PM Boyutu	İstasyon Adı	Metal Sonuçları	Birim
Bu çalışma	2017-2018	PM ₁₀	Aksaray	Al: 23,22-121; Cd: 0,009-0,069 Co: 0,018-0,078; Cr: 0,247-1,76 Cu: 0,657-2,91; Fe: 13,63-65,04 Mn: 0,014-2,16; Ni: 0-0,733 Pb: 0-0,954; Zn: 1,92-6,18	µg/m ³
			Yenibosna	Al: 15,38-68,86; Cd: 0,010-0,030 Co: 0,007-0,048; Cr: 1,07-1,84 Cu: 0,809-2,31; Fe: 17,58-47,83 Mn: 0,271-1,44; Ni: 0,230-0,502 Pb: 0,164-1,37; Zn: 1,54-4,15	
Izladioğlu (2019)	2017	PM _{2.5}	Aksaray	Cd: 0,15-0,44; Co: 0,03-1,29 Cr: 5,15-10,73; Cu: 2,52-79,45 Ni: 3,67-118,86	ng/m ³
Onat ve diğerleri (2012)	2005-2006	PM ₁₀	Yenibosna	Cd (ort): 4,5; Co (ort): 4,8 Cr (ort): 62,2; Cu (ort): 49,2 Ni (ort): 13,2; Pb (ort): 105,4	ng/m ³
Aksu (2015)	2010	PM ₁₀	Tuzla	Al: 14-248; Cd: 0,001-0,41 Cr: 0,004-0,28; Cu: 0,04-2,68 Fe: 5,48-74; Pb: 0,01-0,77 Zn: 0,01-0,65	ng/m ³
Şahin ve diğerleri (2016)	2008-2010	PM ₁₀	Beşiktaş	Cd (ort): 0,7; Co (ort): 0,4 Cr (ort): 7,9; Cu (ort): 15 Ni (ort): 4,3; Pb (ort): 7,3 Mn (ort): 13,6; Zn (ort): 216 Fe (ort): 1034,9	µg/m ³
			Göztepe	Cd (ort): 0,6; Co (ort): 0,6 Cr (ort): 7,5; Cu (ort): 19,1 Ni (ort): 3,8; Pb (ort): 10,8 Mn (ort): 16,7; Zn (ort): 152,4 Fe (ort): 1303,4	µg/m ³

5.2.2020-2021 Yıllarında (1 Ocak-31 Temmuz) Kirletici Gazların Durumu

2020 yılında 16 Mart ile 31 Mayıs tarihleri arasında, 2021 yılında da nisan ve mayıs aylarında sıkı karantina kuralları (insan hareketleri, araç trafiği en aza inmiş, sanayi üretimi kısıtlanmıştır), dönem dönem farklı kısmi kısıtlama yöntemleri uygulanmış, 1 Temmuz 2021 itibariyle bütün kısıtlamalar kaldırılmıştır.

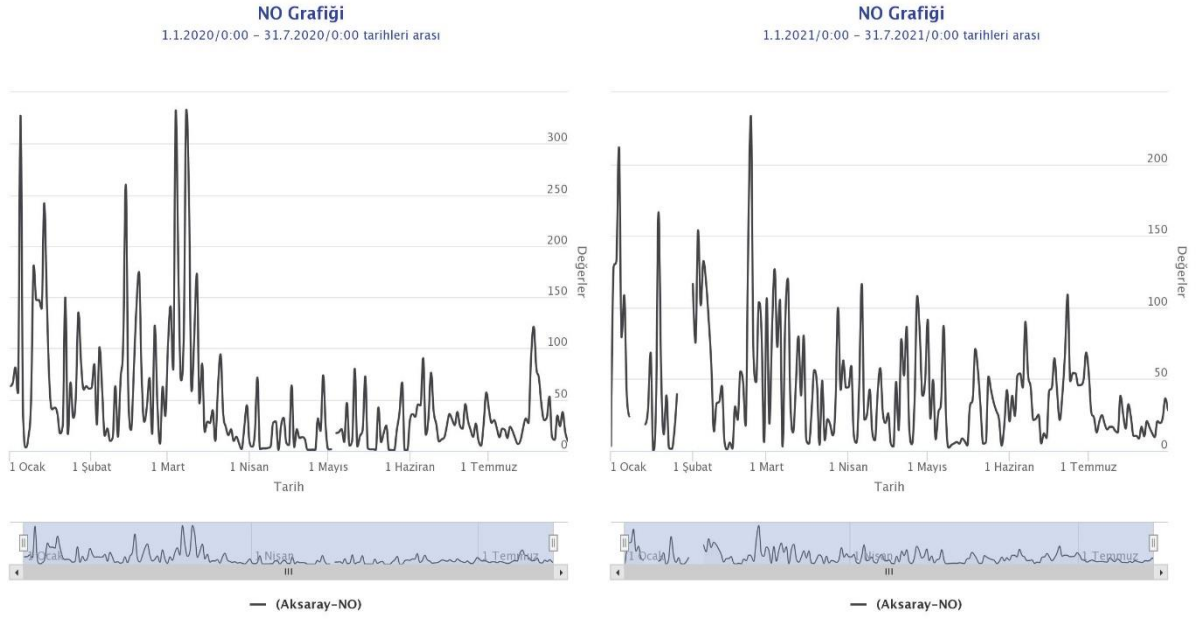
Uygulanan karantina ve kısıtlamaların 2020 ve 2021 yıllarında hava kirletici gazların (CO, NO, NO₂, NO_x, PM₁₀, SO₂, O₃) miktarına etkisini görmek amacıyla İBB tarafından yayınlanan bu parametrelere ait 1 Ocak-31 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki veriler değerlendirilmiştir. Aksaray, Kadıköy ve Yenibosna istasyonlarına ait her bir parametre, yılına göre karşılaştırma da yapılması amacıyla yanyana verilmiştir (günlük ortalamalardan yararlanılmıştır). Ayrıca bu verilerin, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ndeki (HKDYY) güncel sınır değerlere göre karşılaştırılması yapılmıştır.

5.2.1. Aksaray istasyonu



Şekil 7. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi CO grafikleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CO için 2020 yılında görülen en küçük değer 132,9 (7 Nisan) en yüksek değer 1634,4 (5 Ocak), ortalama değer 480,4 olup istasyon tarafından 213 günde 206 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 7). 2021 yılında görülen en küçük değer 229,2 (1 Haziran) en yüksek değer 1432,5 (23 Şubat), ortalama değer 579,3 olup istasyon tarafından 212 günde 207 güne ait veri kaydedilmiştir. Hiçbir veri HKDYY limit değerini aşmamıştır. Her 2 yılda da kısmi ya da tam kısıtlama uygulanan Mart, Nisan, Mayıs aylarında diğer aylara göre daha düşük emisyonla rastlanmıştır olup bunun sebebi olarak hava sıcaklıklarının yükselmesiyle ısınma amaçlı yakıt kullanımının azalması ve kısıtlama sebebiyle trafikteki araç sayısının azalması düşünülebilir. Kısıtlamalardan sonra artan araç hareketleri sebebiyle emisyonda artış olduğu gözlenmiştir. 2021 yılı ortalamasının 2020 yılına göre yüksek olması dikkat çekmektedir. Rüzgar sebebiyle bazı günlerde ani yükselmeler görülmüştür.



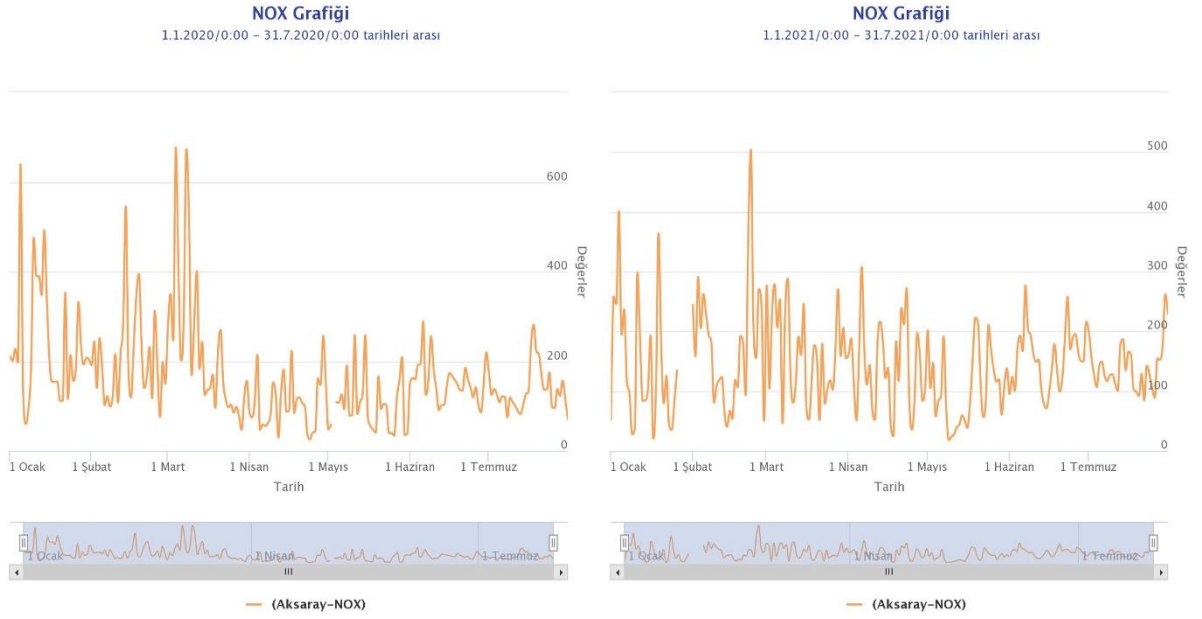
Şekil 8. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO grafikleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

NO için 2020 yılında görülen en küçük değer 0,5 (26 Mayıs) en yüksek değer 333 (8 Mart), ortalama değer 47,4 olup istasyon tarafından 213 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 8). 2021 yılında görülen en küçük değer 0,3 (1 Haziran) en yüksek değer 233,6 (23 Şubat), ortalama değer 42,4 olup istasyon tarafından 122 günde 202 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da kış dönemindeki yüksek değerlerin havaların ısınması ve kısıtlamaların başlamasıyla düştüğü görülmektedir. Bu durum, trafikteki araç sayısının azaldığını gösterse de 2021 yılında 2020 yılındaki kadar azalma yoktur. Ayrıca 7 aylık ortalama değere bakıldığında ise 2021 yılında emisyon azalmıştır.



