T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Tezsiz Yüksek Lisans
Dönem Projesi

İSTANBUL HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL ve MEKANSAL DAĞILIMI ANALİZİ

Toghrul GASIMOV

DANIŞMAN

Prof.Dr. Umman Tuğba Gürsoy

İstanbul, 2024

TEZ ONAY SAYFASI

İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü 9501230748 no'lu öğrencilerinden Toghrul GASIMOV'un bitirme projesi olarak yaptığı "**İSTANBUL HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL ve MEKANSAL DAĞILIMI ANALİZİ**" başlıklı çalışması, …….. tarihinde, değerlendirilerek başarılı/başarısız bulunmuştur.

Bitirme Projesi Danışmanı

Prof. Dr. UMMAN TUĞBA GÜRSOY

ÖNSÖZ

Yüksek lisans dönem projem süresince, ilk günden son ana kadar bana her konuda destek olan, değerli bilgi birikimi ve tecrübelerini paylaşan, ilgi ve sabırla projemin tamamlanmasına katkı sağlayan sayın danışman hocam **Prof. Dr. Umman Tuğba Gürsoy**`a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ders aşamasında bilgi ve deneyimnlerini cömertçe bizlerle paylaşan üniversitemin değerli hocalarına bu süreçte sağladıkları destek için teşekkür ederim. Ayrıca, dönem projem boyunca beni her zaman anlayışla destekleyen, sabrı ve sevgisiyle yanımda olan eşim **Sura Gasimova**`ya minnettarlığımı ifade etmek isterim. Bu çalışma, hayatım boyunca edindiğim bilgi ve deneyimlerin bir yansıması olarak, akademik gelişimime değerli bir katkı sağlamıştır.

Aralık 2024 Toghrul GASIMOV

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİL LİSTESİ v
TABLO LİSTESİ vii
GRAFİK LİSTESİ viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xi
1. GİRİŞ 1
2. HAVA KİRLİLİĞİNİN BİLİMSEL TEMELLERİ 3
2.1 HAVA KİRLİLİĞİ PARAMETRELERİ 3
2.1.1 Partikül Madde (PM10-PM2.5) 3
2.1.2 Kükürt dioksit (SO2) 3
2.1.3 Azot dioksit (NO2) 3
2.1.4 Azot oksit (NOx) 4
2.1.5 Ozon (O3) 4
2.1.6 Karbon monoksit (CO) 5
2.2 HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI ve MEKANİZMALARI 5
2.2.1 Orman Yangınlarının Hava Kalitesine Etkisi 8
2.3 HAVA KALİTESİNİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ 9
2.4.HAVA KİRLİLİĞİ ile İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR 14
3. METODOLOJİ VE VERİLER 16
3.1 ARAŞTIRMA ALANI 16
3.1.1 Türkiye 16
3.1.2 İstanbul 17
3.1.3 Coğrafi özellikler 18
3.2 HAVA KALİTESİ STANDARTLARI 19
3.2.1 Türkiye standartları 19

3.2.2 Avrupa Birliği Standartları 20
3.2.3 Dünya Sağlık Örgütü Standartları 21
3.2.4 Hava Kalitesi İndeksi 23
3.3 VERİLERİN TEMİNİ ve KAYNAKLARI 24
3.3.1 Ölçüm İstasyonları 24
3.3.1 Verilerin İstatistiksel Analizi 27
4. BULGULAR VE ANALİZ 30
4.1 PM10 ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 30
4.1.1 Maslak bölgesi detaylı analizi 31
4.2 PM2.5 ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 32
4.3 CO ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 34
4.4 SO2 ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 36
4.5 NO2 ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 38
4.6 NOx ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 40
4.7 NO ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 41
4.8 O3 ZAMANSAL ve MEKANSAL DEĞİŞİMİ 43
4.9 KORELASYON ANALİZİ 45
4.10 HAVA KALİTESİNİN BÖLGESEL DAĞILIMI 47
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 49
KAYNAKLAR 52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Hava kirliliğinin neden olduğu ölümlerin istatistiği 6

Şekil 2.2: Türkiye de olan 30 termik santralin 1965-2020 yılları arasında neden olduğu sağlık etkileri ve maliyeti 7

Şekil 2.3: Kısa ömürlü iklim ozrlayıcıları 7

Şekil 2.4: PM2.5 Konsantrasyonlarındaki Anormallikler 9

Şekil 2.5: Hava Kirliliğinin Sağlık Etkileri 10

Şekil 2.6: Türkiye de ölüme ve sakatlığa yol açan ilk 10 risk karşılaştırılması 11

Şekil 2.7: Risk Altındaki Kırılgan Gruplar 12

Şekil 2.8: Türkiye de hava kirliliğine atfedilebilen ölümlerin nedenleri ve sıralamalarının karşılaştırılması 12

Şekil 3.1: Türkiye haritası 17

Şekil 3.2: İstanbul haritası 18

Şekil 3.3: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Dağılımı 24

Şekil 3.4: Mobil Ölçüm İstasyonu 25

Şekil 3.5: Sabit Ölçüm İstasyonu 26

Şekil 3.7: Excel programı ekran görüntüsü 28

Şekil 3.8: Python programı ekran görüntüsü 29

Şekil 4.1: Maslak bölgesi değerleri 32

Şekil 4.2: Bölgelerin hava kalitesi 48

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: DSÖ Hava Kalitesi Kılavuzu, Değer limitleri tablosu 5

Tablo 2.2: 2021 yılında hava kirliliğine atfedilen ölümlerin orantısal olarak en fazla olduğu ilk 10 il 13

Tablo 2.3: 2021 yılında hava kirliliğine atfedilen ölüm hızının en fazla olduğu ilk 10 il 14

Tablo 3.1: Türkiye Limit Değerleri 20

Tablo 3.2: Avrupa Birliği Kirletici Limit Değerleri 21

Tablo 3.3: DSÖ Kirletici Limit Değerleri 22

Tablo 3.4: Hava Kalite İndeksi 23

GRAFİK LİSTESİ

Sayfa No

Grafik 2.1: Yanan Orman Alanlarının Büyüklüğü 8

Grafik 2.2: Doğal Nedenlerle Meydana Gelen Yangınlar ve Artışı 9

Grafik 3.1: 1990'dan 2020'ye PM10 Konsantrasyonlarının Karşılaştırması 27

Grafik 3.2: PM10 ve PM2.5 Konsantrasyonlarının Yıllık Seyri (2010-2020) 27

Grafik 4.1: İlçelere Göre Ortalama PM10 Değerleri 30

Grafik 4.2: İlçelere ve Aylara Göre PM10 Değerleri 31

Grafik 4.3: İlçelere Göre Ortalama PM2.5 Değerleri 33

Grafik 4.4: İlçelere ve Aylara Göre PM2.5 Değerleri 34

Grafik 4.5: İlçelere Göre Ortalama CO Değerleri 35

Grafik 4.6: İlçelere ve Aylara Göre CO Değerleri 36

Grafik 4.7: İlçelere Göre Ortalama SO2 Değerleri 37

Grafik 4.8: İlçelere ve Aylara Göre SO2 Değerleri 38

Grafik 4.9: İlçelere Göre Ortalama NO2 Değerleri 39

Grafik 4.10: İlçelere ve Aylara Göre NO2 Değerleri 39

Grafik 4.11: İlçelere Göre Ortalama NOX Değerleri 40

Grafik 4.12: İlçelere ve Aylara Göre NOX Değerleri 41

Grafik 4.13: İlçelere Göre Ortalama NO Değerleri 42

Grafik 4.14: İlçelere ve Aylara Göre NO Değerleri 43

Grafik 4.15: İlçelere Göre Ortalama O3 Değerleri 44

Grafik 4.16: İlçelere ve Aylara Göre O3 Değerleri 45

Grafik 4.17: Korelasyon Matrisi 46

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
µg	: mikrogram
µg/m3	: mikrogram/metreküp
µm	: mikron

Kısaltmalar	Açıklama
PM10	: EN 12341 ile tanımlanan 10 µm aerodinamik çaplı geçirgen bir girişten %50 verimle geçen partiküler madde
PM2.5	: EN 12341 ile tanımlanan 2.5 µm aerodinamik çaplı geçirgen bir girişten %50 verimle geçen partiküler madde
SO2	: Kükürt dioksit
NOx	: Azot oksit
NO2	: Azot dioksit
NO	: Azot monoksit
CO	: Karbon monoksit
O3	: Ozon
eNO	: Ekshalasyon nitrik oksit
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
AB	: Avrupa Birliği
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerledirme ve Yönetimi Yönetmeliği
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
GBD	: Global Burden of Disease
HKİ	: Hava Kalite İndeksi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
GBD	: Global Burden of Disease
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri

ÖZET

İSTANBUL HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL ve MEKANSAL DAĞILIMI ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ

Toghrul GASIMOV

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İşletme İktisat Bilimleri

Danışman: Prof.Dr. Umman Tuğba Gürsoy

Türkiye'de sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve kentleşme, hava kirliliği sorunlarını önemli bir çevresel sorun haline getirmiştir. Bu çalışma, hava kirliliği kaynaklarının çeşitliliği ve yoğunluğu dikkate alınarak İstanbul'da mekansal ve zamansal değişimlerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada PM10, PM2.5, SO_2, NO_2 ve diğer temel hava kirleticiler üzerine odaklanılmış, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hava kalitesi ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. İstatistiksel analizler için Python ve Excel gibi yazılımlar kullanılarak kirletici konsantrasyonlarının meteorolojik faktörlerle ilişkisi incelenmiştir.

Aralık 2024, 56 sayfa.

Anahtar kelimeler: Hava Kirliliği, İstanbul, Mekansal Analiz, Zamansal Dağılım

SUMMARY

ANALYSIS OF TEMPORAL and SPATIAL DISTRIBUTION OF ISTANBUL AIR POLLUTION

M.Sc. TERM PROJECT

Toghrul GASIMOV

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Business Economics Sciences

Supervisor: Prof.Dr. Umman Tuğba Gürsoy

Industrialization, rapid population growth and urbanization in Turkey have made air pollution problems an important environmental problem. This study aims to analyze the spatial and temporal changes in Istanbul, considering the diversity and intensity of air pollution sources. The study focused on PM10, PM2.5, SO_2, NO_2 and other basic air pollutants, and data obtained from air quality measurement stations of the Ministry of Environment and Urbanization were used. For statistical analysis, the relationship between pollutant concentrations and meteorological factors was examined using software such as Python and Excel.

December 2024, 56 pages.

Keywords: Air Pollution, Istanbul, Spatial Analysis, Temporal Distribution

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, doğal yollarla ve insan kaynaklı sebeplerden oluşan, günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biridir. İnsanlar için ciddi sağlık sorunlarına neden olan maddelerin havaya karışmasıyla oluşuyor.
Antropoloji ve doğal yollarla oluşan kaynaklardan yayılan bir çok farklı kirleticiden oluşan maddelerin karışımı hava kirliliği olarak tanımlanabilir. En tehlikeli yanı taşıdığı kanserojen maddelerin etkisiyle solunum yolu hastalıklarına ve akciğer kanserine yol açmaktadır. Açık hava çalışma alanlarında, kentsel bölgelerde ve sanayi alanlarında kirli havaya maruz kalma ciddi yan etkilere DNA bozulmalarına, ağır hastalıklara neden olabiliyor. (WHO, 2013).

Veriler analiz edilidiğinde kalitesiz fosil yakıtlarının özellikle yoğun trafikte motorlu taşıtlarda, bununla birlikte sanayide, ısınmada ve diğer ulaşımlarda kullanımı havaya atılan kirli atıkların artmasına büyük ölçüde katkıda bulunuyor. Fosil yakıtların aklitesinin iyileştirilmesi kükürt dioksit, azot oksitler ve partikül madde gibi değerlerin emisyonlarının azalmasına yardımcı olacaktır. Diğer bir yandan kömür kullanımı kükürt ve kül oranlarını artırarak PM10 ve PM2,5 gibi kirleticilerin yükselmesine neden olmaktadır. Bu değerlerin özellikle kış aylarında yükselmesi ısınmanın etkisini vurguluyor (Meftun, 2022).

Hava kirliliğinin sebep olduğu hastalıklardan olan astım vakalarında sıcak mevsimlerde Ozona (O3) maruz kalmayla %78 artış görülmektedir. Mevsimsel değişimlere göre partikül madde ile Ozon arasında güçlü bir ters ilişki vardır. (Santus, 2012).

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamakla ilgileniyor.

Bakanlık ve il çevre ve orman müdürlükleri, kükürt dioksit, azot dioksit ve azot oksitleri, partiküler madde, kurşun, karbon monoksit, benzen, ozon dış ortam hava konsantrasyonları ve de arsenik, kadmiyum, cıva, nikel ve diğer polisiklik aromatik hidrokarbon konsantrasyonları ve birikim oranları ile ilgili güncel bilgileri bilgisayar ağı, bilgi ekranları, basın yayın organları ve diğer kolay ulaşılabilir medya aracılığıyla düzenli olarak kamuoyuna, çevre kuruluşları, tüketici kuruluşları ve belirli hassas nüfus grupları ve diğer ilgili sağlık mercileri gibi ilgili kuruluşlara sunmaktadır. (URL1).

Bu çalışmada istatistiksel analizler için Excel, Jupyter Notebook ve Python programlama dili kütüphaneleri kullanılmıştır.

2. HAVA KİRLİLİĞİNİN BİLİMSEL TEMELLERİ

2.1 Hava Kirliliği Parametreleri

2.1.1 Partikül Madde (PM10, PM2.5)

Havada katı ve sıvı halde bulunan partikül maddeler kirletici değerler olarak çaplarına göre ölçülür. Çapı 10 µm'den küçük maddeler PM10, çapı 2.5 µm'den küçük maddeler ise PM2.5 olarak tanımlanıyor. Bu maddeler akciğer ve solunum yolu hastaları için ciddi riskler taşıyor. Özellikler PM2.5 küçük çaplı olmasından dolayı akciğerin derinliklerine nüfuz ederek ağır hastalıklara sebebiyet verir. Bu maddeler zehirli ve kanserojen ürünler olabilmektedir. Antropojenik kaynaklı sanayi bölgelerinden, inşaat faaliyetlerinden, ısınma amaçlı yakıt kullanımından ve doğal kaynaklı çöl tozlarından, mevsimsel ve iklimsel değişikliklerden dolayı ortaya çıkarak ve yayılır (Gümüş, 2019).

Partikül maddelerin yaranmasının ana kaynakları sanayi, yakıt yanması, tarım ve ikincil kimyasal reaksiyonlardır (URL 2).

2.1.2 Kükürt dioksit (SO2)

Büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirletici maddelerden biri de kükürt dioksit`tir. Ana kaynakları arasında kükürt seviyesi yüksek olan yakıtlar özellikle kömür, linyit ve birçok yağların vardır. Kömür kullanımında kalitesine dikkat edilmediğinde düşük kaliteli kömürler kükürt dioksit oranı artmasına ciddi şekilde etki etmektedir. SO2 yaranma sebeplerinin başında ısınma ve enerji için kullanılan santraller durmaktadır. Partikül maddede olduğu gibi kükürt dioksit de akciğer ve solunum yolu hastalalıklarının yaranmasına yol açar (Gümüş, 2019).

En çok sağlık tehdidi oluşturduğu bireyler arasında 0 ile 14 yaş çocuklar gibi savunmasız gruplar var (Barnett, 2005).

2.1.3 Azot dioksit (NO2)

Azot oksit, dioksit ve monoksit gibi azotun hava kirletici değerleri arasında insan sağlığını ve hava kalitesini en fazla etkileyen azot dioksit başta gelmektedir. NO2 azot monoksitin oksijenle birleşmesinden oraya çıkar. Motorlu taşıtlar ve santraller nedeniyle yayılan bu kirleticiler şehirlerde ve ulaşım araçlarının yoğun olduğu

bölgelerde daha da artıyor. Bu da astım gibi hastalıkların hastane yatış oranlarına etki etmektedir (Gümüş, 2019).

2.1.4 Azot oksit (NOx)

Azot dioksit ve azot monoksitin birleşmesiyle yaranan azot oksitin esas kaynağı karayolu tariği, özellikle dizel araçlardır. Dizel araçların fazla katkısının nedeni oksidasyon katalizörleri ve partikül filtrelerinin yaygın olarak kullanılmasıdır. 1990`lardan bu güne kadar Avrupada yapılan araştırmalarda Nox emisyonlarının düştüğü tesbit ediliyor. Bu düşüşün nedeni araç teknolojileri ve yakıt iyileştirmeleridir. Fakat bununla birlikte NO2 değerleri tam tersi artmaya devam ediyor. Bu da bize emisyon kotrolünün ne kadar karmaşık olduğunu gösteriyor. Nox kirletici konsantrasyonlarının artan değerleri trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatleri ile güçlü korelasyon ilişkisi içindedir. İş günlerinin aksine hafta sonu ve tatil günlerinde trafiğin azalması bu değerlerin %20 ile %40 arasında bir düşüşüne sebep oluyor. Azot oksitler mevsimsel değişikliklerden ve durağan hava koşullarında kirleticilerin yere yakın seviyede toplanması gibi meteorolojik koşullardan etkileniyor (Henschel, 2015).