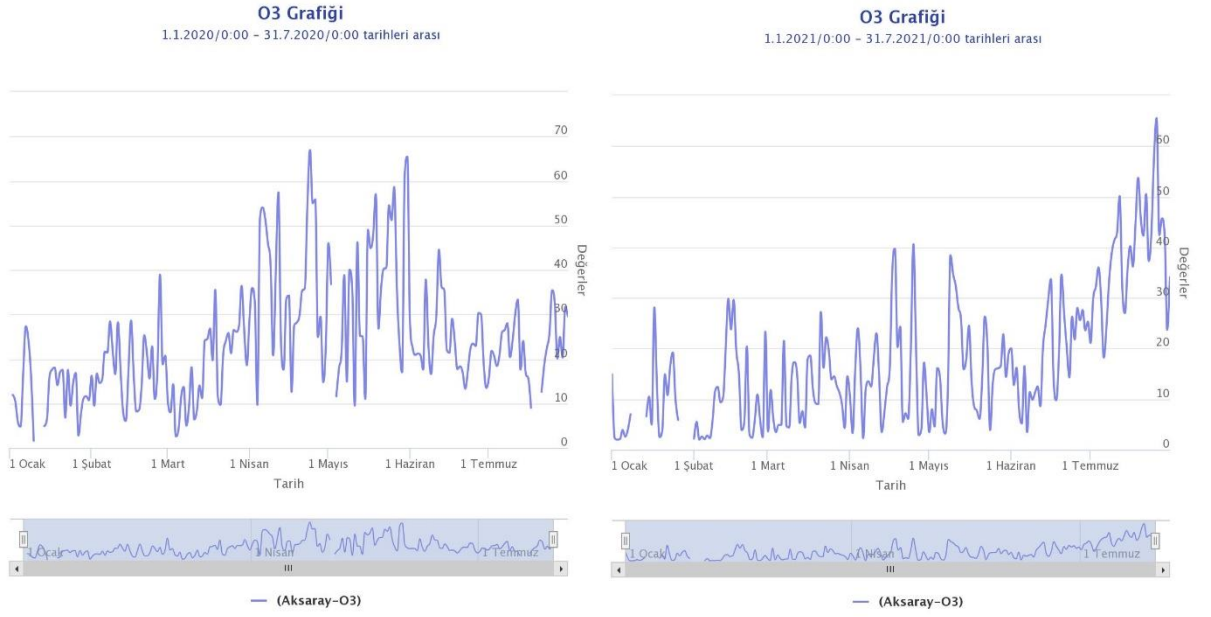
Şekil 9. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO₂ grafikleri (µg/m³)

NO₂ için 2020 yılında görülen en küçük değer 24 (24 Nisan) en yüksek değer 168 (4 Mart), ortalama değer 94,2 olup istasyon tarafından 213 günde 207 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 9). 2021 yılında görülen en küçük değer 14,5 (9 Mayıs) en yüksek değer 207,9 (30 Temmuz), ortalama değer 80,5 olup istasyon tarafından 212 günde 202 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da ortalama değerlerin HKDYY limit değerini oldukça aştığı, en düşük değerlerin kısıtlama döneminde olduğu görülmekte ve ortalama emisyonun azalma eğiliminde olduğu düşünülmektedir. Azotdioksit ortalama olarak azalsa da, pandemi boyunca belirgin bir şekilde azalan azotmonoksitin aksine yıl içinde sürekli artıp azalan bir grafik ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni olarak azotmonoksitin azotdioksite dönüşme eğiliminde olması gösterilebilir.



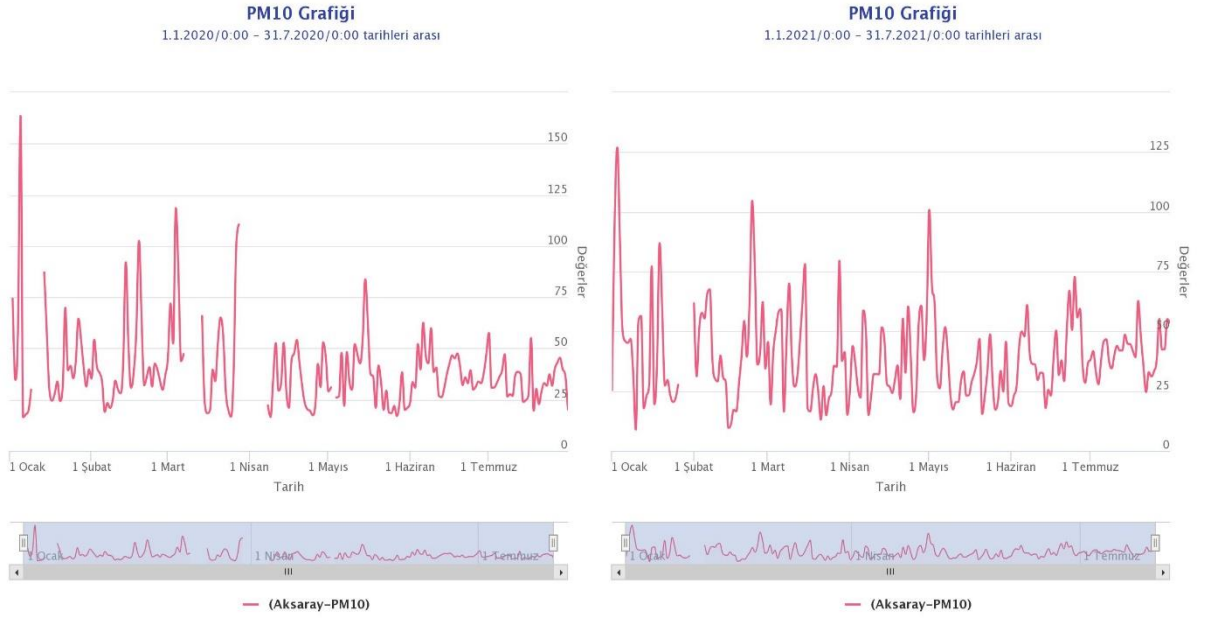
Şekil 10. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO_x grafikleri (µg/m³)

NO_x için 2020 yılında görülen en küçük değer 25,4 (24 Nisan) en yüksek değer 676,7 (4 Mart), ortalama değer 168,1 olup istasyon tarafından 213 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 10). 2021 yılında görülen en küçük değer 17,8 (9 Mayıs) en yüksek değer 504 (23 Şubat), ortalama değer 145,8 olup istasyon tarafından 212 günde 207 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da NO₂ gibi, ortalama değerlerin HKDYY limit değerini aştığı, hava sıcaklığının arttığı ve kısıtlamaların uygulandığı zamanlarda emisyonda belirgin azalmalar olduğu, 2021 yılında ortalama değer de azaldığı görülmektedir. Bu durum fosil yakıt kullanımının azalmasıyla açıklanabilir. Kısıtlama döneminde bile limit değerlerin sık sık aşılması, kamyonların ve bazı araçların bu dönemde çalışmasına bağlanabilir.



Şekil 11. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi O₃ grafikleri (µg/m³)

O₃ için 2020 yılında görülen en küçük değer 1,6 (10 Ocak) en yüksek değer 66,9 (24 Nisan), ortalama değer 24,1 olup istasyon tarafından 213 günde 205 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 11). 2021 yılında görülen en küçük değer 2 (3 Ocak) en yüksek değer 65,5 (25 Temmuz), ortalama değer 17,6 olup istasyon tarafından 212 günde 202 güne ait veri kaydedilmiştir. 2020 yılında karantina uygulanan dönemde, 2021 yılında ise kısıtlamaların kaldırıldığı ve sıcaklıkların yükseldiği dönemde belirgin artış olduğu, ortalama emisyonun 2021 yılında azaldığı görülmektedir.



Şekil 12. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi PM₁₀ grafikleri (µg/m³)

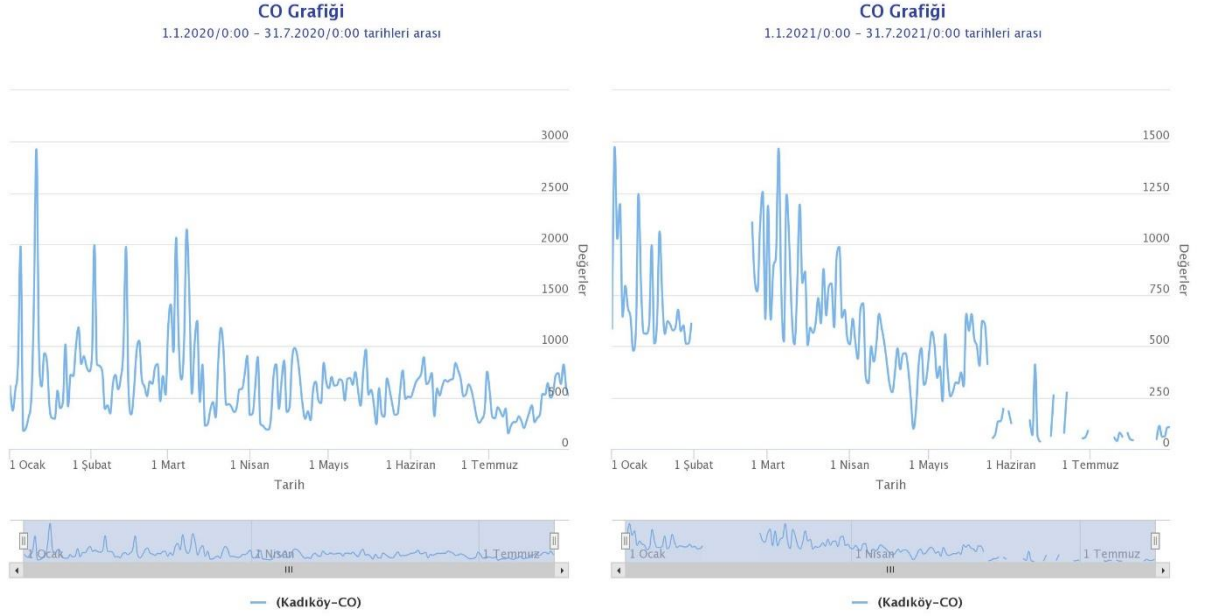
PM₁₀ için 2020 yılında görülen en küçük değer 16,4 (6 Ocak) en yüksek değer 163,5 (5 Ocak), ortalama değer 39,7 olup istasyon tarafından 213 günde 191 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 12). Ortalama değerler HKDYY yıllık ortalama limit değerinin altında olup günlük verilerin 37 tanesi günlük limit değeri aşmıştır. 2021 yılında görülen en küçük değer 8,9 (3 Ocak) en yüksek değer 126,9 (10 Ocak), ortalama değer 39,5 olup istasyon tarafından 212 günde 207 güne ait veri kaydedilmiştir. Ortalama değerler HKDYY yıllık ortalama limit değerinin altında olup günlük verilerin 50 tanesi günlük limit değeri aşmıştır. Her 2 yılda da yaz döneminde günlük daha stabil değerler görülmektedir. Bunun sebebi olarak yazın ısınma kaynaklı kirlilik parametrelerindeki azalmalar gösterilebilir.



Şekil 13. Aksaray istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi SO₂ grafikleri (µg/m³)

SO₂ için 2020 yılında görülen en küçük değer 0,3 (1 Ocak) en yüksek değer 9 (4 Mart), ortalama değer 2,9 olup istasyon tarafından 213 günde 205 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 13). 2021 yılında görülen en küçük değer 1,4 (7 Ocak) en yüksek değer 7,8 (14 Mart), ortalama değer 3,5 olup istasyon tarafından 212 günde 207 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yıla ait veriler HKDYY limit değerlerinin altındadır. 2020 yılında kısıtlamalarla birlikte bariz bir şekilde azaldığı, 2021 yılında ortalama emisyon miktarının arttığı görülmektedir.

5.2.2. Kadıköy istasyonu



Şekil 14. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi CO grafikleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CO için 2020 yılında görülen en küçük değer 151,4 (8 Temmuz) en yüksek değer 2925 (11 Ocak), ortalama değer 636,2 olup istasyon tarafından 213 günde 213 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 14). 2021 yılında görülen en küçük değer 35,2 (12 Haziran) en yüksek değer 1473,7 (2 Ocak), ortalama değer 500,5 olup istasyon tarafından 212 günde 160 güne ait veri kaydedilmiştir. Hiçbir veri HKDYY limit değini aşmamıştır. Her 2 yılda da kısıtlama döneminde emisyonların azaldığı, sıcaklıkların artmasıyla da düşük seyrettiği, ortalama emisyonun belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Azalmanın sebebi olarak dönem dönem uygulanan kısıtlamalar ile bölgedeki trafiğin ve fosil yakıt kullanımının azalması gösterilebilir.



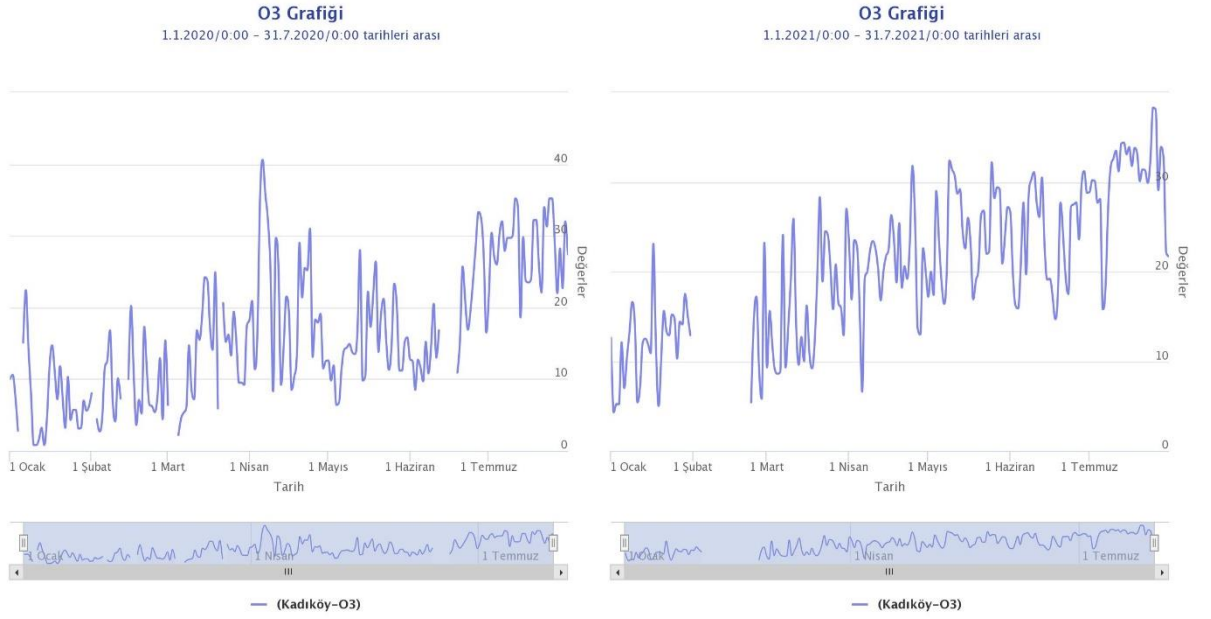
Şekil 16. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO₂ grafikleri (µg/m³)

NO₂ için 2020 yılında görülen en küçük değer 22,8 (6 Ocak) en yüksek değer 132,1 (22 Şubat), ortalama değer 68,4 olup istasyon tarafından 213 günde 211 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 16). 2021 yılında görülen en küçük değer 24,5 (9 Mayıs) en yüksek değer 129,1 (27 Haziran), ortalama değer 60,9 olup istasyon tarafından 212 günde 165 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da ortalama değerlerin HKDYY limit değerini aştığı, verilerde aylara ve durumlara özgü değişim olmadığı görülmektedir. Araç yakıtlarının yüksek sıcaklıkta yanmasının sonucu olarak atmosfere yüksek miktarda NO, düşük miktarda NO₂ salındığı için, araç sayısının azalmasının NO parametresini çok etkileyip NO₂ parametresini aynı oranda etkilemediği ve NO parametresinin NO₂'ye dönüşmüş olabileceği düşünülebilir.



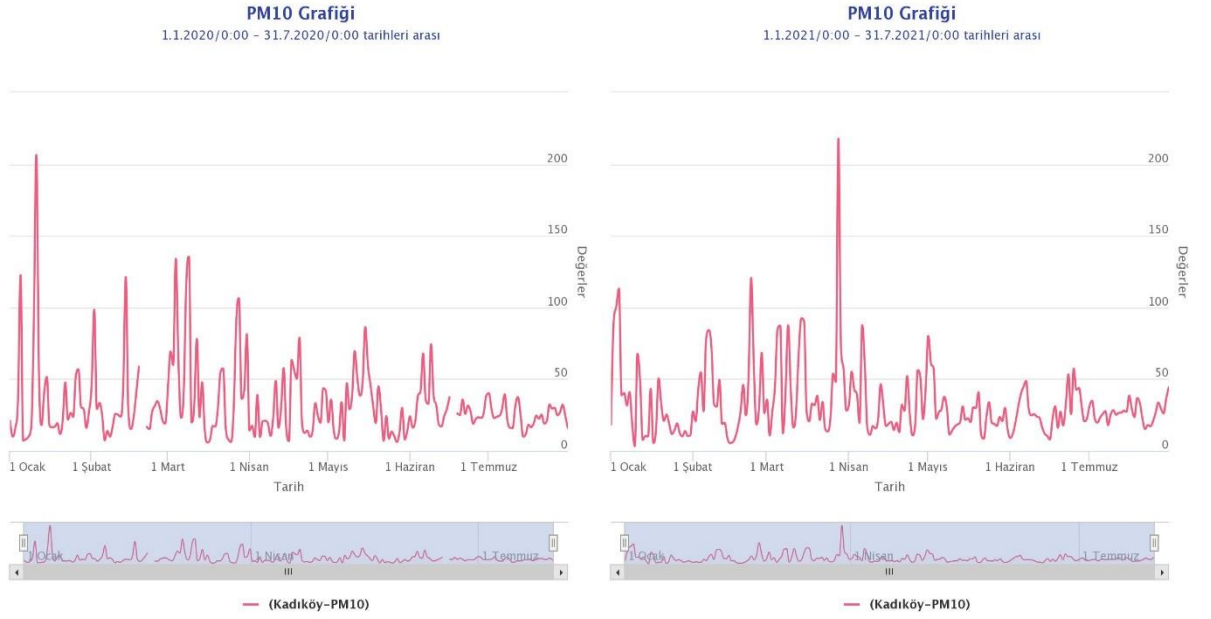
Şekil 17. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO_x grafikleri (µg/m³)

NO_x için 2020 yılında görülen en küçük değer 99,9 (8 Temmuz) en yüksek değer 1900,1 (11 Ocak), ortalama değer 535,3 olup istasyon tarafından 213 günde 178 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 17). 2021 yılında görülen en küçük değer 14,5 (13 Mart) en yüksek değer 461,1 (5 Mart), ortalama değer 136,7 olup istasyon tarafından 212 günde 167 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da ortalama değerlerin HKDYY limit değerini fazlasıyla aştığı ortaya çıkmıştır. Görülen en yüksek ve ortalama değerlerin 2021 yılında çok büyük düşüş gösterdiği, her 2 dönemde kısıtlama döneminde emisyonların azaldığı ve 2021 yılında kısıtlama sonrasında kısıtlama öncesi verilere yükselme olduğu görülmektedir. NO_x'in NO verilerine paralel olarak değişim gösterdiği ve trafik kaynaklı olduğu söylenebilir. Bu istasyonun antropojenik kirlilikten çok fazla etkilendiği düşünülebilir.