2.1.5 Ozon (O3)

Ozun iki türlü oluşmaktadır. Atmosferin troposfer ve stratosfer katlarında doğal yolla oluşan bizi güneşin zararlı ışınlarından koruyan, dünyayı sararak kalkan görevi gören türü vardır. Bir de insanların etkisiyle motorlu araçlardan, termik santrallerden ve sanayi bölgelerinden atmosfere karışan azot dioksit ve uçucu organik bileşikler`in (UOB) reaksiyona girmesiyle oluşan türü var. Bu reaksiyon güneş ışınlarıyla tetiklenir. Hem yararlı, hem de zararlı tarafı olan ozona maruz kalındığında diğer kirleticiler gibi akciğer hastalıklarının yaranmasına sebep olmaktadır. Yer seviyesindeki ozon sıcak mevsimlerde, özellikle güneşli havalarda hızla artıyor (Gümüş, 2019).

Ozonun solunum yolunu etkilediği ve hastalıklara sebep olduğu mekanizma diğer kirletici maddelere göre tamamen farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu kirleticinin fotokimyasal olaylar zamanı solunumun yolu sağlığı için iltihabi etkileri olmaktadır (Barnett, 2005).

2.1.6 Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit, fosil yakıtların tam yanmaması sonucu oluşan bir kirletici olarak, özellikle motorlu taşıtlar, sanayi ve ısınma faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Soğuk hava koşullarında, düşük sıcaklıkların yanmayı olumsuz etkilemesi ve kirleticilerin yer seviyesinde birikmesi nedeniyle karbon monoksit yoğunluğu artış göstermektedir. İnsan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça ciddi olup, oksijen taşıyan hemoglobine bağlanarak oksijen seviyesinin azalmasına ve buna bağlı olarak kalp ve solunum rahatsızlıklarına neden olmaktadır (Gümüş, 2019).

CO, diğer kirleticilere kıyasla daha zayıf ilişkiler göstermesine rağmen, kentsel ortamlarda solunum sıkıntısına katkıda bulunan bir faktör olarak tanımlanmıştır. Özellikle trafik kaynaklı emisyonlar, CO düzeylerinin yükselmesine neden olmakta ve bu durum çocuklar gibi hassas popülasyonlar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Barnett, 2005).

DSÖ 2005 ve 2021 yılı değerleri ile Türkiye güncel limit değerlerinin karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: DSÖ Hava Kalitesi Kılavuzu, Değer limitleri tablosu (URL 3).

Kirletici	DSÖ 2005 Yılı Değerleri (metreküpte mikrogram)	DSÖ 2021 Yılı Değerleri (metreküpte mikrogram)	Türkiye Güncel Limitler (metreküpte mikrogram)
PM_{10} (Yıllık Değer)	20 µg/m³	15 µg/m³	40 µg/m³
$PM_{2.5}$ (Yıllık Değer)	10 µg/m³	5 µg/m³	-
NO_2 (Yıllık Değer)	40 µg/m³	10 µg/m³	40 µg/m³
SO_2 (Günlük Değer)	20 µg/m³	40 µg/m³	20 µg/m³
O_3 (Yoğun Dönem)	-	60 µg/m³	120 µg/m³
CO (Günlük Değer)	-	4 µg/m³	10 µg/m³

2.2 Hava Kirliliği Kaynakları ve Mekanizmaları

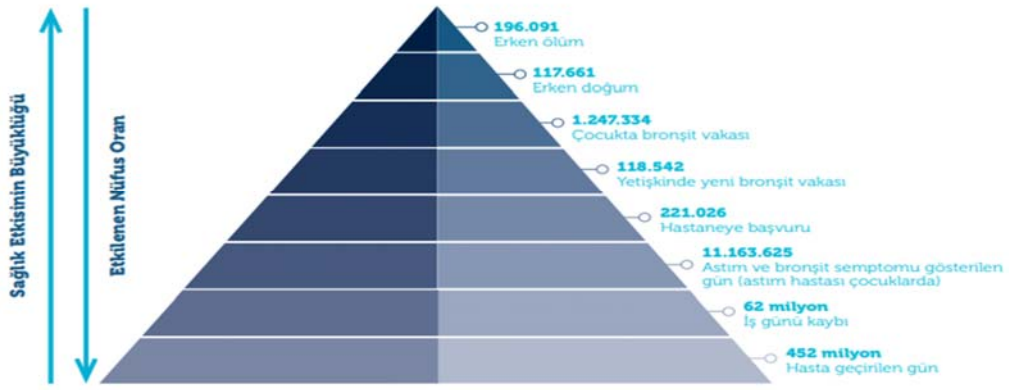
Hava kirliliği, hem dış hem de ev içi kaynaklardan oluşan çeşitli kirleticiler yoluyla insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler oluşturur. Partikül madde (PM2.5 ve PM10), endüstriyel emisyonlar, trafik ve biyokütle yakımı gibi kaynaklardan atmosfere karışır ve özellikle solunum ve kalp-damar hastalıkları ile ilişkilidir. İnce partikül madde

(PM2.5) seviyelerindeki küçük artışlar bile hastane yatışlarını ve ölüm oranlarını artırabilmektedir (Guan, 2016).

Şekil 2.1: Hava kirliliğinin neden olduğu ölümlerin istatistiği (URL 3).

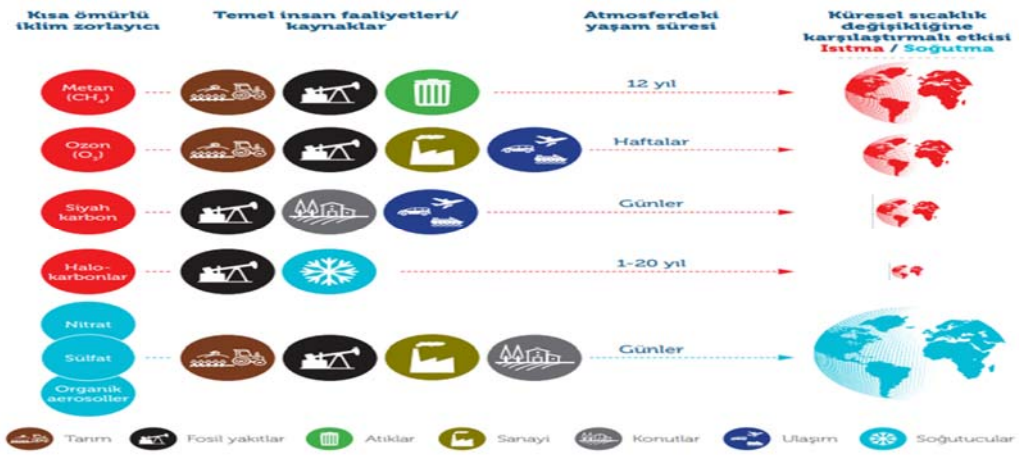
Hava kirliliği seviyeleri, mevsimsel değişikliklerden etkilenir. Kış aylarında, artan ısıtma talebi ve atmosferik dağılım oranlarının düşmesi nedeniyle kirlilik seviyesi genellikle artar. Bunun yanı sıra, ev içi hava kirliliği, yetersiz havalandırma, sigara dumanı ve biyokütle yakıtlarının kullanımı gibi faktörlerden kaynaklanır ve özellikle hassas gruplar üzerinde ciddi sağlık sorunlarına neden olur. Bu durum, solunum yolu hastalıklarının ve erken ölümlerin önemli bir nedeni olarak dikkat çeker. Bu etkiler, hava kirliliği yönetiminin ve halk sağlığını korumaya yönelik politikaların ne kadar kritik olduğunu göstermektedir. Daha sıkı kontrol önlemleri ve etkili stratejilerle hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri azaltılabilir (Guan, 2016).

Hava kirliliği, fosil yakıtların ve biyokütle yakımının yol açtığı emisyonlardan kaynaklanırken, trafik emisyonları kentsel alanlarda azot oksit (NOx) ve karbon monoksit (CO) seviyelerine önemli katkılarda bulunur. Özellikle büyük şehirlerde bu durum, hava kalitesinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Hava kirliliği seviyeleri, bölgesel farklılıklar göstermektedir. Sanayi faaliyetleri ve kömür kullanımı yoğun olan bölgeler, kirliliğin sıcak noktaları olarak öne çıkar. Topoğrafya ve iklim koşulları da bu farklılıkların belirlenmesinde etkili olmaktadır (Song, 2017).



Şekil 2.2: Türkiye de olan 30 termik santralin 1965-2020 yılları arasında neden olduğu sağlık etkileri ve maliyeti (URL 4).

İkincil kirleticiler de hava kirliliğinde önemli bir rol oynar. Örneğin, PM2.5 kirliliği, ikincil aerosol oluşumundan büyük ölçüde etkilenmektedir. Yüzey ozonu (O3), uçucu organik bileşiklerin (UOB) reaktivitesi ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak oluşan karmaşık bir ikincil kirleticidir. SO2, NOx ve partikül madde arasındaki etkileşim, pus oluşumuna katkıda bulunarak hava kalitesini daha da kötüleştirmektedir. Hava kirliliği, mevsimsel ve coğrafi değişimlerle farklı eğilimler göstermektedir. Kış aylarında artan ısıtma emisyonları, PM2.5 ve PM10 seviyelerini yükseltirken, bu değişimler kirlilik mekanizmalarının karmaşıklığını ortaya koymaktadır. Daha temiz bir hava için, bu kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesi ve etkili yönetim politikalarının uygulanması büyük önem taşımaktadır (Song, 2017).

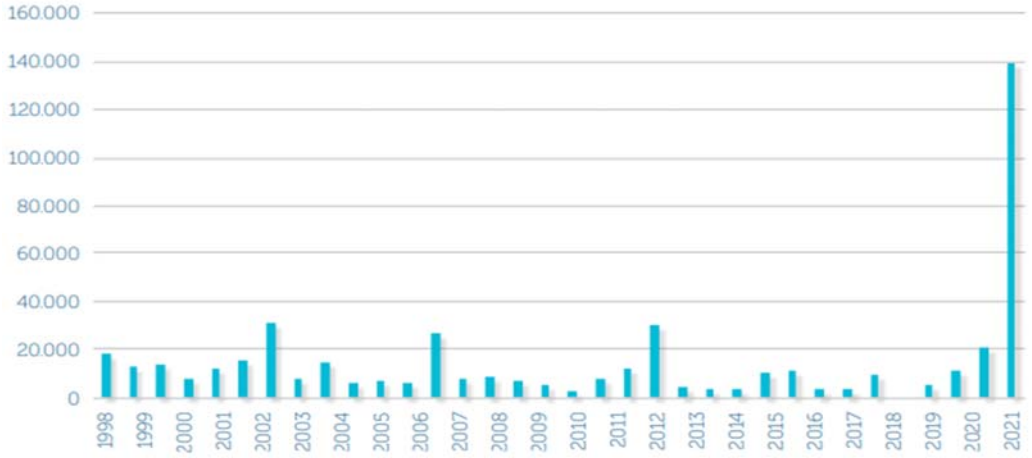


Şekil 2.3: Kısa ömürlü iklim zorlayıcıları (URL 4).

2.2.1 Orman Yangınlarının Hava Kalitesine Etkisi

Grafik 2.1'de görüldüğü üzere, 1988-2021 yılları arasında Türkiye'de yanan toplam orman alanlarında özellikle 2021 yılında büyük bir sıçrama yaşanmıştır. Bu artış, yangınların etkisinin giderek daha geniş alanlara yayıldığını ve bunun doğrudan çevresel sonuçları olduğunu göstermektedir. Yangınlar sırasında yayılan karbon monoksit, karbondioksit, metan ve diğer gazlar hava kalitesini düşürerek insan sağlığını tehdit eder hale getirmektedir.

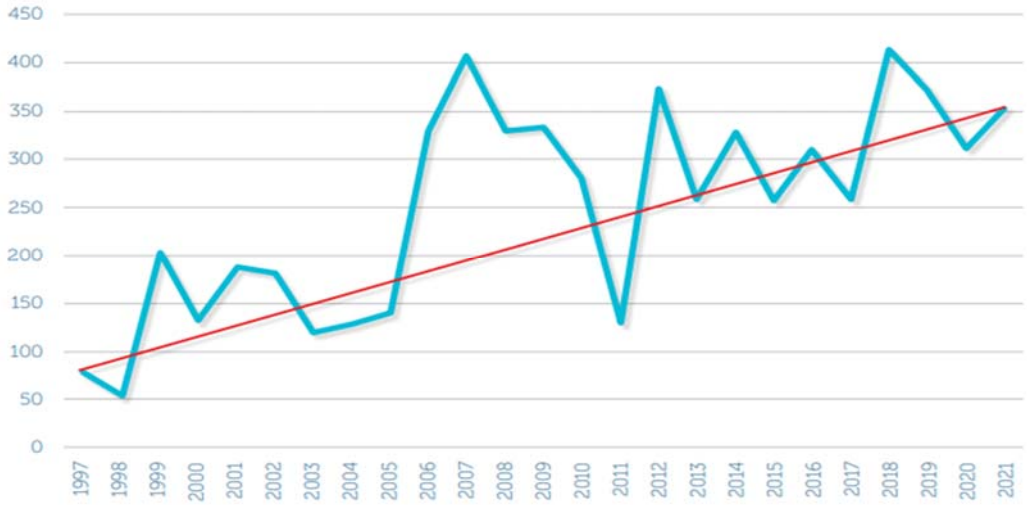
Grafik 2.1: Yanan Orman Alanlarının Büyüklüğü (URL 4).

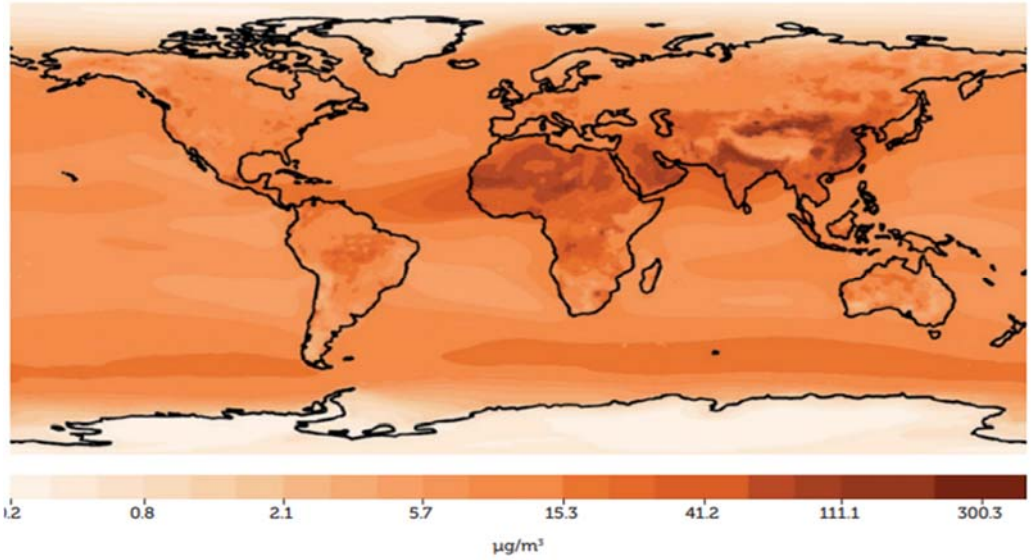


Grafik 2.2, 1997-2021 yılları arasında doğal nedenlerle çıkan orman yangınlarının sayısını göstermektedir. Bu grafik, yıllar içerisinde artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, iklim değişikliği, kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi çevresel faktörlerin yangınların sıklığını artırdığına işaret etmektedir. Yangınların sayısındaki bu artış, atmosfere salınan zararlı gazların ve ince partikül maddelerin (PM2.5) yoğunlaşmasına yol açmaktadır.

Şekil 2.4'de, 2021 yılındaki ortalama PM2.5 konsantrasyonlarının önceki yıllara kıyasla anomali gösterdiği ortaya konmaktadır. Bu veriler, özellikle Akdeniz bölgesi gibi yangınların yoğun olduğu alanlarda hava kalitesinin ciddi şekilde kötüleştiğini işaret etmektedir. Hava kirleticilerinin bu denli artması, solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere birçok sağlık sorununu tetikleyebilmektedir.

Grafik 2.2: Doğal Nedenlerle Meydana Gelen Yangınlar ve Artışı (URL 4).