Şekil 18. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi O₃ grafikleri (µg/m³)

O₃ için 2020 yılında görülen en küçük değer 0,8 (10 Ocak) en yüksek değer 40,6 (6 Nisan), ortalama değer 16,1 olup istasyon tarafından 213 günde 200 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 18). 2021 yılında görülen en küçük değer 4,3 (2 Ocak) en yüksek değer 38,3 (25 Temmuz), ortalama değer 20,3 olup istasyon tarafından 212 günde 190 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da hava sıcaklığının artmasıyla arttığı, 2021 yılı ortalama emisyonun daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da O₃'ün oluşumunda sıcaklığın etkisinin olduğunu göstermektedir. 2021 yılında kısıtlama sonrası hem O₃ hem NO_x miktarının artması, ozonun yapısındaki diğer bileşkenlerdeki (örneğin uçucu organik bileşikler) artışla açıklanabilir.



Şekil 19. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi PM₁₀ grafikleri (µg/m³)

PM₁₀ için 2020 yılında görülen en küçük değer 5,8 (16 Mart) en yüksek değer 206,3 (11 Ocak), ortalama değer 32,9 olup istasyon tarafından 213 günde 209 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 19). 2021 yılında görülen en küçük değer 3,3 (10 Ocak) en yüksek değer 217,7 (28 Mart), ortalama değer 32,9 olup istasyon tarafından 212 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir. Her ne kadar ortalama değerler limitin altında kalsa da günlük verilerden 2020 yılında 33, 2021 yılında 34 tanesi HKDYY limitini aşmıştır. Her 2 yılda da ortalama değer aynı olduğu ve yıl içinde sıcaklık arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Günlük aşırı yüksek pikler rüzgarla gelen kirliliğe yüklenebilir.



Şekil 20. Kadıköy istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi SO₂ grafikleri (µg/m³)

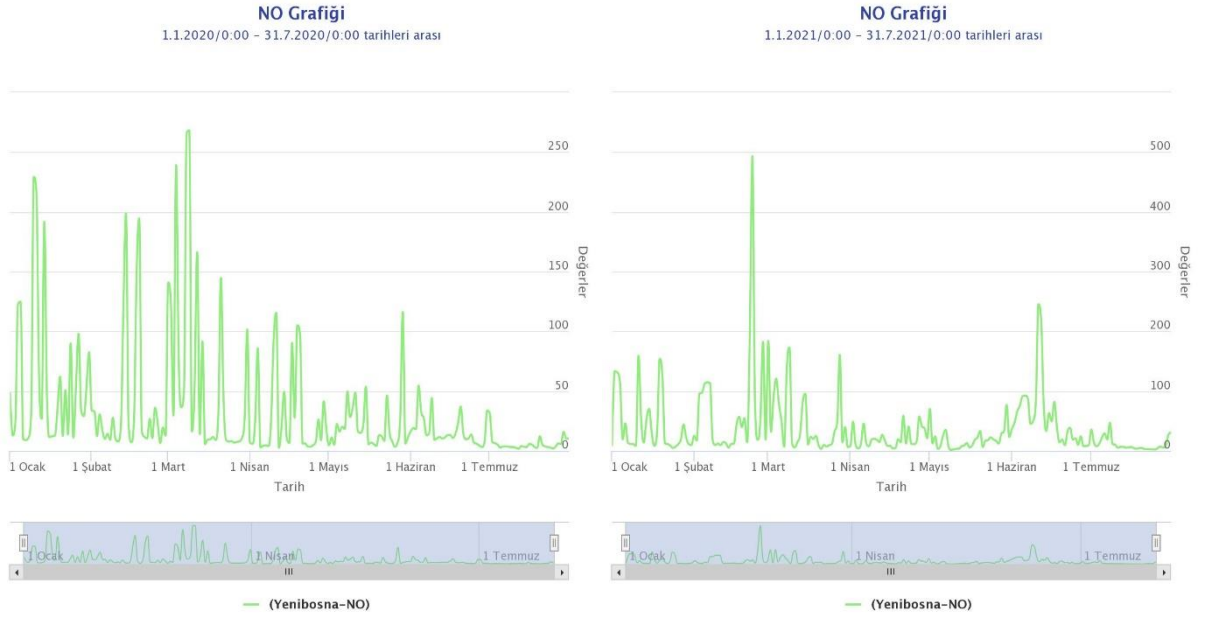
SO₂ için 2020 yılında görülen en küçük değer 0 (16 Haziran) en yüksek değer 17,6 (21 Temmuz), ortalama değer 4,9 olup istasyon tarafından 213 günde 213 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 20). 2021 yılında görülen en küçük değer 0,5 (15 Nisan) en yüksek değer 5,7 (27 Mart), ortalama değer 2,6 olup istasyon tarafından 212 günde 177 güne ait veri kaydedilmiştir. HKDYY limitini aşan değer yoktur. Bunun sebebinin son yıllarda doğalgazın yaygınlaşması ve kömür kullanımının azalması olduğu düşünülebilir. Ortalama değer 2021 yılında azaldığı ve pandemiden dönemsel olarak değil ama genel ortalama oldukça etkilendiği (azalarak) söylenebilir. Tek günlük yüksek değerlerin rüzgarlar sebebiyle görüldüğü yorumlanabilir.

5.2.3. Yenibosna istasyonu



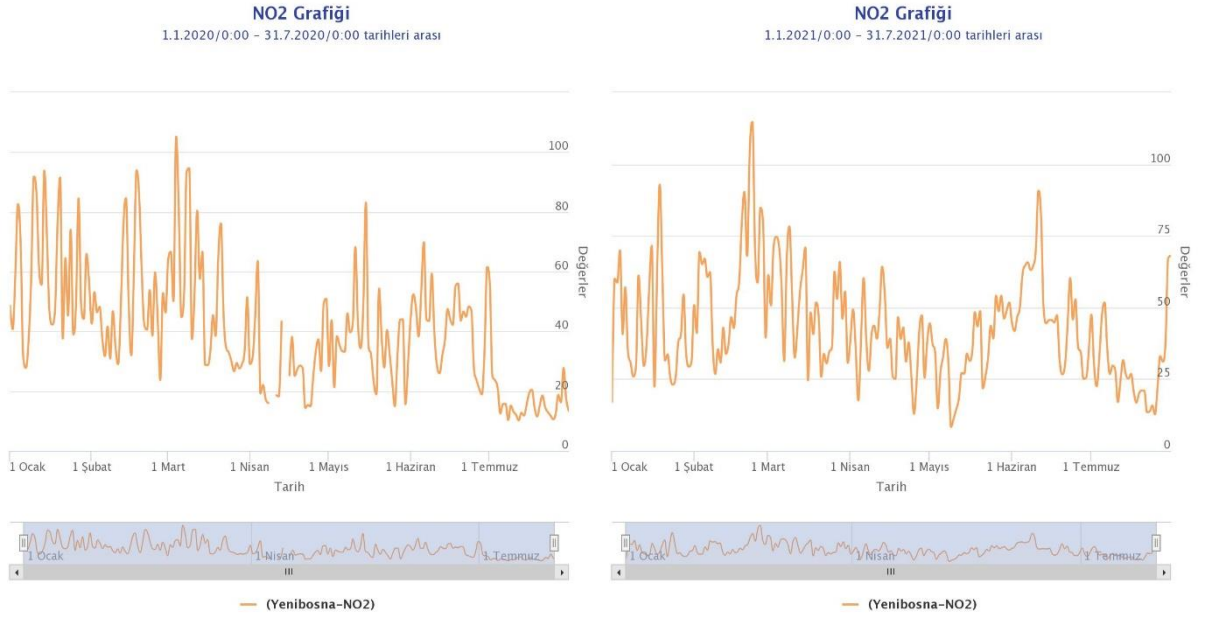
Şekil 21. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi CO grafikleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CO için 2020 yılında görülen en küçük değer 0 (9 Nisan) en yüksek değer 1654,7 (7 Temmuz), ortalama değer 715,2 olup istasyon tarafından 213 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 21). 2021 yılında görülen en küçük değer 213 (3 Haziran) en yüksek değer 2180,7 (19 Mart), ortalama değer 796,8 olup istasyon tarafından 212 günde 184 güne ait veri kaydedilmiştir. HKDYY limit değerini aşan gün yoktur. Ortalama emisyon miktarı 2021 yılında artmıştır. Kısıtlama dönemlerinde emisyon azalmıştır. 2020 yılında kısıtlama döneminden sonra artmış olmasına rağmen 2021 yılında artmamıştır. Bunun sebebi 2021 yılında ozonun yapısına katılmış olması olabilir (bu istasyonda bu döneme ait ozon verisi yoktur).



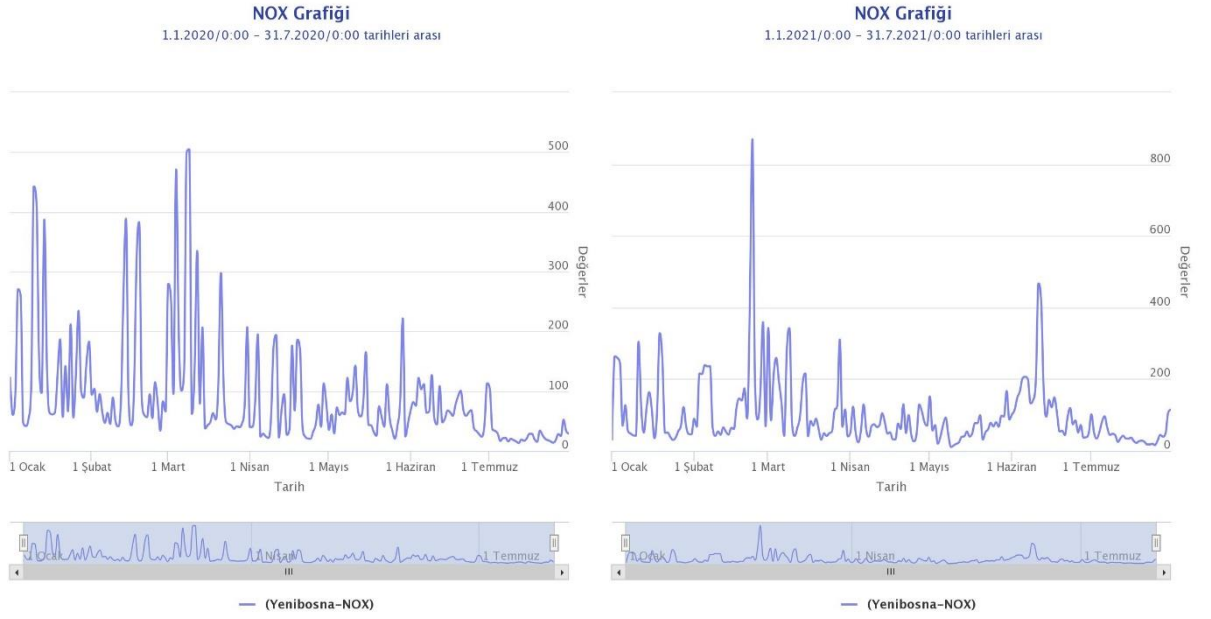
Şekil 22. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO grafikleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

NO için 2020 yılında görülen en küçük değer 1,8 (12 Temmuz) en yüksek değer 268,2 (9 Mart), ortalama değer 33,9 olup istasyon tarafından 213 günde 213 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 22). 2021 yılında görülen en küçük değer 1,5 (9 Mayıs) en yüksek değer 493,1 (23 Şubat), ortalama değer 38 olup istasyon tarafından 212 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir. Ortalama emisyonun 2021 yılında artışı, kısıtlama dönemlerinin ve sıcaklık artışının bu parametreye ait kirliliği azalttığı görülmüştür. Kısıtlama dönemindeki azalma, trafikteki araç sayısının azalmasıyla; kısıtlama sonrası düşük miktarlarda devam etmesi, azotmonoksitin ozon miktarını arttırmasıyla açıklanabilir.