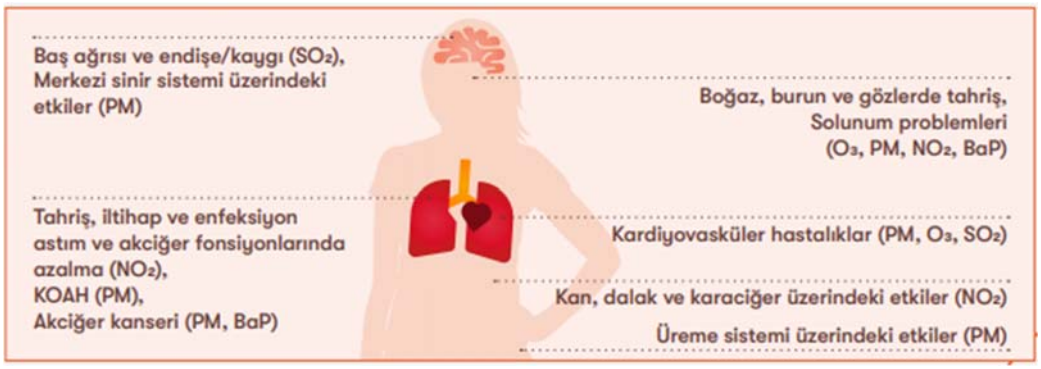


Şekil 2.4: PM2.5 Konsantrasyonlarındaki Anormallikler (URL 4).

2.3 Hava Kalitesinin İnsan Sağlığına Etkileri

Hava kirliliği, insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler oluşturarak özellikle solunum ve kardiyovasküler hastalıkları tetiklemektedir. Partikül madde (PM10 ve PM2.5) gibi kirleticilere kısa süreli maruz kalmanın, solunum yolu ve kardiyovasküler ölüm oranlarında artışa yol açtığı tespit edilmiştir. PM2.5 seviyesindeki her 10 µg/m³'lük

artış, solunum yolu ölümlerinde %1,04'lük bir artışla ilişkilendirilmiştir. Bu durum, özellikle çocuklar, yaşlılar ve önceden solunum rahatsızlığı olan bireyler gibi savunmasız gruplar üzerinde daha ciddi etkiler yaratmaktadır (Analitis, 2006).



Şekil 2.5: Hava Kirliliğinin Sağlık Etkileri (URL 3).

Hava kirliliği, insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Solunum yollarında iltihaplanmaya neden olarak astım, bronşit ve KOAH gibi hastalıkları tetikleyebilir. Partikül maddeler, akciğerlerin derinlerine kadar ulaşarak oksidatif strese ve kalp-damar sisteminde inflamasyon gibi ciddi sorunlara yol açar. Azot dioksit (NO_2) ise solunum yollarını tahriş etmekle kalmaz, aynı zamanda ozon gibi ikincil hava kirleticilerinin oluşumuna zemin hazırlar. Yapılan araştırmalar, NO_2 seviyesindeki her 10 µg/m³'lük artışın ölüm oranlarında %2,5'lik bir yükselişe neden olduğunu göstermektedir (Analitis, 2006).

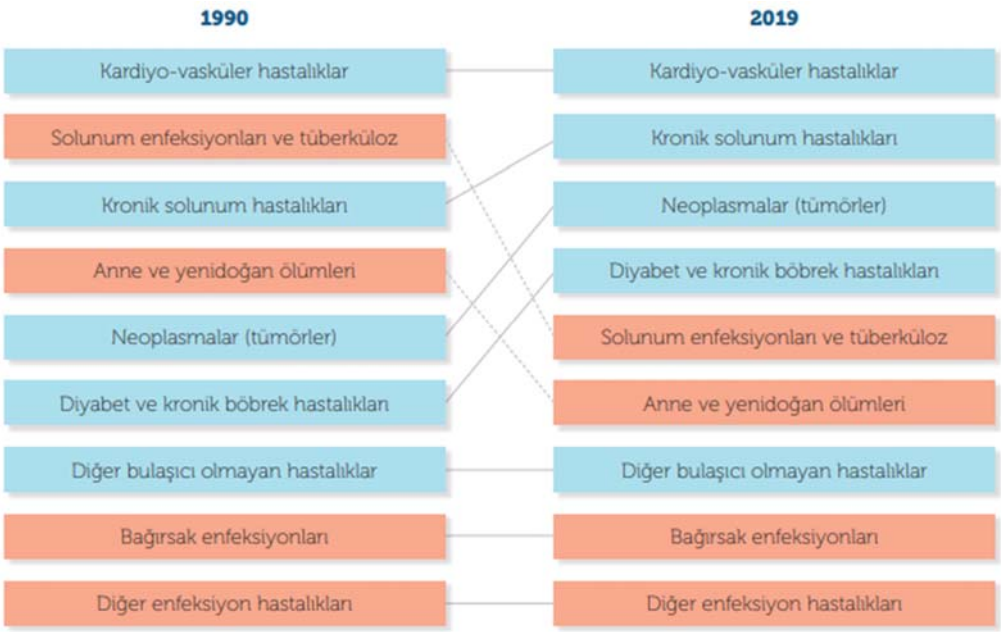
Kış aylarında, soğuk hava ve artan ısınma ihtiyaçları nedeniyle hava kirliliğinin etkileri daha belirgin hale gelir. Bu dönemde PM10 ve NO_2 seviyelerinde artış gözlenirken, solunum hastalıkları nedeniyle hastane başvurularında da ciddi bir yükseliş görülür. Özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasındaki ilişki daha güçlü bir şekilde ortaya çıkar. Ayrıca, hava kirliliğinin ekonomik sonuçları da önemlidir. Artan sağlık hizmeti maliyetleri, hastane yatışları ve kronik hastalıkların tedavi ihtiyaçları, bu ekonomik yükü daha da artırmaktadır. Tüm bu bulgular, hava kalitesini iyileştirmek ve halk sağlığını korumak adına sıkı düzenlemelere ve etkili müdahalelere duyulan ihtiyacı açıkça göstermektedir (Analitis, 2006).

Şekil 2.6: Türkiye de ölüme ve sakatlığa yol açan ilk 10 risk karşılaştırılması (URL 4).

Hava kirliliği, doğum öncesinde fetüs üzerinde ciddi etkiler oluşturarak yenidoğanların akciğer fonksiyonlarında önemli değişimlere yol açabilmektedir. Partikül madde (PM10) ve azot dioksite (NO2) maruz kalma, akciğer gelişimini etkileyerek solunum talebinin artmasına ve solunum yollarında iltihaplanmaya neden olmaktadır. Özellikle hamilelik döneminde PM10 maruziyeti, artan dakika ventilasyonu ve gelgit akımları gibi solunum parametrelerinde değişikliklerle ilişkilendirilmiştir. NO2 maruziyeti ise, solunum yollarında iltihaplanmaya işaret eden yüksek düzeyde ekshalasyon nitrik oksit (eNO) ile bağlantılıdır. Bu durum, hava kirliliğinin fetüs üzerindeki etkilerini açıklayan mekanizmalarla daha da belirginleşmektedir. Annenin hava kirliliğine maruz kalması, oksidatif stres ve sistemik inflamasyon gibi süreçleri tetikleyerek fetal akciğer gelişimini bozabilir. Akciğer fonksiyonlarındaki erken değişimler kalıcı hale gelebilir ve ileriki yaşamda astım gibi kronik solunum yolu hastalıklarına yakalanma riskini artırabilir (Latzin, 2009).

Şekil 2.7: Risk Altındaki Kırılgan Gruplar (URL 3).

Gebelikte hava kirliliğine maruz kalma, özellikle üçüncü trimesterde, solunum sistemi gelişimi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Trafiğe yakın bölgelerde yaşayan hamile kadınlar, taşıt emisyonlarından kaynaklanan PM10 ve NO2 gibi zararlı kirleticilere daha yüksek düzeyde maruz kalmakta ve bu durum yenidoğan solunum fonksiyonlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bulgular, fetüs ve yenidoğan sağlığını korumak için hamilelik döneminde hava kirliliğine maruziyeti azaltmanın önemini vurgulamaktadır. Özellikle kentsel alanlarda, sıkı hava kalitesi önlemlerinin benimsenmesi ve taşıt emisyonlarının azaltılması, olumsuz sağlık sonuçlarını en aza indirmede kritik bir rol oynar (Latzin, 2009).



Şekil 2.8: Türkiye de hava kirliliğine atfedilebilen ölümlerin nedenleri ve sıralamalarının karşılaştırılması (URL 4).

Hava kirliliği, dünya genelinde milyonlarca insanın sağlığını etkileyen ciddi bir çevresel risk faktörüdür. Kentsel alanlarda yaşayan her on kişiden dokuzu hava kirliliğine maruz kalmakta, bu da her yıl 3,2 milyon ölüme yol açmaktadır. Hava kirleticiler, özellikle partikül madde (PM2.5 ve PM10), kardiyopulmoner mortalite ve genel ölüm oranlarında artışla doğrudan ilişkilidir. Kısa süreli maruziyetler bile astım ve Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) gibi rahatsızlıkları şiddetlendirebilmektedir (Kurt, 2016).

Tablo 2.2: 2021 yılında hava kirliliğine atfedilen ölümlerin orantısal olarak en fazla olduğu ilk 10 il (URL 4).

İller	$PM_{2,5}$ Ortalaması (µg/m³)	Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm Orantısı (%)
Batman	72,01	31,13
Iğdır	65,12	28,22
Karaman	64,69	28,03
Muş	58,71	25,4
Ağrı	57,02	24,64
Şırnak	50,26	21,51
Osmaniye	49,84	21,31
Malatya	46,71	19,81
Kahramanmaraş	45,25	19,11
Denizli	42,30	17,66

Hava kirliliği, savunmasız popülasyonlar üzerinde daha belirgin etkiler yaratmaktadır. Çocuklar ve gençler, gelişmekte olan solunum sistemleri nedeniyle daha hassasken, yaşlılar solunum komplikasyonları ve iltihaplanma açısından yüksek risk altındadır. Ozon (O3), oksidatif strese ve akciğer iltihabına neden olarak astım gibi rahatsızlıkların artmasına yol açarken, azot oksitler (NOx) ve kükürt dioksit (SO2) kronik solunum yolu hastalıklarını tetiklemekte ve akciğer fonksiyonlarını azaltmaktadır. Uzun süreli maruziyetler ise akciğer kanseri riskini artırmaktadır. PM2.5 konsantrasyonundaki her 10 µg/m³ artış, akciğer kanseri riskini %9 oranında yükseltmektedir. Bunun yanı sıra, kısa süreli hava kirliliği olayları, özellikle çocuklarda solunum yolu enfeksiyonlarının artmasına ve acil servis başvurularında yükselişe neden olmaktadır (Kurt, 2016).

Tablo 2.3: 2021 yılında hava kirliliğine atfedilen ölüm hızının en fazla olduğu ilk 10 il (URL 4).

İller	$PM_{2,5}$ Ortalaması (µg/m³)	Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm Hızı (yüz binde)
Sivas	29,14	442,61
Karaman	64,69	281,63
Edirne	42,28	231,2
Iğdır	65,12	221,81
Batman	72,01	200,07
Ardahan	36,84	189,77
Ağrı	57,02	189,06
Muş	58,71	188,08
Malatya	46,71	183,56
Denizli	42,30	174,33

Hava kirliliği yalnızca yerel bir sorun değil, aynı zamanda kirleticilerin atmosferde uzun mesafeler taşınması nedeniyle küresel bir tehdit oluşturmaktadır. Bu sorunun halk sağlığı üzerindeki yükünü hafifletmek için yerel, ulusal ve küresel düzeylerde koordineli çabalar gereklidir. Etkili hava kalitesi standartlarının uygulanması, akciğer sağlığını korumak ve hastalık riskini azaltmak için kritik öneme sahiptir.

2.4 Hava Kirliliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Dünya genelinde kentsel hava kalitesinin izlenmesi, sağlık üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesi üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle hava kirleticilerinin mekânsal ve zamansal dağılımını inceleyen araştırmalar son yıllarda daha fazla önem kazanmıştır (Domingo ve Rovira, 2020; Jaferi ve diğ., 2021; Leili ve diğ., 2023). Global Burden of Disease (GBD) çalışmasına göre hava kirliliği her yıl dünya çapında 4,2 milyon ölüme doğrudan katkıda bulunmaktadır (Murray, 2020).

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar, partikül maddeler (PM10, PM2.5) ve azot dioksit (NO2) gibi kirleticilerin, solunum yolu hastalıkları, kalp-damar rahatsızlıkları ve diğer kronik hastalıklarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Örneğin, Riggs ve diğ. (2021), ince partikül maddelere maruziyetin oksidatif strese ve inflamasyona yol açtığını belirtmiştir. Benzer şekilde, Hadei ve diğ.

(2020), İran'da yaptıkları çalışmada PM2.5 ve ozona maruziyetin ölüm ve hastalık riskini artırdığını modellemiştir. Li ve diğ. (2019), Kuzey Çin'deki ısınma kaynaklı emisyonların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini analiz ederek bu durumun kış aylarında daha belirgin olduğunu vurgulamıştır.

Türkiye'de hava kirliliği konusunda yapılan çalışmalar hem akademik araştırmalarda hem de kamu projelerinde geniş yer bulmaktadır. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan çalışmalar, hava kirleticilerinin mekânsal ve zamansal dağılımını incelemede etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, Aslan ve Akyürek (2018), Marmara Bölgesi'nde PM10 ve SO2 kirlilik seviyelerinin kış aylarında belirli bölgelerde yoğunlaştığını tespit etmiştir. Kasparoğlu ve diğ. (2018), Marmara Bölgesi'ndeki ozon (O3), azot oksitler (NO ve NO2) gibi kirleticilerin kaynaklarını ve mekânsal dağılımını analiz etmiştir.

Yerel düzeyde yapılan diğer çalışmalar da önemli bulgular sunmaktadır. Vural (2021), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarının mekânsal değişimlerini inceleyerek sanayi bölgelerinin etkisini değerlendirmiştir. Aguilera (2022), Konya'nın Kosova Mahallesi'nde PM kirliliğinin CBS ile modellenmesi üzerine yaptığı çalışmada, kirliliğin yerleşim bölgelerinde daha yoğun olduğunu tespit etmiştir. Kalıpcı ve Başer (2019), Türkiye'nin genel hava kirliliğini CBS kullanarak analiz etmiş ve sanayi ve trafik kaynaklarının kirlilik üzerindeki etkilerini incelemiştir. Erdoğan (2019), organize sanayi bölgelerinde PM10 konsantrasyonlarını değerlendirerek bu bölgelerdeki kirliliğin, kentsel alanlardan daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Sağlık etkileri açısından bakıldığında, Çapraz ve diğ. (2016), İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında hava kirliliği ile ölüm oranları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve PM10 ile NO2 konsantrasyonlarının anlamlı bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Çıldır ve Mutlu (2022), Balıkesir'de meteorolojik parametrelerin hava kirliliği üzerindeki etkilerini analiz ederek solunum yolu hastalıkları ile kirleticiler arasındaki ilişkiyi detaylandırmıştır.

Türkiye'de hava kirliliği ve sağlık üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalarda, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2003-2022 yılları arasını kapsayan aerosol ve toz taşınımı analizleri de önemli bulgular sunmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023). Bu rapor, özellikle kış aylarında toz taşınımının kirlilik seviyelerine olan katkısını ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, TÜİK'in Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verileri, kentsel alanlarda artan nüfusun hava kirliliğine olan etkisini değerlendirmede önemli bir kaynak sunmaktadır (TÜİK, 2021).

Türkiye ve dünya genelinde yapılan çalışmalar, hava kirliliğinin mekânsal ve zamansal dağılımını anlamada ve bu kirliliğin insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmede önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle kentsel alanlarda yapılan analizler, sanayi ve trafik kaynaklı kirlilikle mücadelede daha etkili politikaların geliştirilmesi için yol gösterici niteliktedir.

3. METODOLOJİ VE VERİLER

3.1 Araştırma Alanı

3.1.1 Türkiye

Türkiye'nin toplam nüfusu 85 milyonu aşmış olup, nüfusun %77'si şehirlerde yaşamaktadır (TÜİK, 2021).

Marmara Bölgesi, Türkiye'nin en yoğun nüfuslu bölgesi olarak sanayi tesisleri ve ekonomik faaliyetlerin merkezi konumundadır. Buna karşın, İç Anadolu ve Doğu Anadolu gibi bölgelerde nüfus yoğunluğu daha düşüktür. Bu farklılıklar, hava kirliliği seviyelerinin bölgesel dağılımını da etkilemektedir. Özellikle sanayinin yoğun olduğu Marmara ve Ege bölgelerinde kirlilik seviyelerinin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Türkiye'nin bu bölgelerinde artan nüfus, sanayi faaliyetleri ve ulaşım kaynaklı emisyonlar, hava kalitesi yönetiminde ciddi zorluklar yaratmaktadır (URL 5).

Şekil 3.1: Türkiye haritası (URL 6).

3.1.2 İstanbul

İstanbul, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde yer almakta olup, ülkenin en kalabalık şehri olarak dikkat çekmektedir. Şehir, 16 milyonu aşan nüfusu ile Türkiye nüfusunun %18'ini barındırmaktadır (URL 7).

Nüfus yoğunluğu, Avrupa yakasında Asya yakasına kıyasla daha fazladır ve şehirdeki yoğun yerleşim, sanayi ve ticaret faaliyetleri İstanbul'un hava kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. İstanbul genelindeki sanayi bölgeleri, hava kirliliğinin önemli kaynakları arasında yer almakta ve özellikle Tuzla, Gebze ve İkitelli gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır.

Sanayi faaliyetlerinin yanı sıra, İstanbul'un hızlı nüfus artışı, trafik yoğunluğu ve konut kaynaklı emisyonları da hava kalitesi üzerinde baskı oluşturmaktadır. Şehrin iki kıtayı birleştiren eşsiz coğrafi yapısı, rüzgar akımları ve kirleticilerin yayılma eğiliminde önemli bir faktördür. Ancak, sanayi bölgelerindeki yoğun emisyonlar, bu bölgelerdeki nüfusun daha yüksek sağlık riski altında olmasına neden olmaktadır. Sanayi kaynaklı kirleticilerin yoğunlaştığı alanlar, İstanbul'un hava kalitesi yönetiminde öncelikli bölgeler olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.2: İstanbul haritası (URL 8).

3.1.3 Coğrafi özellikler

İstanbul, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde, Karadeniz ve Marmara Denizi arasında yer alan, Asya ve Avrupa kıtalarını birleştiren bir şehirdir. Boğaziçi, Haliç ve çevresindeki su yolları ile İstanbul, benzersiz bir coğrafi yapıya sahiptir (URL 7).

Şehir, kuzeyden Karadeniz rüzgarlarının, güneyden ise Marmara Denizi etkilerinin hava kalitesine katkı sağladığı bir konumda bulunmaktadır. Ancak, sanayi ve trafik kaynaklı emisyonlar, bu doğal avantajları sınırlamakta ve kentsel bölgelerdeki kirlilik yoğunlaşmasını artırmaktadır.

İstanbul'un coğrafi özellikleri, hava kirleticilerin dağılımını doğrudan etkilemektedir. Kuzeyde daha az yerleşim alanı bulunurken, Avrupa ve Asya yakasındaki yoğun şehirleşme, kirlilik seviyelerini artırmaktadır. Özellikle Boğaziçi ve Haliç gibi dar su yolları, kirleticilerin yayılımını sınırlandırarak yerel kirlilik seviyelerinde dalgalanmalara neden olmaktadır. Bununla birlikte, Karadeniz ve Marmara Denizi arasında bir köprü görevi gören İstanbul, bu denizlerin etkisiyle belirli bölgelerde hava kalitesini olumlu etkileyebilmektedir.

3.2 Hava Kalitesi Standartları

Hava kalitesi standartları, çevresel kirleticilerin insan sağlığına ve ekosistemlere olan etkilerini en aza indirmek amacıyla belirlenen sınır değerlerden oluşmaktadır. Türkiye'de bu standartlar, 2008 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında düzenlenmiştir. Bu standartlar, Avrupa Birliği (AB) sınır değerleri ile uyumlu hale getirilmeye çalışılmaktadır. Ancak Türkiye'deki sınır değerler, AB standartlarına kıyasla bazı kirleticiler için daha yüksek toleransa sahiptir.

3.2.1 Türkiye Standartları

Tablo 3.1'de, Türkiye'de uygulanan hava kalitesi sınır değerleri ve bu değerlerin yıllar içerisindeki değişimi sunulmaktadır. Görüldüğü üzere, SO_2, NO_2, PM10, ve CO gibi temel hava kirleticileri için saatlik, günlük ve yıllık limitler belirlenmiştir. Örneğin, 2024 yılı itibarıyla PM10 için yıllık sınır değerin 40 µg/m³ olarak uygulanması planlanmıştır. Bu değer, Avrupa Birliği hedefleriyle uyumlu hale getirilmek istenmektedir. Bununla birlikte, ağır metaller (arsenik, kadmiyum, nikel ve benzo(a)piren) için de limitler belirlenmiştir ve 2020 itibarıyla bu kirleticilere yönelik daha sıkı standartlar uygulanmaya başlanmıştır.

Tablo 3.1'deki veriler, Türkiye'deki hava kalitesi standartlarının zamanla daha sıkı hale getirilmeye çalışıldığını göstermektedir. Ancak halen bazı kirleticiler için AB limit değerleri ile farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, Türkiye'de 24 saatlik PM10 sınır değeri 50 µg/m³ iken, bu değer AB'de daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu durum, Türkiye'nin hava kalitesi politikalarını uluslararası standartlarla uyumlu hale getirme çabalarını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır.

Tablo 3.1: Türkiye Limit Değerleri (URL 9).

KİRLETİCİ	Türkiye-Limit Değerler												
	Süre	2014 Sınır Değer	2015 Sınır Değer	2016 Sınır Değer	2017 Sınır Değer	2018 Sınır Değer	2019 Sınır Değer	2020 Sınır Değer	2021 Sınır Değer	2022 Sınır Değer	2023 Sınır Değer	2024 Sınır Değer	Türkiye için AB Limit Değerlerin Geçerli Olacağı Tarih
		(µg/m3)											
SO_2	saatlik	350+150	350+120	350+90	350+60	350+30	350	350	350	350	350	350	1 Ocak 2019
	24 saat	125+125	125+100	125+75	125+50	125+25	125	125	125	125	125	125	
	yıl ve kış	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1 Ocak 2014
NO_2	saatlik	200+100	200+90	200+80	200+70	200+60	200+50	200+40	200+30	200+20	200+10	200	1 Ocak 2024
	yıl	40+20	40+18	40+16	40+14	40+12	40+10	40+8	40+6	40+4	40+2	40	
NO_x	yıl	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1 Ocak 2014
PM10	24 saat	50+50	50+40	50+30	50+20	50+10	50	50	50	50	50	50	1 Ocak 2019
	kış dönemi	40+50	40+40	40+30	40+20	40+10	40	40	40	40	40	40	
	yıl	40+20	40+16	40+12	40+8	40+4	40	40	40	40	40	40	
Pb	yıl	0.5+0.5	0.5+0.4	0.5+0.3	0.5+0.2	0.5+0.1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1 Ocak 2019
C6H6	-	5+5	5+5	5+5	5+4	5+3	5+2	5+1	5	5	5	5	1 Ocak 2021
CO	8 saat	10000+6000	10000+4000	10000+2000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	1 Ocak 2017
O_3	8 saat	hedef değer								120	120	120	1 Ocak 2022
	saatlik	bilgi eşiği								180	180	180	
		uyarı eşiği								240	240	240	
Arsenik	yıl	Bir yılda PM10 fraksiyonundaki toplam içerik için hedef değer						0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	1 Ocak 2020
Kadmiyum	yıl							0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
Nikel	yıl							0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Benzo(a)piren	yıl							0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	

NOT: 1 Ocak 2014'ten itibaren AB limit değerlerin geçerli olacağı tarihe kadar limit değerler toleransla değerlerdir. AB Limit Değerlerin geçerli olacağı tarihlere kadar tolerans payları sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır

3.2.2 Avrupa Birliği Standartları

Avrupa Birliği (AB), üye ülkelerde hava kalitesinin iyileştirilmesini sağlamak amacıyla, insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkileri azaltmayı hedefleyen standartlar belirlemiştir. Tablo 3.2'de AB'nin belirlediği kirletici limit değerleri ve uygulanma koşulları sunulmaktadır. Bu değerler, hava kirleticilerinin türüne göre farklı süreler için sınırlandırmalar içermekte ve bu limitlerin aşılabileceği gün sayıları ile birlikte değerlendirilmektedir.

Ağır metallerden arsenik, kadmiyum, nikel ve benzo(a)piren için yıllık limit değerler belirlenmiştir. Bu limitler, kirleticilerin kronik sağlık etkilerini en aza indirgemek için oldukça düşük tutulmuştur. Örneğin, arsenik için limit değer 0,006 µg/m³ olarak belirlenmiştir.

AB limit değerleri, üye ülkeler için bağlayıcı olup, hava kalitesinin insan sağlığına

zarar vermeyecek seviyelere çekilmesi amacıyla belirlenmiştir. Türkiye'nin mevcut hava kalitesi standartları, AB değerlerine kıyasla daha esnek olsa da zaman içinde bu standartlara uyum sağlama yönünde adımlar atılmaktadır. Örneğin, PM10 ve PM2.5 gibi partikül maddeler için belirlenen değerler, Türkiye'deki sanayi ve trafik yoğunluğu göz önüne alındığında, özellikle kentsel alanlarda halen zorlukla uygulanmaktadır.

Tablo 3.2, AB'nin sağlık ve çevre odaklı yaklaşımını yansıtmaktadır ve bu standartlar, Türkiye gibi geçiş sürecinde olan ülkeler için yol gösterici niteliktedir.

Tablo 3.2: Avrupa Birliği limit değerleri (URL 9).

Kirletici	**AB - Limit Değerler**		
	Süre	**Limit Değerler(ug/m³)**	**Aşma Sayısı**
SO_2	saat	350	24 kez / yıl
	24 saat	125	3 kez / yıl
	yıl	20	(ekosistem)
NO_2	saat	200	18 kez / yıl
	yıl	40	-
NOx	yıl	30	(ekosistem)
PM_{10}	24 saat	50	35 kez / yıl
	yıl	40	-
$PM_{2.5}$	yıl	25	
Pb	yıl	0,5	-
C_6H_6	yıl	5	-
CO	8 saat	10.000	
O_3	8 saat	120	25 gün / yıl
		(hedef değer)	
	saat	180 (bilgi eşiği)	-
		240 (uyan eşiği)	
Arsenik	yıl	0,006	Bir yılda PM_{10} fraksiyonundaki toplam içerik için hedef değer
Kadmiyum	yıl	0,005	
Nikel	yıl	0,02	
Benzo(a)piren	yıl	0,001	

3.2.3 Dünya Sağlık Örgütü Standartları

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), hava kirleticilerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini en aza indirmek amacıyla, partikül maddeler (PM10, PM2.5), azot dioksit (NO_2), kükürt dioksit (SO_2), karbonmonoksit (CO) ve ozon (O_3) gibi temel kirleticiler için sınır değerler belirlemiştir. Bu değerler, günlük ve yıllık ölçüm süreleriyle hava kirliliğinin

insan sağlığı üzerindeki kısa ve uzun vadeli etkilerini kontrol altına almayı hedeflemektedir.

Tablo 3.3'te görüldüğü gibi, DSÖ limit değerleri, diğer ulusal ve bölgesel standartlara kıyasla daha sıkıdır. DSÖ'nün bu değerleri belirlerken, kentsel ve kırsal bölgelerde yaşayan bireylerin maruz kalabileceği en düşük risk seviyelerini esas aldığını göstermektedir. Bu limitler, özellikle hassas gruplar (çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalıkları olan bireyler) için sağlık risklerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. DSÖ standartları, Türkiye ve diğer ülkeler için bir referans noktası niteliğindedir. Türkiye'nin mevcut limit değerleri ile DSÖ değerleri karşılaştırıldığında, arada belirgin farklar olduğu görülmektedir. Bu farklar, hava kalitesini iyileştirmek için daha sıkı önlemler alınması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 3.3: DSÖ Kirletici Limit Değerleri (URL 9).

KİRLETİCİ	WHO - Limit Değerler		
	Süre	Limit Değer(ug/m^3)	Aşma Sayısı
SO_2	10 dakika	500	
	yıl	20	
NO_2	saat	200	
	yıl	10	
PM_{10}	24 saat	45	3
	yıl	15	-
$PM_{2.5}$	24 saat	15	3
	yıl	5	
Pb	yıl	0,5	-
C_6H_6	yıl	5	-
C_O	8 saat	10,000	
O_3	8 saat	100	
Arsenik	yıl	0,006	Bir yılda PM_{10} fraksiyonundaki toplam içerik için hedef değer
Kadmiyum	yıl	0,005	
Nikel	yıl	0,02	
Benzo(a)piren	yıl	0,001	

3.2.4 Hava Kalitesi İndeksi

Hava Kalite İndeksi (HKİ), farklı kirleticilerin konsantrasyonlarına dayalı olarak hava kalitesinin genel durumunu ifade eden bir sistemdir. Tablo 3.4'teki verilere göre HKİ, hava kalitesini "İyi"den "Tehlikeli"ye kadar değişen kategorilerle sınıflandırır.

Düşük indeks değerleri (0-50) hava kalitesinin sağlıklı olduğunu belirtirken, orta ve yüksek indeks değerleri (101 ve üzeri), özellikle hassas gruplar için sağlık risklerinin artışına işaret eder. Örneğin, PM2.5 konsantrasyonu 35-54 µg/m³ arasında olduğunda hava kalitesi "Hassas" olarak değerlendirilirken, bu değer 250 µg/m³'ü geçtiğinde "Tehlikeli" seviyeye ulaşmaktadır. Benzer şekilde, SO_2, NO_2 ve CO gibi gazların konsantrasyonlarındaki artışlar da indeks değerini yükselterek sağlık üzerindeki olumsuz etkileri artırır.

HKİ, hava kalitesinin kolay anlaşılır bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır ve hem bireylerin hem de yerel yönetimlerin hava kirliliği ile mücadelede bilinçli adımlar atmasını teşvik eder. Türkiye'de de HKİ, özellikle büyük şehirlerde halkı bilgilendirmek ve kirliliği takip etmek için kullanılan bir ölçüm sistemidir.

Tablo 3.4: Hava Kalite İndeksi (URL 9).

Hava Kalite İndeksi*	SO_2 (µg/m3)		NO_2 (µg/m3)	CO (µg/m3)	O_3 (µg/m3)		PM_{10} (µg/m3)	$PM_{2.5}$ (µg/m3)	
	1 Sa.Ort.	24 Sa.Ort.	1 Sa.Ort.	8.Sa.Ort.	8 Sa.Ort	1 Sa.Ort.	24Sa.Ort	24Sa.Ort	
0-50	0-93		0-102	0-5,2	0-108		0-54	0.0-12,0	İyi
51-100	94-200		103-192	5,3-11	109-248		55-154	12,1-35,4	Orta
101-150	201-493		193-689	11,1-14,5		249-328	155-254	35,5-55,4	Hassas
151-200	494-810		690-1242	14,6-18		329-408	255-354	55,5-150,4	Sağlıksız
201-300		811-1609	1243-2380	18,1-35,5		409-808	355-424	150,5-250,4	Kötü
301-400		1.610-2.141	2.381-3.145	35,6-47,1		809-1.008	425-504	250,5-350,4	Tehlikeli
401-500		2.142-2.674	3.146-3.910	47,2-58,8		1.009-1.208	505-604	350,5-500,4	Tehlikeli

Not:

Ozon ölçümlerinde saatlik ortalama 249 ve üzeri ise saatlik indek kullanılır.
So_2 Ölçümlerinde So_2 saatlik ölçüm değeri 811 ve üzeri ise 24 saatlik ortalama alınır ve indeks buna göre belirlenir.

3.3 Verilerin Temini ve Kaynaklar

3.3.1 Ölçüm İstasyonları

Hava kirliliği ile ilgili analizlerde ölçüm istasyonlarından alınan veriler büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yönetilen geniş bir hava kalitesi izleme ağı bulunmaktadır. Bu istasyonlar, hem sabit hem de mobil olarak hizmet vermekte ve farklı kirleticilerle ilgili veri toplamaktadır. Şekil 3.3, Türkiye genelinde hava kalitesi izleme istasyonlarının mekânsal dağılımını göstermektedir. Haritada görüldüğü üzere, Marmara Bölgesi, özellikle İstanbul ve çevresi, yoğun bir izleme ağına sahiptir. Bunun nedeni, bu bölgede nüfus yoğunluğunun, sanayi faaliyetlerinin ve ulaşım kaynaklı emisyonların diğer bölgelere göre daha yüksek olmasıdır. Sanayi bölgeleri, şehir merkezleri ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda bulunan bu istasyonlar, PM10, PM2.5, SO_2 ve NO_2 gibi kirleticilerin konsantrasyonlarını izlemekte ve hava kalitesinin detaylı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Şekil 3.3 Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Dağılımı (URL 10).