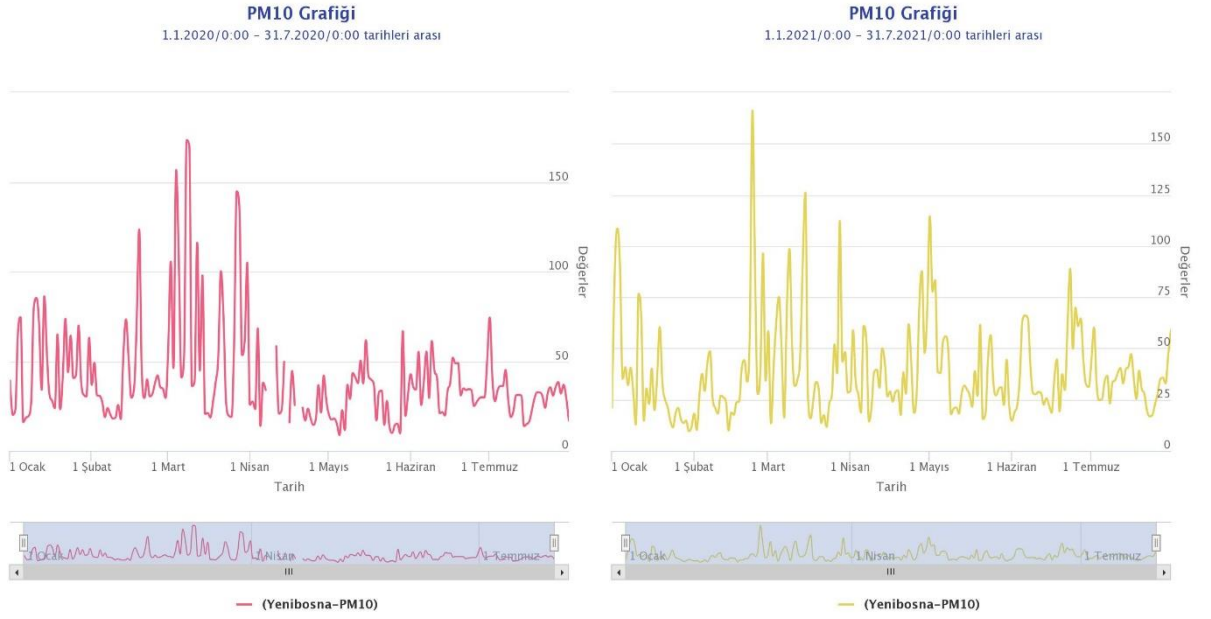
Şekil 23. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO₂ grafikleri (µg/m³)

NO₂ için 2020 yılında görülen en küçük değer 10,2 (12 Temmuz) en yüksek değer 105,2 (4 Mart), ortalama değer 41 olup istasyon tarafından 213 günde 209 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 23). 2021 yılında görülen en küçük değer 8,3 (9 Mayıs) en yüksek değer 114,7 (23 Şubat), ortalama değer 43,1 olup istasyon tarafından 212 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir. 7 aylık ortalama değerler HKDYY limit değerinin altındadır. Zaman zaman düşük değerler görülse de kısıtlama dönemine özgü bir fark tespit edilememiştir.



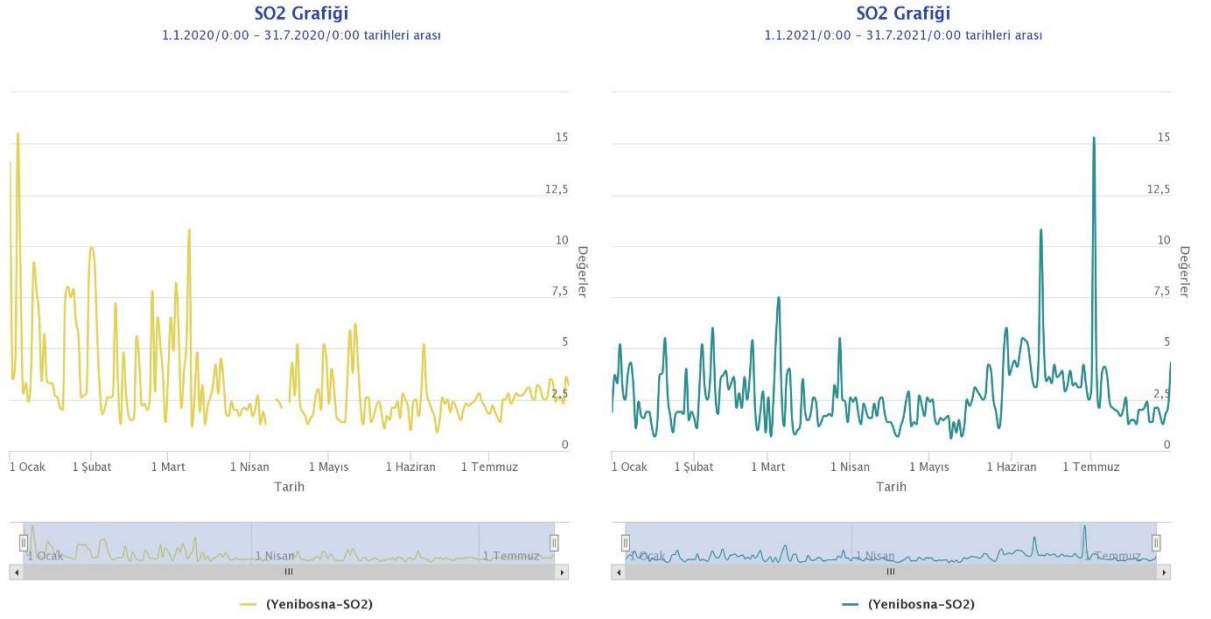
Şekil 24. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi NO_x grafikleri (µg/m³)

NO_x için 2020 yılında görülen en küçük değer 13 (12 Temmuz) en yüksek değer 504,8 (9 Mart), ortalama değer 92,6 olup istasyon tarafından 213 günde 213 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 24). 2021 yılında görülen en küçük değer 10,6 (9 Mayıs) en yüksek değer 869,2 (23 Şubat), ortalama değer 100,8 olup istasyon tarafından 212 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir. Her 2 yılda da 7 aylık ortalamalar HDYY limit değerinin oldukça üzerindedir. PM'nin yüksek olduğu dönemlerde yüksek miktarda NO_x filtre edilmiştir. Kısıtlamaların, emisyonların azalmasında etkili olduğu, NO_x miktarının 2021 yılında ortalama olarak artış gösterdiği görülmüştür. Hem kısıtlama döneminde hem de sıcaklık artışıyla birlikte 2 yılda da miktarı düşük seyrettiği söylenebilir.



Şekil 25. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi PM₁₀ grafikleri (µg/m³)

PM₁₀ için 2020 yılında görülen en küçük değer 8,8 (5 Mayıs) en yüksek değer 173,3 (8 Mart), ortalama değer 40,6 olup istasyon tarafından 213 günde 207 güne ait veri kaydedilmiştir. HKDYY yıllık ortalamaya göre limitin hemen üzerinde ve 45 adet günde günlük limite göre aşım olduğu görülmüştür (Şekil 25). 2021 yılında görülen en küçük değer 9,6 (30 Ocak) en yüksek değer 166,1 (23 Şubat), ortalama değer 38,6 olup istasyon tarafından 212 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir. HKDYY yıllık ortalamaya göre limitin hemen altında olmasına rağmen günlük limiti aşan veri 45 adet veri vardır. Kısıtlama döneminin emisyonlara etkisi değerlendirildiğinde 2020 yılında bu etkinin daha belirgin olduğu söylenebilir.



Şekil 26. Yenibosna istasyonu 2020 ve 2021 yılları Ocak-Temmuz dönemi SO₂ grafikleri (µg/m³)

SO₂ için 2020 yılında görülen en küçük değer 0,9 (11 Haziran) en yüksek değer 15,5 (4 Ocak), ortalama değer 3,3 olup istasyon tarafından 213 günde 208 güne ait veri kaydedilmiştir (Şekil 26). 2021 yılında görülen en küçük değer 0,6 (9 Mayıs) en yüksek değer 15,3 (2 Temmuz), ortalama değer 2,7 olup istasyon tarafından 212 günde 212 güne ait veri kaydedilmiştir. HKDYY limitlerini aşan bir veri yoktur. Kısıtlamaların emisyonu azalttığı, ortalama emisyonun 2021 yılında düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. 2021 yılında en yüksek değer kısıtlamaların kaldırılmasından hemen sonra 2 Temmuz'da görülmüştür (rüzgar kaynaklı olduğu düşünülebilir).

5.2.4. Genel değerlendirme

2020-2021 yılları 1 Ocak-31 Temmuz arasına ait CO, hava sıcaklığı, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, SO₂ verilerinin aralarındaki ilişkinin hesaplanması amacıyla Excel korelasyon formülüyle korelasyon katsayısı hesabı yapılmıştır (Tablo 26).