Şekil 3.4'de mobil bir hava kalitesi ölçüm aracı görülmektedir. Bu araçlar, sabit istasyonların yetersiz kaldığı ya da erişimin zor olduğu bölgelerde hava kalitesi ölçümleri yaparak esnek bir izleme imkanı sunmaktadır. Mobil istasyonlar, geçici ölçüm gereksinimlerini karşılamak ve belirli projeler kapsamında kısa süreli izleme yapmak için tercih edilmektedir. Özellikle hava kirliliği sorunlarının yoğun olduğu sanayi bölgelerinde ve afet durumlarında bu araçlar kritik bir rol üstlenmektedir.

Şekil 3.4: Mobil Ölçüm İstasyonu (URL 10).

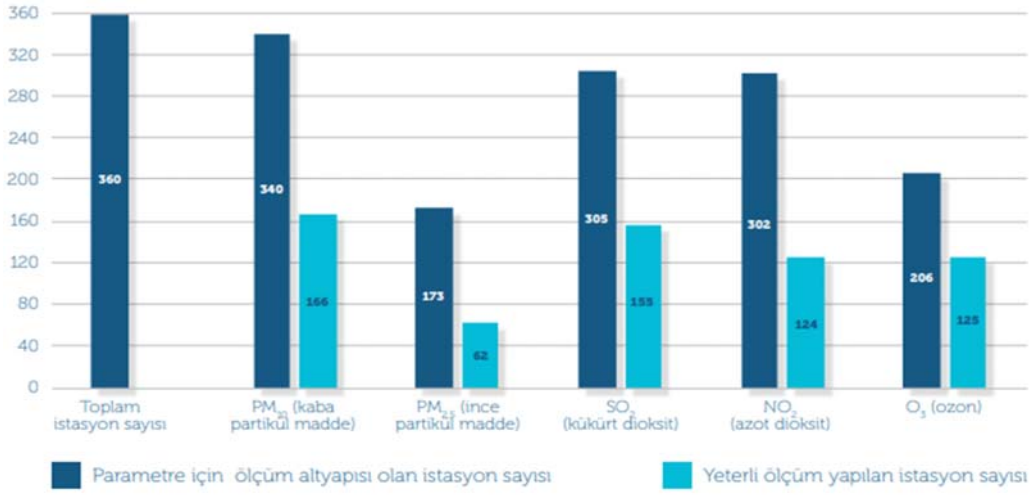
Şekil 3.5, sabit bir hava kalitesi ölçüm istasyonunu göstermektedir. Bu tür istasyonlar, uzun vadeli izleme ve düzenli veri toplama amacıyla belirli bölgelere yerleştirilmektedir. İstasyonlar, hava kirleticilerinin anlık ve sürekli ölçümünü yapmakta, aynı zamanda meteorolojik parametrelerle ilişkilendirerek detaylı analizler sağlamaktadır. Özellikle Marmara Bölgesi gibi sanayi ve ulaşım kaynaklı kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde bu istasyonlar, bölgesel hava kalitesinin değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir.

Şekil 3.5: Sabit Ölçüm İstasyonu (URL 10).

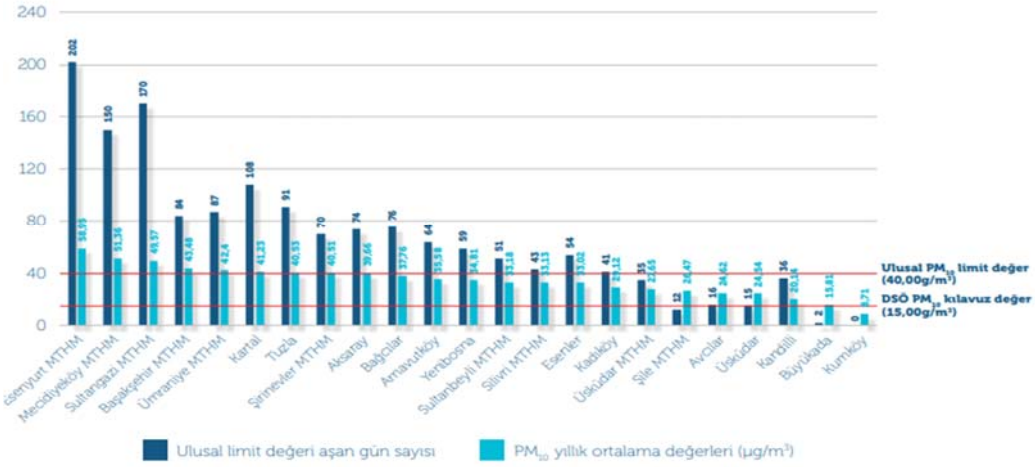
Grafik 3.1, İstanbul ve diğer iller arasında 1990-2020 yılları arasındaki istasyonların değerlere göre karşılaştırmasını sunmaktadır. Görüldüğü üzere, Marmara Bölgesi'nde yer alan iller, özellikle sanayi ve ulaşım faaliyetlerinin yoğunluğu nedeniyle diğer bölgelere kıyasla daha fazla PM10 değeri ölçebilen istasyonlara sahiptir. İstanbul'un PM10 değerleri, trafik yoğunluğu, sanayi bölgelerinin yoğunluğu ve nüfus artışı ile ilişkilidir. Bu değerler, hava kirliliği yönetiminde bölgesel yaklaşımların önemini göstermektedir.

Grafik 3.2, İstanbul'da 2010-2020 yılları arasında ölçülen PM10 konsantrasyonlarının yıllık değişimini göstermektedir. Verilere göre, PM10 konsantrasyonları yıllar içinde dalgalanmalar göstermiş, ancak genel olarak belirli bir sınırın üzerinde seyretmiştir.

Grafik 3.1: 1990'dan 2020'ye İstasyonların
Karşılaştırması (URL 4).



Grafik 3.2: İstanbul'da PM10 Konsantrasyonlarının
Yıllık Seyri (2010-2020) (URL 4).



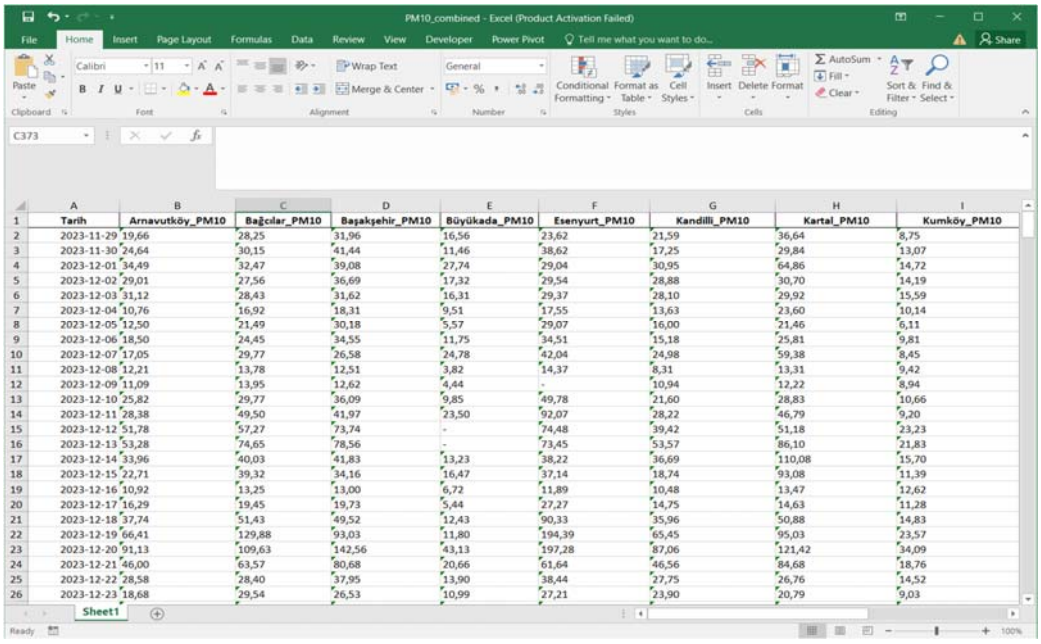
3.3.2 Verilerin İstatistiksel Analizi

Bu tez çalışmasında, verilerin istatistiksel analizi, grafiklerin oluşturulması ve veri gruplarının düzenlenmesi için Microsoft Excel ve Python programları kullanılmıştır. Verilerin düzenlenmesi, temizlenmesi ve validasyon işlemleri Excel'de gerçekleştirilmiş; daha karmaşık analizler ve görselleştirmeler Python aracılığıyla

yapılmıştır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da, bu programlara ait ekran görüntüleri sunulmaktadır.

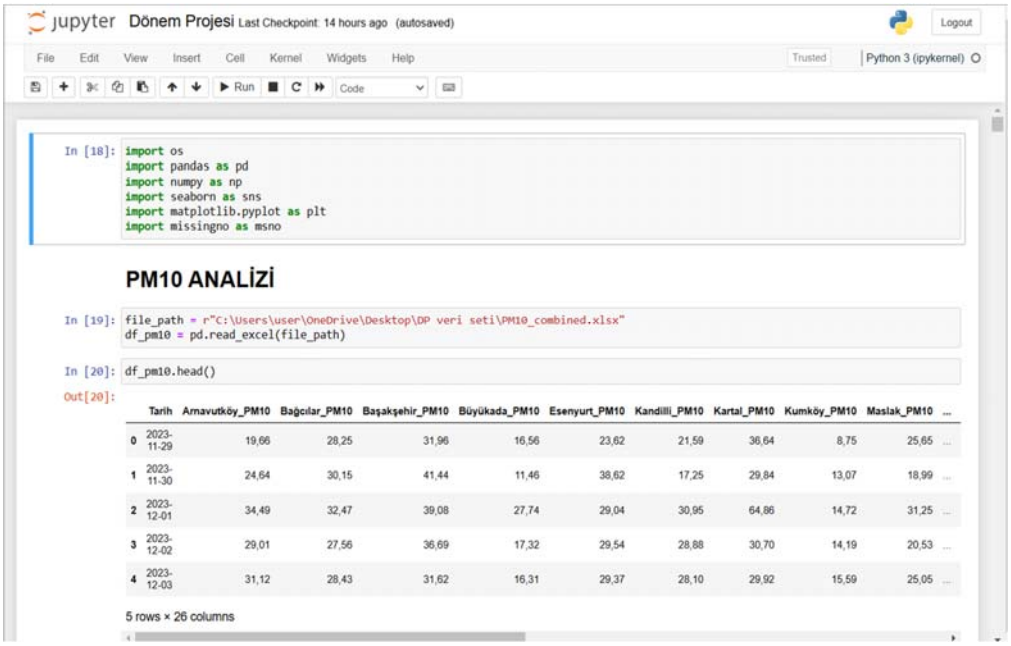
Bölüm 4'de yer alan günlük, aylık ve yıllık ortalama değerler, ölçüm istasyonlarından alınan ham verilerin Excel kullanılarak işlenmesiyle elde edilmiştir. Bu bölümde konsantrasyonlarının yıllık değişim grafikleri, Python programının Pandas ve Matplotlib kütüphaneleri kullanılarak hazırlanmıştır. Mevsimsel değişim analizleri ve veri özetleri, Python'daki istatistiksel analiz araçlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Python, polar grafikler ve zamansal değişim analizleri gibi daha ileri düzey görselleştirmeler için kullanılmıştır. Excel ise, verilerin hızlı bir şekilde düzenlenmesi, filtrelenmesi ve validasyon aşamalarında destekleyici bir araç olarak görev almıştır.
Bu yöntemler sayesinde, verilerin analizi ve görselleştirilmesi titizlikle gerçekleştirilmiş, her iki programın güçlü yönlerinden faydalanılarak çalışma kapsamındaki analizlerin doğruluğu ve güvenilirliği artırılmıştır. Kullanılan yazılımlara ait örnekler Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir.



Tarih	Arnavutköy_PM10	Bağcılar_PM10	Başakşehir_PM10	Büyükada_PM10	Esenyurt_PM10	Kandilli_PM10	Kartal_PM10	Kumköy_PM10
2023-11-29	19,66	28,25	31,96	16,56	23,62	21,59	36,64	8,75
2023-11-30	24,64	30,15	41,44	11,46	38,62	17,25	29,84	13,07
2023-12-01	34,49	32,47	39,08	27,74	29,04	30,95	64,86	14,72
2023-12-02	29,01	27,56	36,69	17,32	29,54	28,88	30,70	14,19
2023-12-03	31,12	28,43	31,62	16,31	29,37	28,10	29,92	15,59
2023-12-04	10,76	16,92	18,31	9,51	17,55	13,63	23,60	10,14
2023-12-05	12,50	21,49	30,18	5,57	29,07	16,00	21,46	6,11
2023-12-06	18,50	24,45	34,55	11,75	34,51	15,18	25,81	9,81
2023-12-07	17,05	29,77	26,58	24,78	42,04	24,98	59,38	8,45
2023-12-08	12,21	13,78	12,51	3,82	14,37	8,31	13,31	9,42
2023-12-09	11,09	13,95	12,62	4,44	-	10,94	12,22	8,94
2023-12-10	25,82	29,77	36,09	9,85	49,78	21,60	28,83	10,66
2023-12-11	28,38	49,50	41,97	23,50	92,07	28,22	46,79	9,20
2023-12-12	51,78	57,27	73,74	-	74,48	39,42	51,18	23,23
2023-12-13	53,28	74,65	78,56	-	73,45	53,57	86,10	21,83
2023-12-14	33,96	40,03	41,83	13,23	38,22	36,69	110,08	15,70
2023-12-15	22,71	39,32	34,16	16,47	37,14	18,74	93,08	11,39
2023-12-16	10,92	13,25	13,00	6,72	11,89	10,48	13,47	12,62
2023-12-17	16,29	19,45	19,73	5,44	27,27	14,75	14,63	11,28
2023-12-18	37,74	51,43	49,52	12,43	90,33	35,96	50,88	14,83
2023-12-19	66,41	129,88	93,03	11,80	194,39	65,45	95,03	23,57
2023-12-20	91,13	109,63	142,56	43,13	197,28	87,06	121,42	34,09
2023-12-21	46,00	63,57	80,68	20,66	61,64	46,56	84,68	18,76
2023-12-22	28,58	28,40	37,95	13,90	38,44	27,75	26,76	14,52
2023-12-23	18,68	29,54	26,53	10,99	27,21	23,90	20,79	9,03

Şekil 3.7: Excel programı ekran görüntüsü.



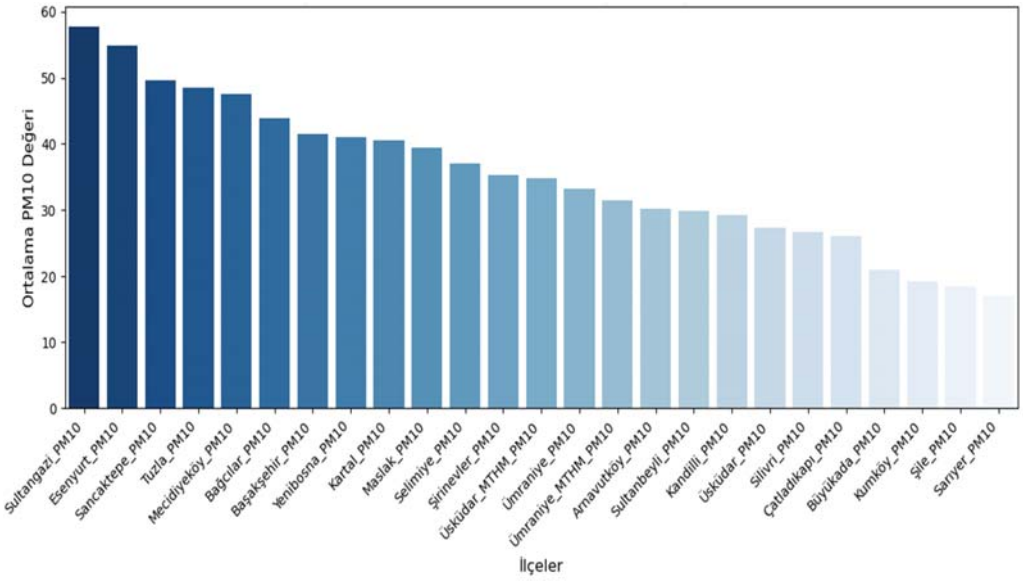
Şekil 3.8: Python programı ekran görüntüsü.

4. BULGULAR VE ANALİZ

4.1 PM10 Zamansal ve Mekansal Değişimi

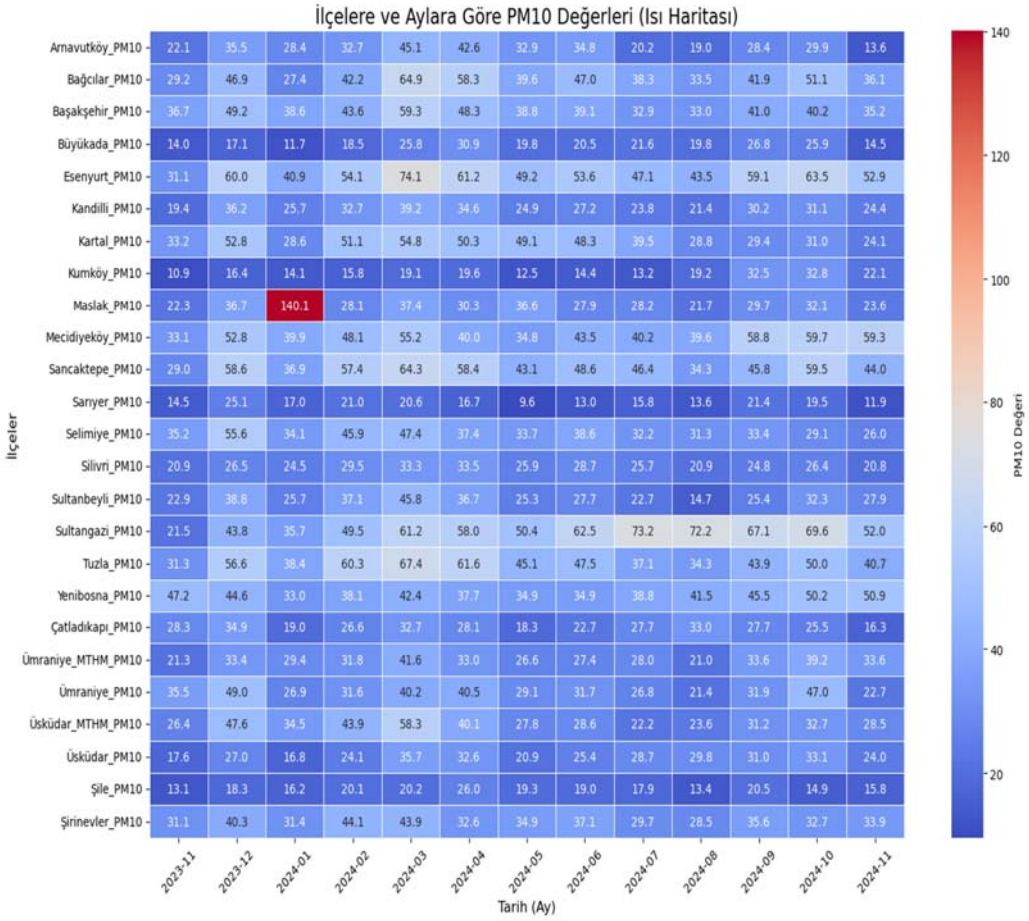
PM10 değerleri zamansal ve mekansal olarak önemli değişiklikler göstermektedir. İlçelere göre analiz edildiğinde, Sultangazi, Esenyurt ve Sancaktepe en yüksek ortalama PM10 değerlerine sahip ilçeler olarak öne çıkmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında yoğun nüfus, trafik yükü ve sanayi faaliyetleri sayılabilir. Daha düşük PM10 değerleri ise genellikle kırsal veya daha az yoğun nüfuslu bölgelerde kaydedilmiştir, örneğin Şile ve Sarıyer.

Grafik 4.1: İlçelere Göre Ortalama PM10 Değerleri.



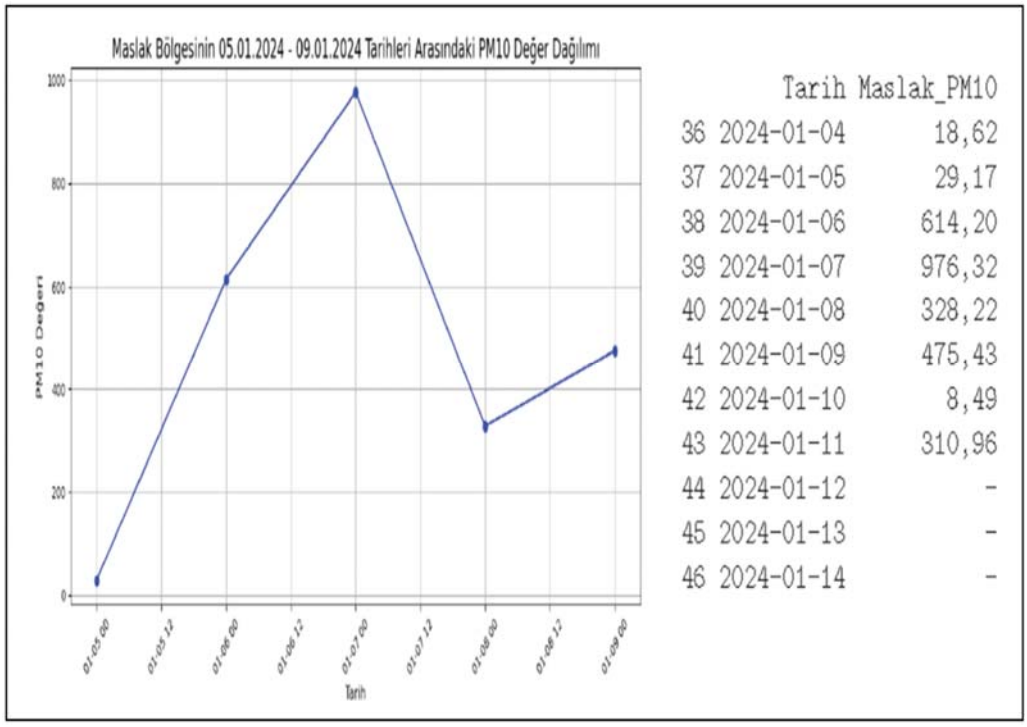
Isı haritası analizi, PM10 değerlerinin yıl boyunca belirgin bir zamansal değişim sergilediğini göstermektedir. Kış aylarında ısınma kaynaklı emisyonların artması, PM10 değerlerinde genel bir artışa neden olurken, yaz aylarında bu değerlerin düştüğü gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, Maslak ve Kumköy istasyonlarında Mart ve Nisan aylarında dikkat çekici şekilde yüksek PM10 değerleri kaydedilmiştir. Bu durum, dönemsel toz taşınımları veya yerel kaynaklı emisyon artışlarıyla ilişkilendirilebilir.

Grafik 4.2: İlçelere ve Aylara Göre PM10 Değerleri.



4.1.1 Maslak bölgesi detaylı analizi.

Maslak bölgesinde 05.01.2024 ile 09.01.2024 tarihleri arasında PM10 değerlerindeki ani artış ve düşüş Şekil 4.1'de detaylı olarak sunulmuş ve bu günlerdeki değer dağılımını sayısal olarak vurgulamaktadır. Şekil 4.1'de, PM10 konsantrasyonunun 07.01.2024 tarihinde 976,32 µg/m³ ile zirve yaptığı, ancak bu zirveyi takip eden günlerde hızla düşerek 10.01.2024 tarihinde 8,49 µg/m³ gibi oldukça düşük bir seviyeye gerilediği görülmektedir. Tabloda, zirve öncesi ve sonrası değerlerin birbiriyle uyumsuz şekilde ani değişimler gösterdiği açıkça gözlemlenmektedir.



Şekil 4.1: Maslak bölgesi analizi.

Bu dalgalanmalar, birkaç gün içinde ölçüm cihazının kalibrasyonundaki sorunlar, veri kaydı sırasında yaşanan bir kesinti veya istasyonda teknik arızalar gibi nedenlerden kaynaklanmış olabilir. Değerlerin kısa süre içinde hızla artması, ardından istasyonun veri kaydetmemesi, bu tür teknik sorunları işaret etmektedir. Bu anormalliklerin, bölgedeki diğer istasyon verileriyle karşılaştırılarak analiz edilmesi, istasyon kaynaklı bir sorun olup olmadığını netleştirmek adına önemlidir. Bu bulgular, ölçüm cihazlarının bakım ve kalibrasyon süreçlerinin düzenli yapılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır.

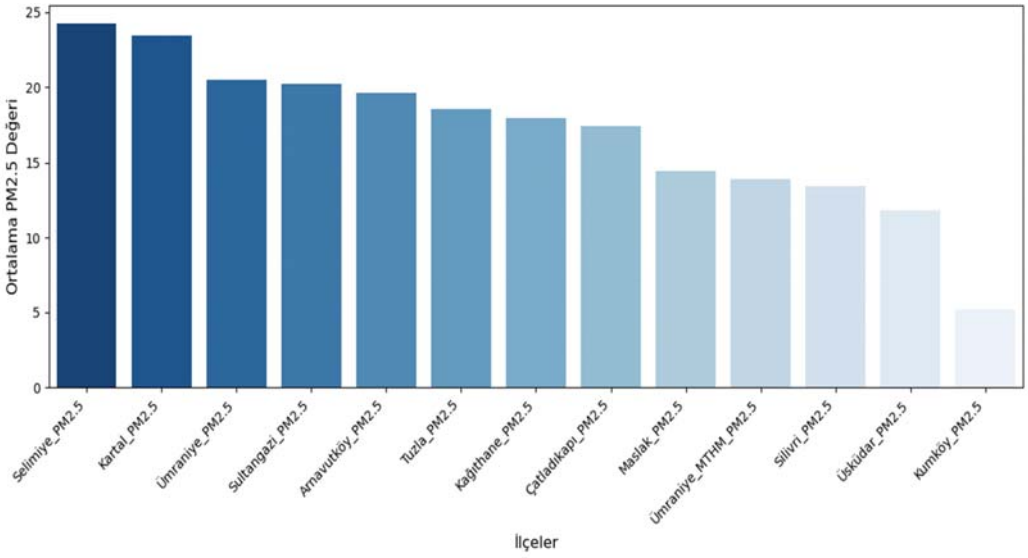
4.2 PM2.5 Zamansal ve Mekansal Değişimi

PM2.5 değerleri, İstanbul genelinde ilçelere ve zaman periyotlarına göre değişiklik göstermektedir. İlçelere göre değerlendirildiğinde, en yüksek PM2.5 değerleri Selimiye, Kartal ve Ümraniye ilçelerinde görülmektedir. Bu bölgelerdeki yüksek değerlerin nedenleri arasında yoğun trafik, sanayi faaliyetleri ve yerel ısınma kaynaklı

emisyonlar bulunmaktadır. Düşük PM2.5 değerleri ise genellikle kırsal ve daha az sanayi veya trafik etkisine sahip bölgelerde, örneğin Kumköy'de kaydedilmiştir.

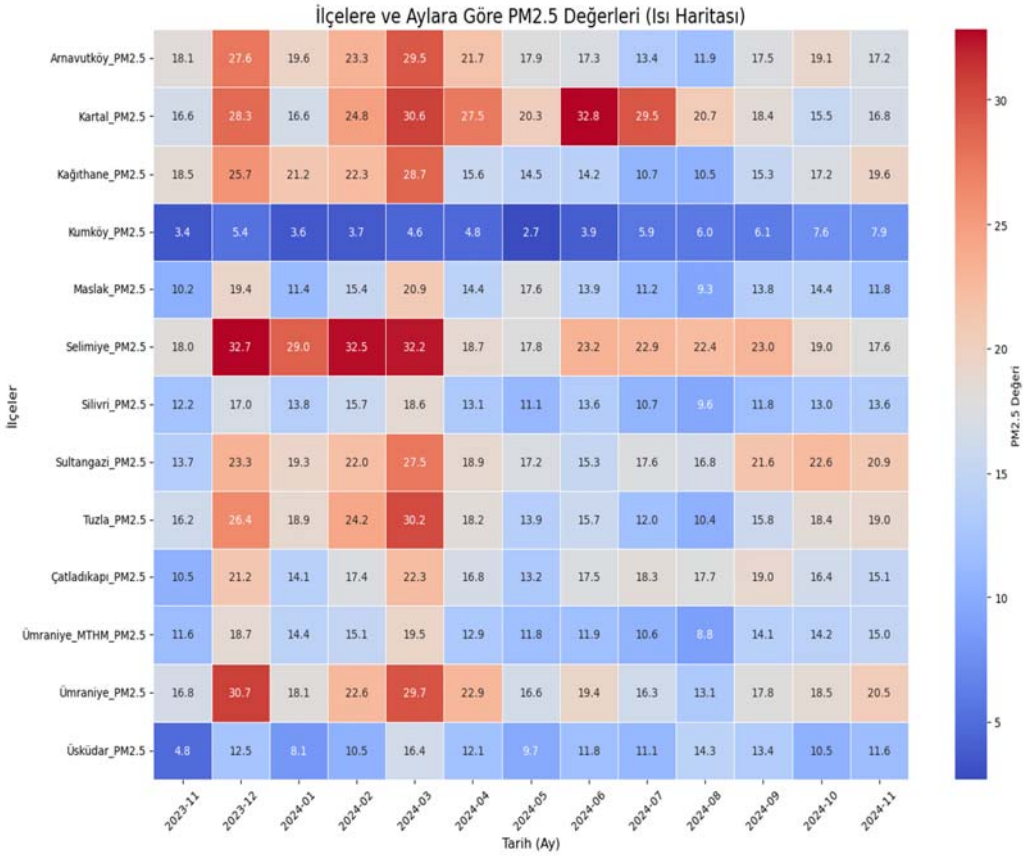
Mekansal olarak değerlendirildiğinde, ilçeler arasındaki farkların temel nedenleri arasında nüfus yoğunluğu, trafik yoğunluğu ve sanayi faaliyetleri bulunmaktadır. Örneğin, Kartal ve Kağıthane gibi yoğun kentsel bölgeler, PM2.5 değerleri açısından dikkat çekmektedir. Buna karşın, Kumköy gibi kırsal bölgeler, PM2.5 seviyelerinin genellikle düşük olduğu yerlerdir.

Grafik 4.3: İlçelere Göre Ortalama PM2.5 Değerleri



Isı haritası analizi, PM2.5 değerlerinin yıl içinde belirgin bir zamansal değişim sergilediğini göstermektedir. Kış aylarında, ısınma kaynaklı emisyonların artışıyla birlikte PM2.5 seviyelerinde genel bir yükselme gözlemlenmiştir. Örneğin, Selimiye ve Ümraniye gibi bölgelerde bu artışlar belirgin şekilde dikkat çekmektedir. Özellikle Mart ve Nisan aylarında, Maslak ve Selimiye istasyonlarında yüksek PM2.5 değerleri kaydedilmiştir. Bu durum, dönemsel meteorolojik faktörler veya yerel aktivitelerle ilişkilendirilebilir.

Grafik 4.4: İlçelere ve Aylara Göre PM2.5 Değerleri.



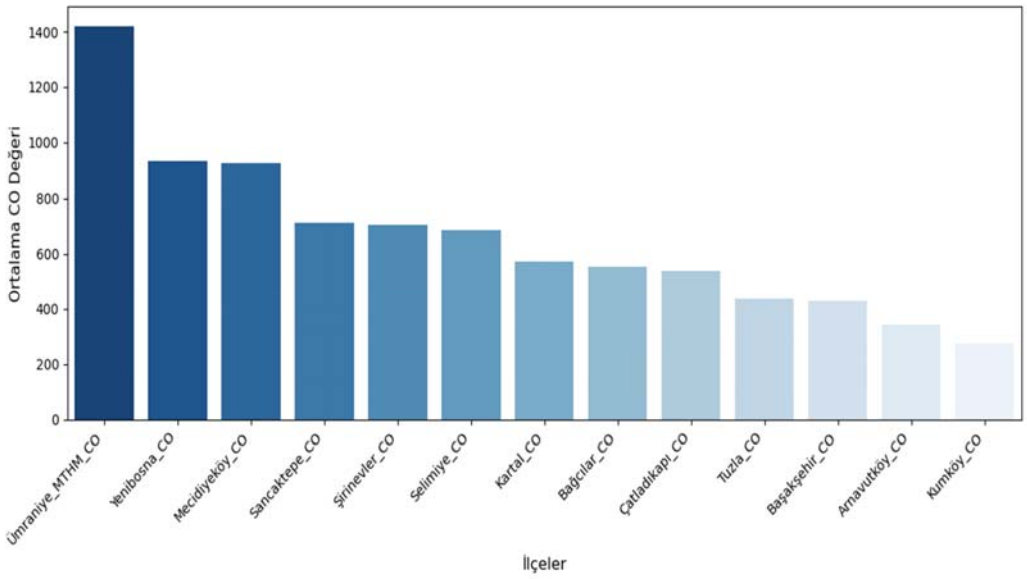
4.3 CO Zamansal ve Mekansal Değişimi

Karbon monoksit (CO) değerleri, İstanbul genelinde ilçeler arasında ve zaman içinde önemli değişiklikler göstermektedir. İlçelere göre incelendiğinde, en yüksek CO değerlerinin Ümraniye-MTHM, Yenibosna ve Mecidiyeköy bölgelerinde kaydedildiği görülmektedir. Bu bölgelerdeki yüksek değerler, yoğun trafik, sanayi faaliyetleri ve yerleşim bölgelerindeki ısınma kaynaklı emisyonlarla ilişkilendirilebilir. Öte yandan, Kumköy ve Arnavutköy gibi daha az sanayileşmiş veya kırsal bölgelerde CO seviyeleri oldukça düşük seyretmektedir.