Tablo 26. Üç İstasyona ait kirletici gaz ve hava sıcaklığı verilerinin toplam ve ayrı ayrı korelasyon katsayıları (1 Ocak-31 Temmuz 2021)

		CO (µg/m³)	Hava Sıc.(°C)	NO (µg/m³)	NO ₂ (µg/m³)	NO _x (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	PM ₁₀ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)
CO (µg/m³)	T	1	-0,05	0,29	0,01	0,32	-0,41	0,45	0,27
	A		0,20	0,55	0,40	0,57	-0,25	0,54	0,22
	K		-0,38	0,55	0,35	0,66	-0,67	0,68	0,49
	Y		0,13	0,23	0,12	0,22		0,16	0,06
Hava Sıc. (°C)	T	1	-0,09	-0,06	-0,17	0,46	-0,02	-0,08	-0,08
	A		-0,18	0,28	-0,05	0,37	0,00	-0,08	-0,08
	K		-0,14	-0,28	-0,32	0,65	-0,03	-0,22	-0,22
	Y		-0,21	-0,35	-0,25		-0,02	0,16	0,16
NO (µg/m³)	T	1		0,31	0,94	-0,39	0,28	0,58	0,58
	A			0,47	0,96	-0,58	0,72	0,48	0,48
	K			0,54	0,92	-0,52	0,34	0,65	0,65
	Y			0,74	0,99		0,68	0,41	0,41
NO ₂ (µg/m³)	T	1			0,41	-0,31	0,33	0,29	0,29
	A				0,71	-0,32	0,44	0,35	0,35
	K				0,53	-0,51	0,35	0,36	0,36
	Y				0,83		0,57	0,36	0,36
NO _x (µg/m³)	T	1				-0,48	0,32	0,65	0,65
	A					-0,58	0,72	0,49	0,49
	K					-0,69	0,40	0,74	0,74
	Y						0,68	0,42	0,42
O ₃ (µg/m³)	T	1					-0,31	-0,43	-0,43
	A						-0,40	-0,41	-0,41
	K						-0,30	-0,51	-0,51
	Y								
PM ₁₀ (µg/m³)	T	1						0,27	0,27
	A							0,38	0,38
	K							0,30	0,30
	Y							0,28	0,28
SO ₂ (µg/m³)	T	1							1
	A								1
	K								1
	Y								1

T: 3 İstasyon toplamına göre, A: Aksaray istasyonu, K: Kadıköy istasyonu, Y: Yenibosna istasyonu
Yenibosna istasyonunda O₃ verisi bulunmamaktadır.

Toplam korelasyon sonuçlarına göre parametreler arası en yüksek ilişki NO ile NO_x arasında (0,94) olup NO₂ ile NO_x arasındaki ilişkiden (0,41) çok daha güçlüdür. Güçlü kabul edilebilecek diğer korelasyonlar SO₂ ile NO_x (0,65) ve SO₂ ile NO (0,58) arasındadır.

Aralarındaki yüksek korelasyon sebebiyle SO₂, NO_x ve NO kaynaklarının benzer olabileceği düşünülebilir. Yaz aylarında değerlerinde yükselme görülen ve oluşumunda sıcaklığın da önemli bir rolü olan O₃ ile hava sıcaklığı arasındaki korelasyon 0,46'dır. Ozonun diğer oluşum kaynaklarıyla olan korelasyon katsayıları ise; NO_x ile -0,48, CO ile -0,41 olup bu sonuçlar aralarındaki ters orantıyı göstermektedir. O₃ parametresinin diğer gaz kirleticilerle ters ilişkili olmasının temel nedeni yapılarındaki oksijen atomudur.

İstasyonlara göre korelasyon katsayıları değerlendirildiğinde, Aksaray istasyonunda NO-PM₁₀ ve NO₂-NO_x korelasyonları; Kadıköy istasyonunda CO-NO_x, NO-PM₁₀, NO-O₃, NO-SO₂, NO_x-O₃, NO_x-SO₂ korelasyonları; Yenibosna istasyonunda NO ve NO₂ parametrelerinin NO_x ile korelasyonu diğer istasyonlardan daha yüksektir. Kadıköy istasyonunda CO ile hava sıcaklığı korelasyonunda diğer istasyonların aksine negatif ilişki vardır. Bu durum ısınma kaynaklı kirliliğin yaz döneminde Kadıköy'de diğer 2 istasyondan çok daha fazla azaldığını gösterebilir.

Her istasyonun ayrı ayrı değerlendirilebilmesi amacıyla istasyonlara ait kirletici gaz emisyonlarının 2020 ve 2021 yıllarındaki ortalamalarından yola çıkarak 1 yıldaki değişimleri yüzde olarak hesaplanmıştır (Tablo 27).

Tablo 27. İstasyonlara göre hava kirleticilerin miktarının yıllık değişimi

İstasyon	Yıl	CO (µg/m³)	NO (µg/m³)	NO ₂ (µg/m³)	NO _x (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	PM ₁₀ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)
Aksaray	Ort. 2020	480,4	47,4	94,2	168,1	24,1	39,7	2,9
	Ort. 2021	579,3	42,4	80,5	145,8	17,6	39,5	3,5
	% Fark	20,59	-10,55	-14,54	-13,27	-26,97	-0,50	20,69
Kadıköy	Ort. 2020	636,2	261,9	68,4	535,3	16,1	32,9	4,9
	Ort. 2021	500,5	72,3	60,9	136,7	20,3	32,9	2,6
	% Fark	-21,33	-72,39	-10,96	-74,46	26,09	0,00	-46,94
Yenibosna	Ort. 2020	715,2	33,9	41	92,6	Veri yok	40,6	3,3
	Ort. 2021	796,8	38	43,1	100,8		38,6	2,7
	% Fark	11,41	12,09	5,12	8,86		-4,93	-18,18

Tablo 27'ye göre SO₂ Aksaray istasyonunda yükselmiş diğer istasyonlarda azalma göstermiştir. Bu istasyonda hem azot oksitler hem de ozonun azalması dikkat çekmektedir. Bunun sebebi, ozonun yapısına katılıp analizi yapılmayan bileşenler olabilir. Karbonmonoksitin artması, dönem dönem kısıtlamalar uygulansa bile bölgenin trafikten (hareketli kirleticilerden) çok etkilendiği anlamına gelmektedir. Her ne kadar miktarı artsa da en düşük CO emisyonu bu istasyonda tespit edilmiştir.

Karbonmonoksit emisyonunun sadece Kadıköy istasyonunda azaldığı görülmüştür. Bu durum bölgenin hareketli kaynaklı kirleticilerden çok sabit kaynaklı kirleticilerden etkilendiği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca bu istasyonda NO ve NO_x emisyonlarının çok belirgin bir şekilde azalmasının, ozon miktarının yüksek olmasına sebep olduğu düşünülebilir. SO₂ parametresinde ortalama neredeyse yarıya inmiştir. Bu bilgiler genel olarak kısıtlamaların 1 sene içinde emisyonları azalttığı anlamına gelmektedir. Kirliliğin en çok azaldığı istasyon olarak gösterilebilmekle birlikte 2021 yılında en yüksek NO ve O₃ emisyonları bu istasyonda ölçülmüştür.

Yenibosna istasyonu, CO emisyon değerinin en fazla olduğu yerdir. Aynı zamanda, her ne kadar azotlu bileşiklere ait emisyonlar bu istasyonda artmış diğer istasyonlarda azalmış olsa da kirlilikten en az etkilenmiştir. Bu durum bölgede fosil yakıtların kullanımının bir önceki yıla göre artış gösterdiğini açıklayabilir.

5.2.5. Covid-19 kısıtlamalarının hava kirliliğine etkisi

Covid-19 pandemisi sebebiyle uygulanan kısıtlamaların hava kirliliğine etkisi olarak şu sonuçlara ulaşılabılır:

- Pandemi sebebiyle ilk karantina uygulamasının yapıldığı 2020 yılının Mart ayının ortasından itibaren PM₁₀, CO, NO, NO_x, SO₂ parametrelerinde belirgin azalmalar görülmekle birlikte, NO₂ parametresinin seyrinin çok değişmediği, O₃ parametresinin ise yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, uygulanan kısıtlamaların çevreye pozitif yansıması olarak düşünülebilir.
- Kısıtlamalar dönem dönem uygulandığı için grafiklerde de buna paralel artış ve azalışlar görülmüştür.
- Isınma ihtiyacına paralel olarak kış aylarında hava kirletici konsantrasyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. Yine de kısıtlamaların bir sonucu olarak 2020 yılının ilk aylarındaki konsantrasyonlar 2021 yılının aynı döneminde düşmüştür. Örneğin Kadıköy istasyonunda 2020 yılında görülen en yüksek CO değeri 2925 µg/m³ iken 2021 yılında en yüksek 1473,7 µg/m³ olarak tespit edilmiştir (Şekil 14).
- Kadıköy istasyonu kısıtlamalardan en çok faydalanan istasyondur; O₃ hariç bütün parametreler ortalama olarak azalmıştır. CO parametresinin azaldığı tek istasyon olup NO_x parametresinde %74,46, SO₂ parametresinde %46,94 oranında azalma görülmüştür.
- Kısıtlamaların tamamen kaldırıldığı 2021 Temmuz ayında Aksaray istasyonunda CO parametresinde belirgin artış olduğu, diğer istasyonlarda grafiğin stabil devam ettiği gözlemlenmiştir. Hava sıcaklıklarının yüksek olduğu dönemde bile bu artışın görülmesi Aksaray istasyonunun trafik kaynaklı kirlilikten en çok etkilenen yer olduğunu gösterebilir.