CO seviyelerindeki mekansal farklılıklar, ilçelerin sanayi, trafik ve yerleşim özelliklerine bağlı olarak çeşitlenmektedir. Örneğin, Yenibosna ve Mecidiyeköy gibi yoğun trafik akışının olduğu bölgelerde CO konsantrasyonları yüksekken, Kumköy

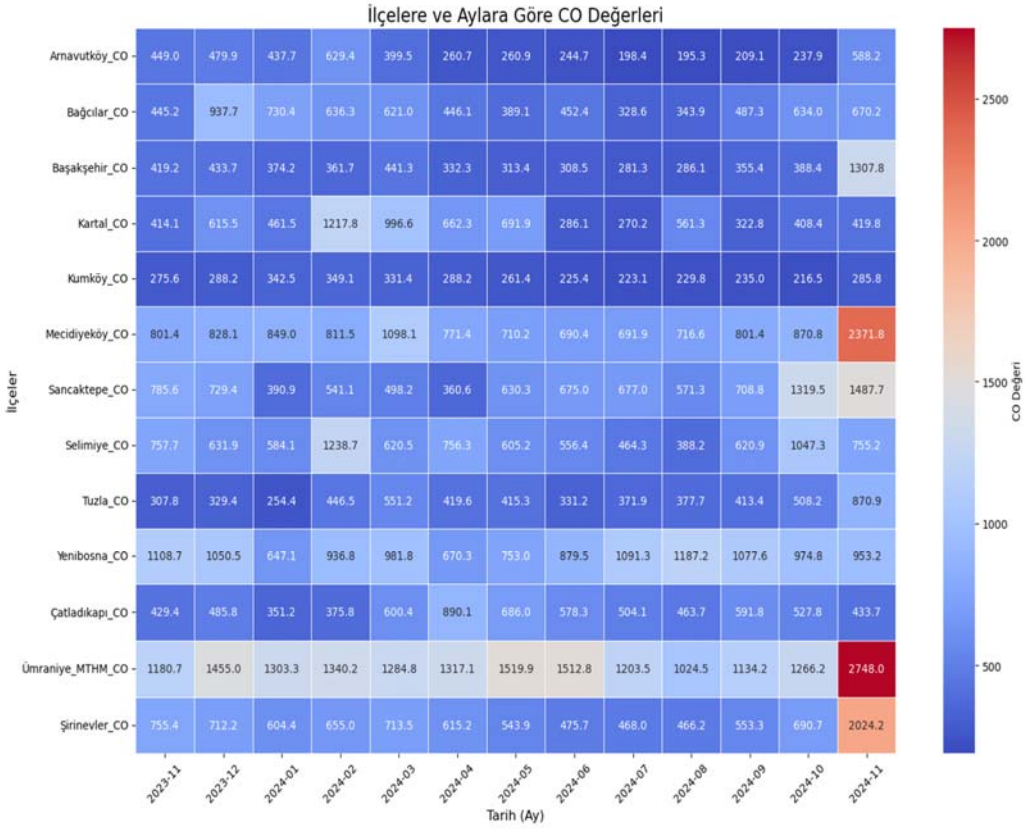
gibi kırsal alanlarda bu değerler oldukça düşüktür. Ayrıca, Ümraniye-MTHM bölgesindeki istasyon verileri, sanayi faaliyetleri ve çevresel faktörlerin CO seviyeleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Grafik 4.5: İlçelere Göre Ortalama CO Değerleri



Isı haritasına göre, CO değerlerinin yıl içinde belirgin bir zamansal değişim sergilediği gözlemlenmektedir. Kış aylarında, özellikle Ocak ve Şubat dönemlerinde CO seviyelerinde bir artış olduğu dikkat çekmektedir. Bu artış, ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtların tüketiminin artmasıyla açıklanabilir. Özellikle Ümraniye-MTHM ve Mecidiyeköy bölgelerinde bu dönemlerde CO değerleri en yüksek seviyelerine ulaşmıştır. Yaz aylarında ise, CO seviyelerinin genel olarak daha düşük olduğu görülmektedir, bu da fosil yakıt kullanımının azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

Grafik 4.6: İlçelere ve Aylara Göre CO Değerleri.



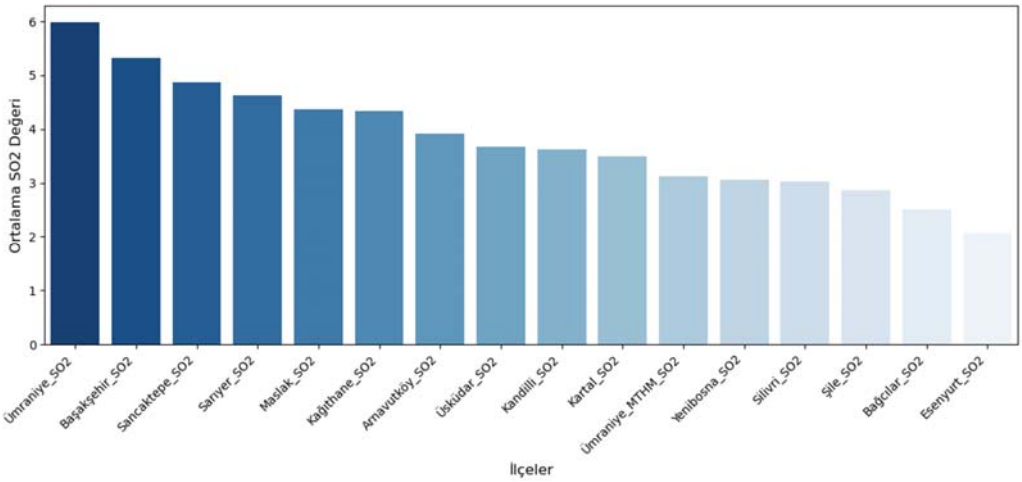
4.4 SO2 Zamansal ve Mekansal Değişimi

Kükürt dioksit (SO2) değerleri, İstanbul genelinde ilçelere ve zaman dilimlerine göre farklılık göstermektedir. İlçelere göre analiz edildiğinde, en yüksek SO2 değerlerinin Ümraniye, Başakşehir ve Sancaktepe ilçelerinde kaydedildiği görülmektedir. Bu bölgelerdeki yüksek değerler, sanayi faaliyetleri ve yoğun yerleşim alanlarında kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Düşük SO2 değerleri ise genellikle kırsal veya daha az sanayi etkisine sahip bölgelerde, örneğin Şile ve Silivri'de kaydedilmiştir.

Mekansal olarak değerlendirildiğinde, ilçeler arasındaki farkların temel nedenleri arasında sanayi yoğunluğu, yerleşim özellikleri ve kullanılan enerji kaynakları yer almaktadır. Ümraniye ve Başakşehir gibi sanayi ve yerleşim bölgelerinde SO2

değerleri yüksek seyrederken, kırsal alanlarda değerlerin oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.

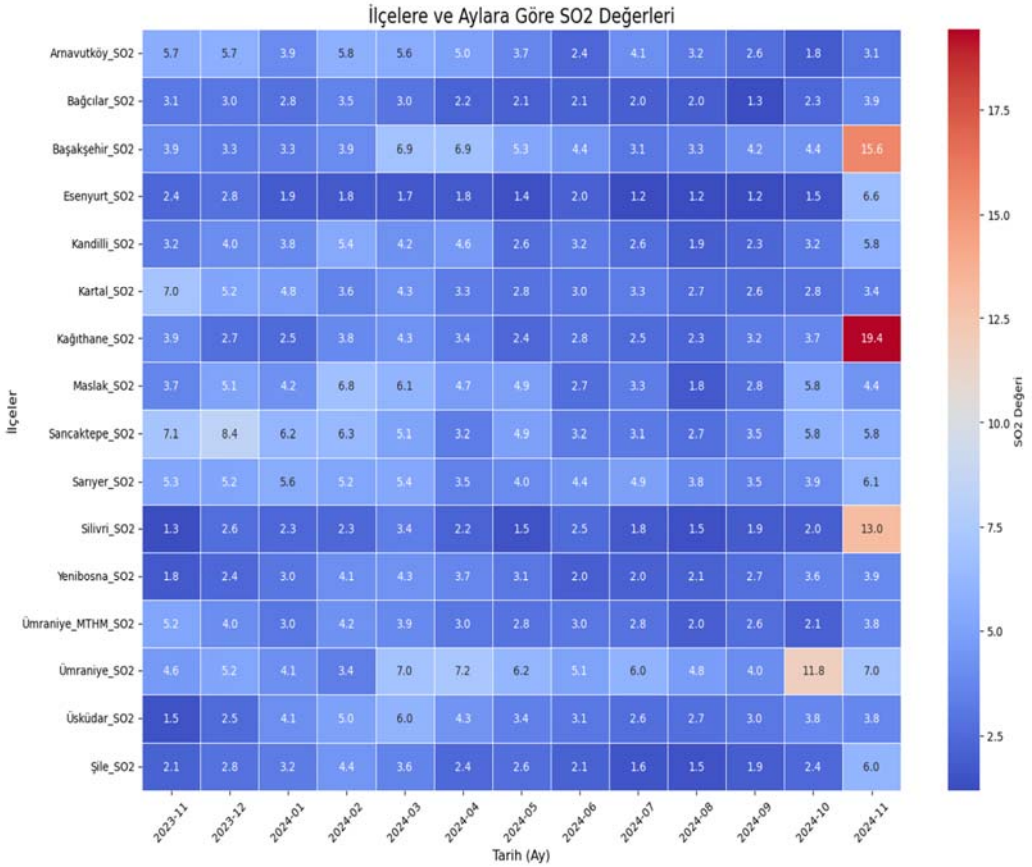
Grafik 4.7: İlçelere Göre Ortalama SO2 Değerleri



Isı haritası analizi, SO2 konsantrasyonlarının belirli dönemlerde ve bölgelerde dikkat çekici şekilde yükseldiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Kağıthane ve Başakşehir bölgelerinde belirli aylarda yüksek SO2 değerleri gözlemlenmiştir. Bu durum, yerel sanayi aktivitelerindeki artışlar veya belirli dönemlerdeki meteorolojik faktörler ile ilişkilendirilebilir.

Zamansal analiz, SO2 seviyelerinin kış aylarında, özellikle Aralık ve Ocak dönemlerinde arttığını göstermektedir. Bu artış, ısınma amacıyla kullanılan kömür gibi fosil yakıtların tüketimiyle ilişkilidir. Örneğin, Sancaktepe ve Kartal bölgelerinde bu dönemlerde SO2 değerlerinde belirgin bir yükselme gözlemlenmiştir. Yaz aylarında ise SO2 seviyelerinin genel olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Bunu, fosil yakıt kullanımının azalması ve atmosferik koşulların değişmesi ile açıklamak mümkündür.

Grafik 4.8: İlçelere ve Aylara Göre SO2 Değerleri.

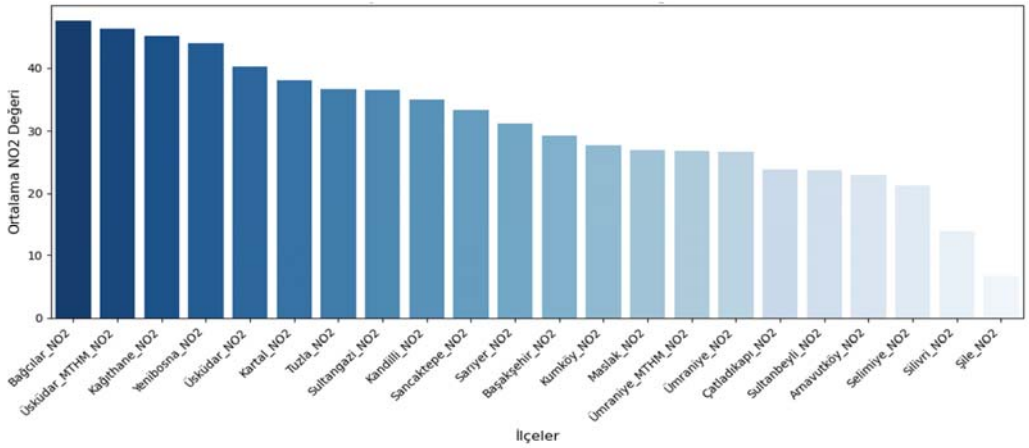


4.5 NO2 Zamansal ve Mekansal Değişimi

Azot dioksit (NO2) konsantrasyonlarının ilçeler arasındaki analizinde, Bağcılar, Üsküdar-MTHM ve Kağıthane bölgeleri en yüksek ortalama NO2 değerlerine sahip olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, bu bölgelerdeki yoğun trafik, yerleşim yoğunluğu ve sanayi faaliyetlerinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Daha düşük NO2 seviyeleri ise kırsal alanlarda, örneğin Şile ve Silivri gibi bölgelerde görülmektedir.

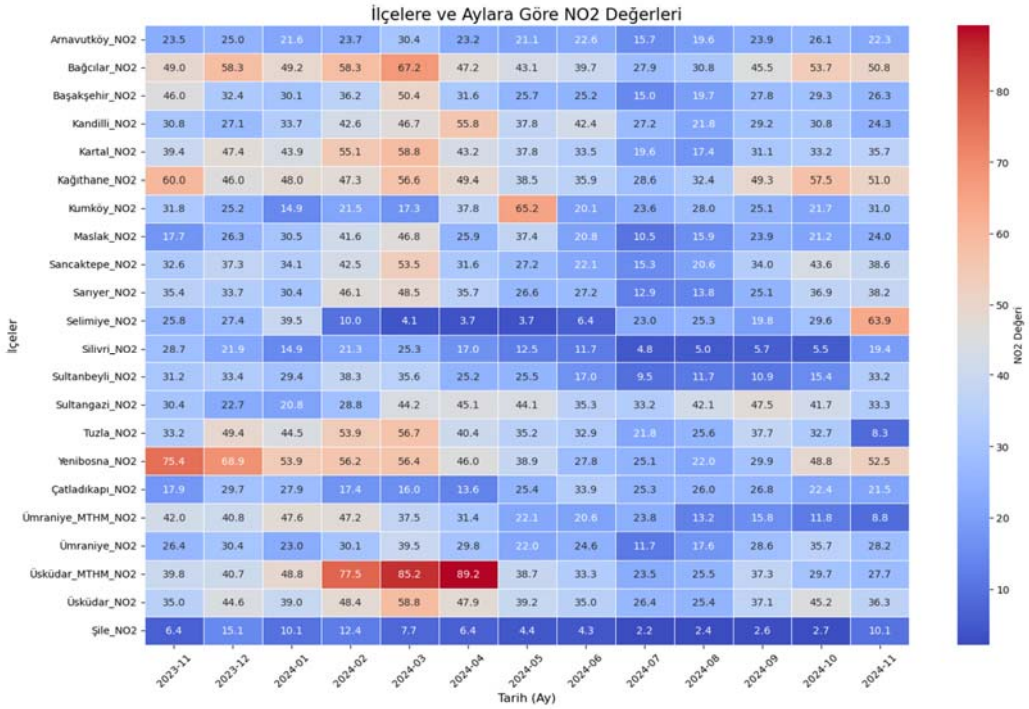
NO2 konsantrasyonlarındaki mekansal farklılıklar, ilçelerin trafik yoğunluğu, sanayi faaliyetleri ve yerleşim özelliklerine bağlıdır. Bağcılar ve Üsküdar gibi yoğun trafik akışının olduğu bölgelerde NO2 seviyeleri yüksektir. Kırsal veya daha az yerleşim yoğunluğu olan Şile ve Silivri gibi bölgelerde ise bu değerler oldukça düşüktür.

Grafik 4.9: İlçelere Göre Ortalama NO2 Değerleri



NO2 değerlerinin kış aylarında, özellikle Aralık ve Ocak dönemlerinde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu artış, soğuk havalarda fosil yakıt kullanımındaki artış ve atmosferik koşulların etkisiyle açıklanabilir. İlkbahar ve yaz aylarında NO2 seviyelerinde genel bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüş, ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımının azalması ve atmosferin daha iyi hava sirkülasyonu sağlamasıyla ilişkilidir.