KAYNAKLAR

- Akdogan, A., Divrikli, U., Soylak, M., Elci, L. (2016). Assessment of Heavy Metal Levels in Street Dust Samples from Denizli, Turkey, and Analysis by Atomic Absorption Spectrometry. *Atomic Spectroscopy*, 37 (1), 25-29.
- Aksu, A. (2015). Sources of Metal Pollution in the Urban Atmosphere (A Case Study: Tuzla, Istanbul). *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13 (1), 1-10
- ATSDR. (2004). Toxicological Profile For Cobalt. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Ay, C. (2020). İstanbul Boğazından Geçen Ticari Gemilerden Kaynaklanan Emisyonun İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydoğan M. (2019). İstanbul'un Hava Kalitesinin Zamansal ve Alansal Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Balkıs, N., Aksu, A., Okuş, E., Apak, R. (2009). Heavy metal concentrations in water, suspended matter, and sediment from Gökova Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167, 359–370.
- Baltacı, H., Alemdar, C.S.O., Akkoyunlu, B.O. (2020): Background Atmospheric Conditions of High PM10 Concentrations in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 11, 1524–1534.
- Başarır, S. (2014). İstanbul Atmosferindeki Partikül Madde ve Metallerin Kaynak Analizi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraç, H.N., Emrah, D. (2016). Türkiye’de İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerine Etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11(1), 23-48.
- Beirle, S., Platt, U., Wenig, M., Wagner, T. (2003). Weekly Cycle of NO₂ by GOME Measurements: a Signature of Anthropogenic Sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3, 2225–2232.
- Bjerregaard, P., Andersen, O. (2007). Ecotoxicology of Metals-Sources, Transport, and Effects in the Ecosystem. G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M.Nordberg, L. Friberg (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals*, 3th Edition (s. 251-280). Georgia: Academic Press.
- Bozkurt, Z., Gaga, E.O., Taşpınar, F., Arı, A., Pekey, B., Pekey, H., Döğeroğlu, T., Üzmez, Ö.Ö. (2018). Atmospheric Ambient Trace Element Concentrations of PM10 at Urban and Sub-Urban Sites: Source Apportionment and Health Risk Estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (3), 1-17. doi:10.1007/s10661-018-6517-6
- 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. Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies. Luxembourg: European Parliament.
- Can-Terzi, B., Fıçıcı, M., Tecer, L.H., Sofuoğlu, S.C. (2021). Fine and Coarse Particulate Matter, Trace Element Content, and Associated Health Risks Considering Respiratory Deposition for Ergene Basin, Thrace. *Science of the Total Environment*, 754, 142026. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142026.

- Celik, E., Gul, M. (2021). How Covid-19 Pandemic and Partial Lockdown Decisions Affect Air Quality of a City? The Case of Istanbul, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*.
- Cheremisinoff, N.P. (2002). *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. Massachusetts: Elsevier Science.
- Chester, R. (1990). *Marine Geochemistry*. London: Unwin Hyman.
- Chester, R., Nimmo, M., Preston, M.R. (1999). *Marine Chemistry. The Trace Metal Chemistry of Atmospheric Dry Deposition Samples Collected at Cap Ferrat: A Coastal Site in the Western Mediterranean*. Elsevier, 68, 15-30
- Chu, B., Zhang, S., Liu, J., Ma, Q., He, H. (2021). Significant Concurrent Decrease in PM_{2.5} and NO₂ Concentrations in China During COVID-19 Epidemic. *Journal of Environmental Sciences*, 99, 346-353
- Coogan, T.P., Latta, D.M., Snow, E.T., Costa, M. (1989). Toxicity and Carcinogenicity of Nickel Compounds. *Critical Reviews in Toxicology*, 19 (4), 341-384.
- CREA (2020). How Air Pollution Worsens the COVID-19 Pandemic. Erişim adresi: https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2020/04/How_air_pollution_worsens_the_COVID-19_pandemic.pdf (Erişim tarihi: 08.06.2021).
- ÇMO (2019). Hava Kirliliği Raporu 2018. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. Erişim adresi: https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/9d62b3a2bb620a4_ek.pdf?tipi=67&turu=H&su=0 (Erişim tarihi: 10.06.2021).
- Demir, G., Yiğit, S., Özdemir, H., Borucu, G., Saral, A. (2010). Elemental Concentrations of Atmospheric Aerosols and the Soil Samples on the Selected Playgrounds in Istanbul. *Journal of Residuals Science and Technology*, 7 (2), 123-130.
- Demir, M. (2015). Dilovası'nda Hava Kirliliğinin Meteorolojik Açıdan Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- DHİMİ. (2018). Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. 2017 Havayolu Sektör Raporu.
- European Commission DG Environment (2000). *Ambient Air Pollution By As, Cd And Ni Compounds Position Paper. Working Group On Arsenic Cadmium And Nickel Compounds*. Luxembourg: European Communities.
- Filippidou, E.C., Koukoulia, A. (2011). Ozone Effects on the Respiratory System. *Progress in Health Sciences*, 1, 144-155.
- Fletcher, W.D., & Smith, C. B. (2020). *Reaching Net Zero: What It Takes to Solve the Global Climate Crisis*. Cambridge: Elsevier.
- Fu, F., Purvis-Robert, K.L., Williams, B. (2020). Impact of the Covid-19 Pandemic Lockdown on Air Pollution in 20 Major Cities around the World. *Atmosphere*, 11 (11), 1189.
- Geiger, A., Cooper, J. (2010). *An Overview of Airborne Metal Regulations, Exposure Limits, Health Effects and Contemporary Research (Appendix C)*. Portland: Cooper Environmental Services.
- Glasson, W.A., Tuesday, C.S. (1963). The Atmospheric Thermal Oxidation of Nitric Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 85, 2901-2904.
- Grewe, V., Dahlmann, K., Matthes, S., Steinbrecht, W. (2012). Attributing Ozone to NO_x Emissions: Implications for Climate Mitigation Measures. *Atmospheric Environment*, 59, 102-107.

- Güçlü, Y.S., Dabanlı, İ., Şişman, E., Şen, Z. (2019). Air Quality (AQ) Identification by Innovative Trend Diagram and AQ Index Combinations in Istanbul Megacity. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (1), 88-96.
- Hashimoto, Y., Sekine, Y. (1992). Atmospheric Aluminum from Human Activities. *Atmospheric Environment*, 26B (3), 295-300.
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (2008, 6 Haziran). Resmi Gazete (Sayı: 26898). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (Erişim tarihi: 04.06.2021).
- Hjortenkrans, D. (2008). Road Traffic Metals–Sources and Emissions (Yüksek Lisans Tezi). University of Kalmar Sweden School of Pure and Applied Natural Sciences Faculty of Natural Sciences and Engineering, Kalmar
- Izladioğlu, S. (2019). Trafik Kaynaklı İnce Partiküllerin Metal İçeriğinin ve Sağlık Riskinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- İm, U., Kanakidou, M. (2012). Impacts of East Mediterranean Megacity Emissions on Air Quality. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 6335-6355.
- İm, U., İncecik, S., Güler, M., Tek, A., Topçu, S., Ünal, Y.S., Yenigün, O., Kindap, T., Odman, M. T., Tayanc, M. (2013). Analysis of Surface Ozone and Nitrogen Oxides at Urban, Semi-Rural and Rural Sites in Istanbul, Turkey. *Science of the Total Environment*, 443, 920-931.
- İBB (2020). İstanbul Çevre Bülteni, Eylül 2020 Hava Kalitesi İstatistikleri. 57. Erişim adresi: https://mediabox.ibb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/09/Istanbul-Cevre-Bulteni_-Eylul-2020.pdf (Erişim tarihi: 15.06.2021).
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., (2004). Metallerin Çevresel Etkileri-1. *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kara, M. (2020). Assessment of sources and pollution state of trace and toxic elements in street dust in a metropolitan city. *Environmental Geochemistry and Health*, 42 (10), 3213-3229. doi: 10.1007/s10653-020-00560-z.
- Kara, M., Altıok, H., Hepyücel, A., Dumanoglu, Y., Bayram, A., Elbir, T., Odabaşı, M. (2010). Aliğa Endüstri Bölgesinde PM₁₀ ve Çöken Tozların Mekansal ve Mevsimsel Değişimi, IV. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 333-344s, 25-27 Ekim 2010, Ankara.
- Karaçagıl, D. (2013). İstanbul'da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karayavuz, E. (2016). Zonguldak Bölgesinde Atmosferik Partikül Madde Boyut Dağılımı ve Ağır Metal Bileşenleri (Yüksek Lisans Tezi). Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Karbassi, A.R., Monavari, S.M., Bidhendi, R.N., Nouri, J., Nematpour, K., (2008). Metal Pollution Assessment of Sediment and Water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147, 107-116.
- Kasgun, S., Ulutaş, K. (2020). The Effect of COVID-19 Pandemic on Air Quality Caused by Traffic in Istanbul. *Research Square*. doi: 10.21203/rs.3.rs-28880/v1
- Kesgin, U. (2006). Aircraft Emissions at Turkish Airports. *Energy*, 31 (2), 372-384. doi:10.1016/j.energy.2005.01.012

- Keshavarzi, B., Tazarvi, Z., Rajabzadeh, M. A., Najmeddin, A. (2015). Chemical Speciation, Human Health Risk Assessment and Pollution Level of Selected Heavy Metals in Urban Street Dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment*, 119, 1-10.
- Khan, I., Shah, D., Shah, S.S. (2020). COVID-19 Pandemic and Its Positive Impacts on Environment: An Updated Review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18, 521-530.
- Khan, M.B. (2016). Inorganic and Organic Pollutants in Atmospheric Aerosols: Chemical Composition and Source Apportionment (Yüksek Lisans Tezi). Università Ca'Foscari Venezia Environmental Science, Venezia
- Koçak, M., Theodosi, C., Zampas, 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.
- Krauskopf, K. (1979). Introduction to Geochemistry. New York: McGraw-Hill Book Company
- Kural, G. (2012). İstanbul Tuzla Bölgesi Atmosferi Alt Tabakasında Çok Halkalı Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar) ve Metallerin İncelenmesi (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Kwiatkowski, S., Polat, M., Yu, W., Johnson, M.S. (2020). Industrial Emissions Control Technologies: Introduction. Goodsite M.E., Johnson M.S., Hertel O. (Eds.), Air Pollution Sources, Statistics and Health Effects. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series, New York: Springer.
- Lindsey, R. (2020). Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA. Erişim adresi: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (Erişim tarihi: 10.07.2021).
- Lloyd's Register, 2002. Emissions of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines, Questions and Answers. Lloyd's Register of Shipping. Erişim adresi: <https://www.cdinfo.lr.org/information/Documents/Approvals/NOX/NOx%20Questions%20and%20Answers%20July%202002.pdf> (Erişim tarihi: 12.07.2021).
- Mallik, C. (2019). Anthropogenic Sources of Air Pollution. P. Saxena, V. Naik (Eds.), Air Pollution: Sources, Impacts and Controls (s. 6-25). Wallingford: CABI.
- Meyer, M.D., Elrahman, O.A. (2019). Transportation and Public Health, Air and Water Pollution: An Important Nexus of Transportation and Health.
- Mirici, A., Tutar, Ü. (2002). İnhal Edilen Partikülün Solunum Sistemindeki Serüveni. *Toraks Dergisi*, 3 (2), 3-6.
- Nickel Institute (2021). Nickel and the environment. Erişim adresi: <https://nickelinstitute.org/policy/nickel-and-the-environment> (Erişim tarihi: 14.06.2021).
- Ogen, Y. (2020). Assessing Nitrogen Dioxide (NO₂) Levels as a Contributing Factor to Coronavirus (Covid-19) Fatality. *Science of The Total Environment*, 726 (138605).
- Onat, B., Şahin, Ü.A., Akyüz, T. (2013). Elemental Characterization of PM 2.5 and PM₁ in Dense Traffic Area in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 4 (1), 101-105.
- Onat, B., Şahin, Ü.A., Bayat, C. (2012). Assessment of Particulate Matter in the Urban Atmosphere: Size Distribution, Metal Composition and Source Characterization Using Principal Component Analysis. *Journal of Environmental Monitoring*, 14 (5), 1400-1409.

- Özcan, H.K., Demir, G., Nemlioğlu, S., Sezgin, N., Bayat, C. (2007). Heavy Metal Concentrations of Atmospheric Ambient Deposition Dust in Istanbul-Bosphorus Bridge Tollhouses. *Journal of Residuals Science and Technology*, 4 (1), 55-59
- Özdemir, E., Tuygun, G.T., Elbir, T. (2017). Kanal İstanbul Projesi Sonrası Denizyolu Trafiğinin Kent Atmosferinde Neden Olacağı Hava Kalitesinin Belirlenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Bildiriler, 469-470, 1-3 Kasım 2017, Antalya.
- Pant, P., Harrison, R.M. (2013). Estimation of the Contribution of Road Traffic Emissions to Particulate Matter Concentrations from Field Measurements: A Review. *Atmospheric Environment*, 77, 78-97.
- Pilling, M. (Ed.), (2007). *Air Quality and Climate Change: A UK Perspective*. London. Air Quality Expert Group
- Pösel, N., Bähr, U., Kronfeld-Goharani, U. (2017). *Meeres Atlas*. Paderborn: Bonifatius GmbH Druck
- R.K. Pachauri, L. Meyer (Eds.) (2015). *The Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014 Synthesis Report*, Cenevre, İsviçre: IPCC
- Rainbow, P.S. (1995). Biomonitoring of Heavy Metal Availability in the Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 183-192.
- Reis, S., Pinder, R.W., Zhang, M., Lijie, G., Sutton, M.A. (2009). Reactive Nitrogen in Atmospheric Emission Inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 7657-7677
- Röllin, H., Nogueira, C.M.C.A. (2011). Manganese: Environmental Pollution and Health Effects. J.O. Nriagu, (Ed.), *Encyclopedia of Environmental Health* (617-629). Elsevier: Burlington.
- Sağlık Bakanlığı, (2021). Genel Koronavirüs Tablosu. Erişim adresi: <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html> (Erişim tarihi: 15.06.2021).
- Schropp, S.J., Lewis, F. G., Windom, H. L., Ryan, J.D., Calder, F. D., Burney, L. C. (1990). Interpretation of Metal Concentrations in Estuarine Sediments of Florida Using Aluminum as a Reference Element. *Estuaries*, 13 (3), 227-235.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (2016). *From Air Pollution to Climate Change, Atmospheric Chemistry And Physics*, 2nd Edition. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Shanker, A.K., Venkateswarlu, B. (2011). Chromium: Environmental Pollution, Health Effects and Mode of Action. J.O. Nriagu, (Ed.), *In Encyclopedia of Environmental Health* (s. 650-659). Burlington: Elsevier.
- Sonwani, S., Maurya, V. (2019). Impact of Air Pollution on the Environment and Economy. P. Saxena, V. Naik (Eds.), *Air Pollution: Sources, Impacts and Controls* (s. 113-164). Wallingford: CABI.
- Starik, A.M. (2008). Gaseous and Particulate Emissions with Jet Engine Exhaust and Atmospheric Pollution. RTO. Erişim adresi: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Educational%20Notes/RTO-EN-AVT-150/EN-AVT-150-15.pdf> (Erişim tarihi: 22.06.2021).
- Stockwell, W.R., Calvert, J. G. (1983). The Mechanism of the HO-SO₂ Reaction. *Atmospheric Environment*, 17 (11), 2231-2235.
- Szigeti, T., Mihucz, V.G., Óvári, M., Baysal, A., Atılğan, S., Akman, S., Záray, G., (2013). Chemical Characterization of PM_{2.5} Fractions of Urban Aerosol Collected in Budapest and Istanbul. *Microchemical Journal*, 107, 86-94.

- Şahin Ü.A. (2020). The Effects of COVID-19 Measures on Air Pollutant Concentrations at Urban and Traffic Sites in Istanbul. *Aerosol and Air Quality Research*, 20 (9), 1874–1885.
- Şahin, Ü.A., Polat, G., Onat, B. (2016). Mass Size Distribution and Source Identification of Particulate Matter Metal Components at Four Urban Sites and A Background Site of Istanbul. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (11), 11085-11099.
- Taylan, Z.S., Özkoç, H.B. (2007). Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesinde Akutik Organizmaların Biokullanılabilirliği. *BAÜ FBE Dergisi*, 9 (2), 17-33.
- Temiz Hava Hakkı Platformu (2020). Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri. <https://www.temizhavahakki.com/wp-content/uploads/2020/09/Kara-Rapor-2020-Son27082020.pdf> (Erişim tarihi: 15.06.2021).
- Tian, H., Zheng, P., Liu, Y., Song, H., Wu, C.-H., Li, B., Kraemer, M.U.G., Yan, X., Zheng, Y., Stenseth, N.C., Dye, C., Jia, G. (2020). Risk of COVID-19 and Long-Term Exposure to Air Pollution. doi:10.1101/2020.04.21.20073700
- TOBB. (1993). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Çevre Kurulu Raporu.
- Tosun, E. (2017). Türkiye'nin 2009-2016 Yılları Arasındaki Hava Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- UNEP (2021). 20 Questions and Answers. Erişim adresi: <https://ozone.unep.org/20-questions-and-answers> (Erişim tarihi: 15.06.2021).
- United States Environmental Protection Agency (EPA, 2021a). Air Quality-National Summary. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/air-trends/air-quality-national-summary> (Erişim tarihi: 05.06.2021).
- United States Environmental Protection Agency (EPA, 2021b). Particulate Matter (PM) Pollution. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> (Erişim tarihi: 05.06.2021)
- United States Environmental Protection Agency (EPA, 2021c). Carbon Dioxide Emissions. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (Erişim tarihi: 05.06.2021)
- Vallero, D.A. (2008). *Fundamentals of Air Pollution* 4th edition. North Carolina, ABD: Elsevier.
- WHO (2007). *Health Risks of Heavy Metals from Long-Range Transboundary Air Pollution*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Wilbur, S., Williams, M., Williams, R., Scinicariello, F. (2012). *Toxicological Profile for Carbon Monoxide*. New York: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Wu, X., Nethery, R.C., Sabath, M.B., Braun, D., Dominici, F. (2020). Exposure to Air Pollution and COVID-19 Mortality in the United States: A Nationwide Cross-Sectional Study. *Science Advances*, 6(45). doi: 10.1126/sciadv.abd4049.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi :
Doğum yeri :
Lise : (1999-2003), Davut Fıncıoğlu Anadolu Lisesi
Lisans : (2004-2008), Gazi Üniversitesi, Çorum Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı kurum : (2011-devam ediyor), İstanbul Büyükşehir Belediyesi





T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI

: CEMİL GELEN

ÖĞRENCİ NO

: 3001170025

ÖĞRETİM YILI

:

ANABİLİM DALI / BİLİM DALI

: Evrensel Demografi

PROGRAM TÜRÜ

: YÜKSEK LİSANS ☒ DOKTORA ☐

TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI

: Prof. Dr. Muray ÇAĞLAR

II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI

: İstanbul İli' Ambarında Patlı

TEZ BAŞLIĞI

: Maddede Mekanik Kuvvetlerin
Dopluğunun ve Kaynağının
Belirlenmesi

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam 98 sayfalık kısmına ilişkin, 31/08/21 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının* 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % 9. 'dir.

Tezimin benzerlik oranı, 06/122017 tarih ve 20 sayılı *Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını* aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

İmza

Öğrenci Ad-Soyadı

Tarih: 31.../08.../2021..

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR

(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

Prof. Dr. Muray ÇAĞLAR

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)

(Yüksek Lisans) **MADDE 36 – (2)** Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) **MADDE 50 – (4)** Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

İstanbul İli Atmosferinde Partikül Maddede İnorganik Kirleticilerin Dağılımının ve Kaynağının Belirlenmesi

Yazar Cemil Çelen

Gönderim Tarihi: 01-Eyl-2021 12:40PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 1639381239

Dosya adı: cemilcelen_yl.docx (4.39M)

Kelime sayısı: 19843

Karakter sayısı: 126500

İstanbul İli Atmosferinde Partikül Maddede İnorganik Kirleticilerin Dağılımının ve Kaynağının Belirlenmesi

ORJİNALLİK RAPORU

%9

BENZERLİK ENDEKSİ

%8

İNTERNET KAYNAKLARI

%2

YAYINLAR

%4

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

www.researchgate.net

İnternet Kaynağı

%1

2

hkk2017.akdeniz.edu.tr

İnternet Kaynağı

%1

3

pearl.plymouth.ac.uk

İnternet Kaynağı

<%1

4

traglor.cu.edu.tr

İnternet Kaynağı

<%1

5

www.temizhavahakki.com

İnternet Kaynağı

<%1

6

Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)

Öğrenci Ödevi

<%1

7

Submitted to Ankara University

Öğrenci Ödevi

<%1

8

indigodergisi.com

İnternet Kaynağı

<%1

docplayer.biz.tr