Grafik 4.10: İlçelere ve Aylara Göre SO2 Değerleri

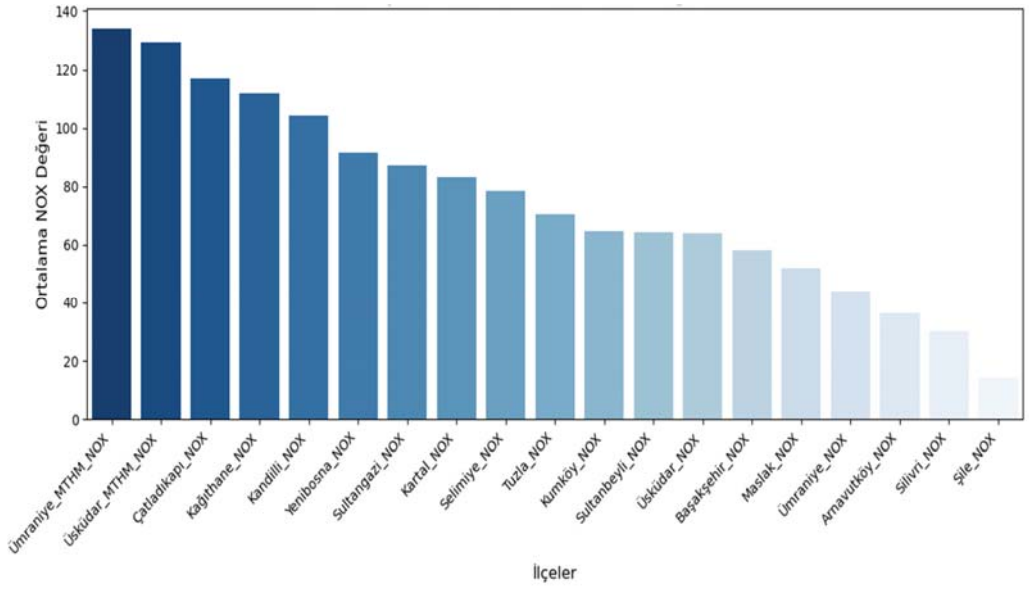


4.6 NOX Zamansal ve Mekansal Değişimi

Azot oksitler (NOx) konsantrasyonları, İstanbul genelinde hem zamansal hem de mekansal olarak belirgin farklılıklar göstermektedir. İlçelere göre analiz edildiğinde, en yüksek NOx seviyelerinin Ümraniye-MTHM, Üsküdar-MTHM ve Çatladıkapı bölgelerinde kaydedildiği görülmektedir. Bu bölgelerdeki yüksek değerler, yoğun trafik, sanayi faaliyetleri ve yerleşim alanlarında kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Daha düşük NOx seviyeleri ise kırsal alanlarda, örneğin Şile ve Silivri gibi bölgelerde kaydedilmiştir.

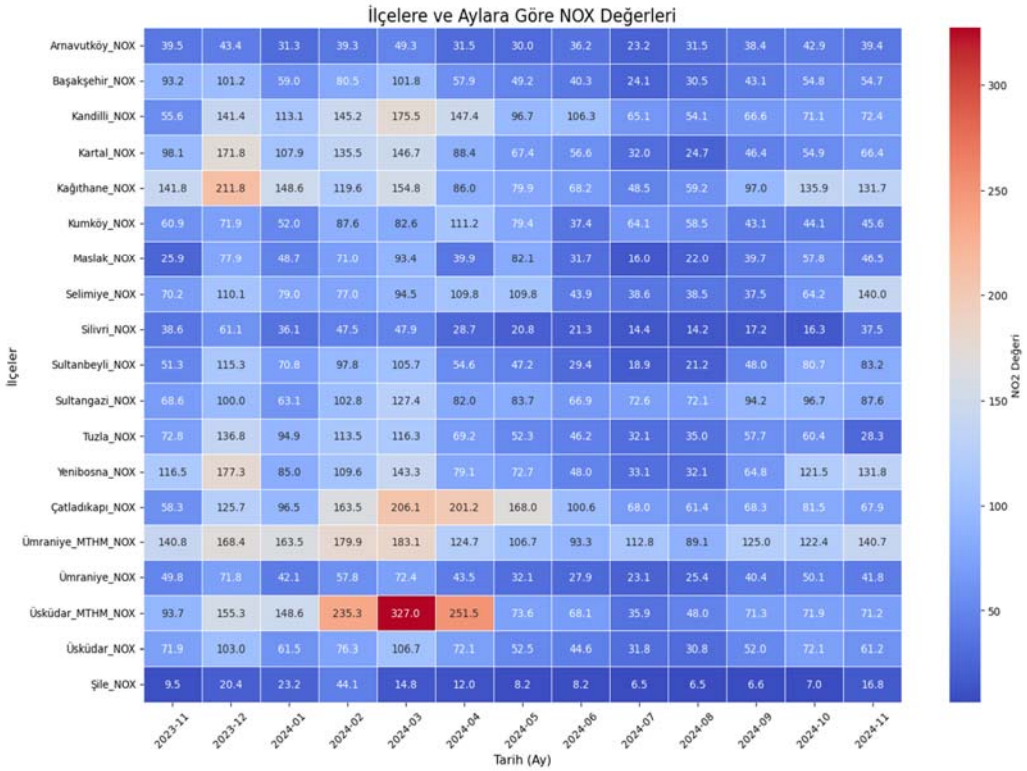
Mekansal analiz, ilçeler arasında NOx konsantrasyonlarındaki farklılıkların, trafik yoğunluğu ve sanayi faaliyetleri gibi yerel faktörlerden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Ümraniye-MTHM ve Üsküdar-MTHM bölgelerinde kaydedilen yüksek NOx seviyeleri, bu bölgelerdeki yoğun trafik ve yerleşimden kaynaklanmaktadır. Çatladıkapı gibi bölgeler ise tarihsel olarak trafiğin yoğun olduğu yerler arasında yer almakta ve bu durum NOx seviyelerine yansımaktadır. Buna karşılık, kırsal ve daha az sanayi etkisine sahip bölgelerde, örneğin Şile'de, NOx konsantrasyonları oldukça düşük seviyelerdedir.

Grafik 4.11: İlçelere Göre Ortalama NOx Değerleri.



NOx konsantrasyonları yıl boyunca değişiklik göstermektedir ve kış aylarında (Aralık-Şubat), özellikle fosil yakıt kullanımının artışıyla, konsantrasyonların arttığı gözlemlenmiştir. Üsküdar-MTHM ve Çatladıkapı bölgelerinde bu dönemde yüksek NOx seviyeleri dikkat çekmektedir. Bahar ve yaz aylarında, daha iyi hava sirkülasyonu ve fosil yakıt kullanımının azalmasıyla NOx seviyelerinde düşüşler görülmektedir. Bununla birlikte, Üsküdar-MTHM bölgesinde Nisan ayında konsantrasyonun en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür, bu da muhtemelen trafik yoğunluğu veya meteorolojik faktörlerle ilişkilidir.

Grafik 4.12: İlçelere ve Aylara Göre NOx Değerleri.



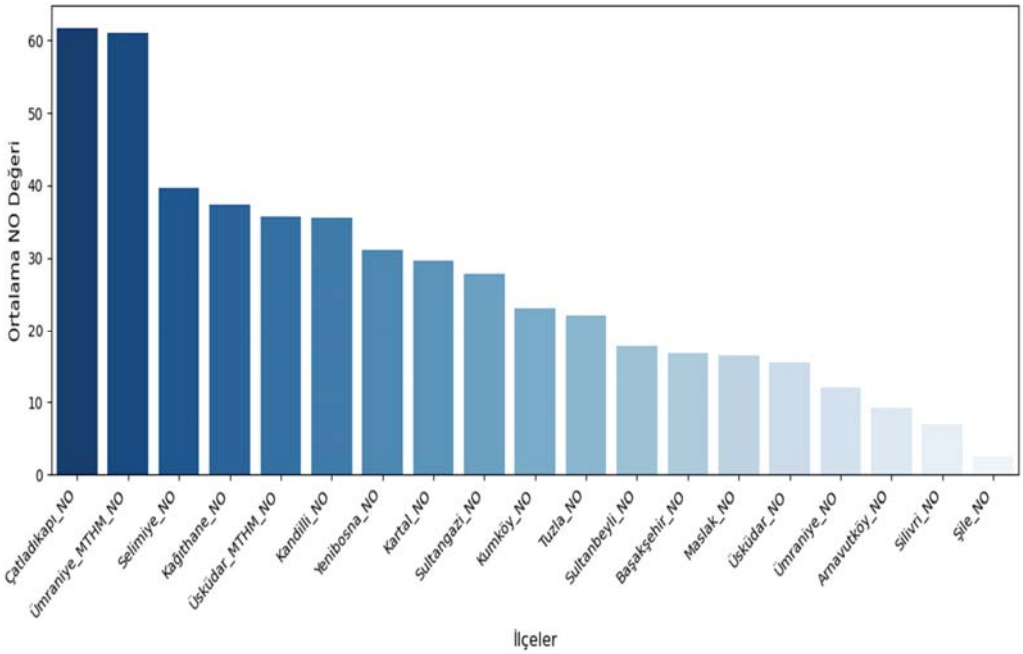
4.7 NO Zamansal ve Mekansal Değişimi

Azot monoksit (NO) konsantrasyonları, İstanbul genelinde ilçeler arasında ve zamana göre belirgin farklılıklar göstermektedir. İlçelere göre analiz edildiğinde, en yüksek NO seviyelerinin Çatladıkapı ve Ümraniye-MTHM bölgelerinde kaydedildiği gözlemlenmiştir. Bu yüksek değerler, yoğun trafik akışı, sanayi aktiviteleri ve yerel

ısınma kaynaklı emisyonlarla ilişkilendirilebilir. Şile ve Silivri gibi kırsal ve daha az sanayileşmiş bölgelerde ise NO seviyeleri oldukça düşüktür.

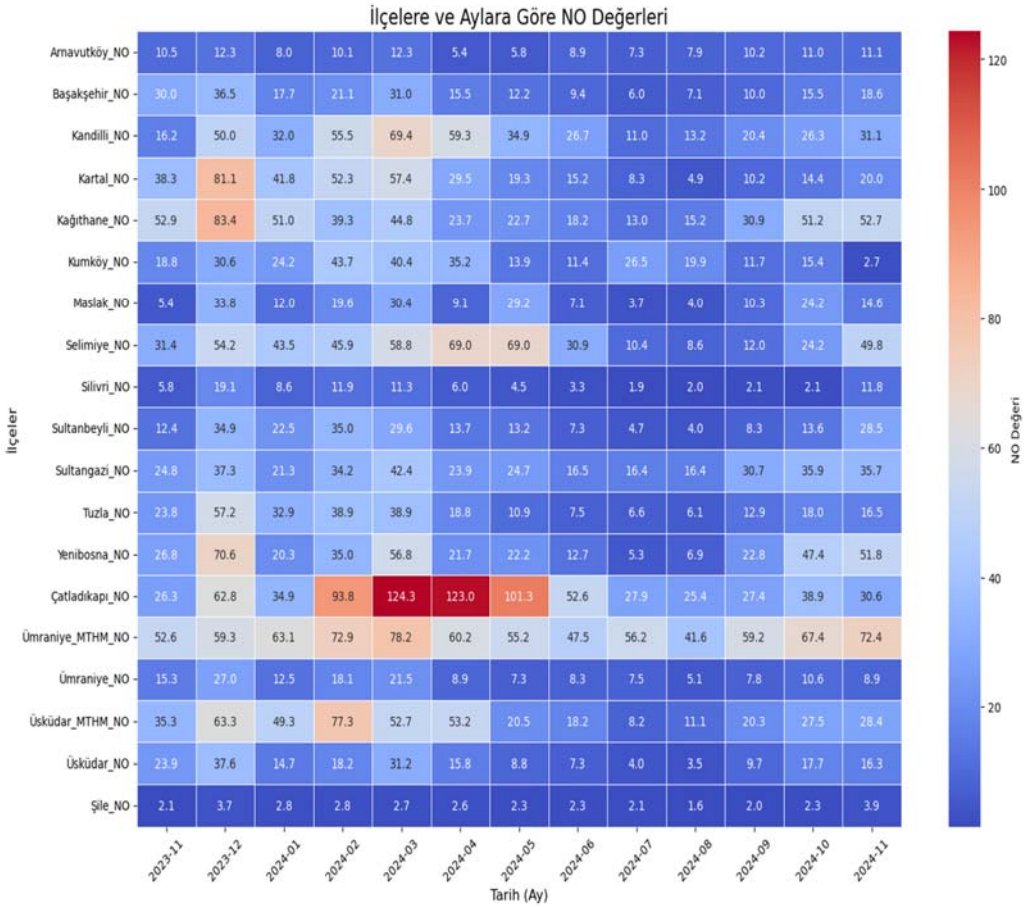
NO seviyelerindeki mekansal farklılıklar, ilçelerin trafik yoğunluğu ve sanayi faaliyetlerinden etkilenmektedir. Çatladıkapı, yoğun tarihi trafiğiyle yüksek NO seviyelerine sahiptir. Ümraniye-MTHM ve Kağıthane gibi sanayi ve yerleşim bölgelerinde de yüksek NO değerleri kaydedilmiştir. Buna karşılık, Şile ve Silivri gibi kırsal bölgelerde NO seviyeleri oldukça düşük seyretmektedir.

Grafik 4.13: İlçelere Göre Ortalama NO Değerleri.



NO konsantrasyonlarının kış aylarında (özellikle Aralık ve Ocak) arttığı görülmektedir. Bu artış, soğuk havalarda fosil yakıt kullanımının artması ve hava sirkülasyonunun azalmasıyla ilişkilidir. Çatladıkapı bölgesinde Mart ayında NO değerlerinin en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, trafik yoğunluğu ve yerel faktörlerle açıklanabilir. Yaz aylarında ise NO konsantrasyonları genel olarak daha düşük düzeydedir, bu da fosil yakıt kullanımının azalması ve atmosferin daha iyi hava sirkülasyonu sağlamasıyla ilişkilidir.

Grafik 4.14: İlçelere ve Aylara Göre NO Değerleri.



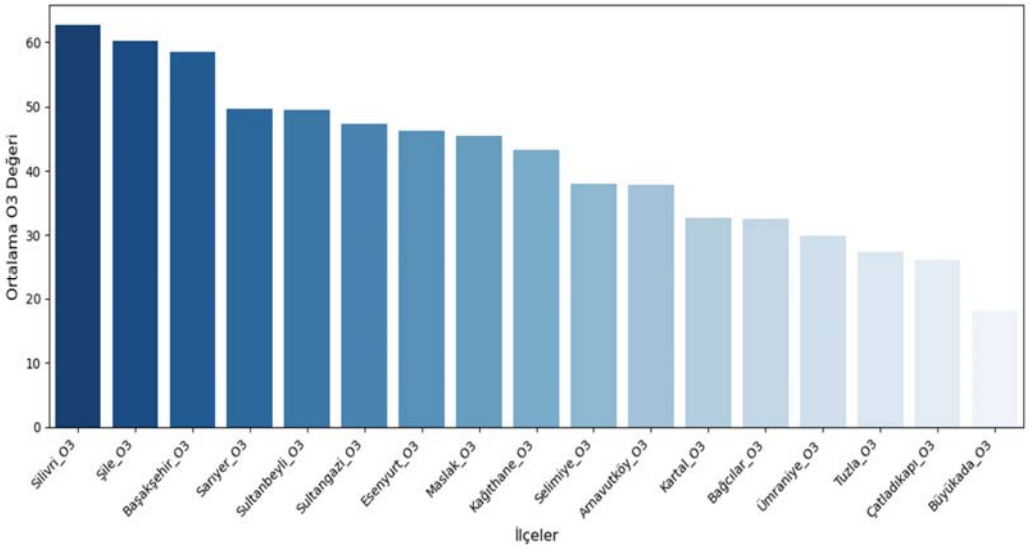
4.8 O3 Zamansal ve Mekansal Değişimi

Ozon (O3) konsantrasyonları, İstanbul genelinde hem zamansal hem de mekansal olarak önemli farklılıklar göstermektedir. İlçelere göre analiz edildiğinde, en yüksek O3 değerleri Silivri, Şile ve Başakşehir bölgelerinde gözlemlenmiştir. Bu durum, kırsal ve düşük yerleşim yoğunluğuna sahip bölgelerde ozonun daha uzun süre atmosferde kalmasıyla ilişkilendirilebilir. Öte yandan, yoğun trafik ve sanayinin bulunduğu Çatladıkapı ve Büyükada gibi bölgelerde O3 konsantrasyonları görece daha düşük seviyelerdedir.

Mekansal olarak değerlendirildiğinde, O3 konsantrasyonlarındaki farklılıklar bölgesel özelliklerden etkilenmektedir. Kırsal alanlar, örneğin Şile ve Silivri, ozon seviyelerinin yüksek olduğu bölgeler olarak öne çıkarken, şehir merkezine yakın ve

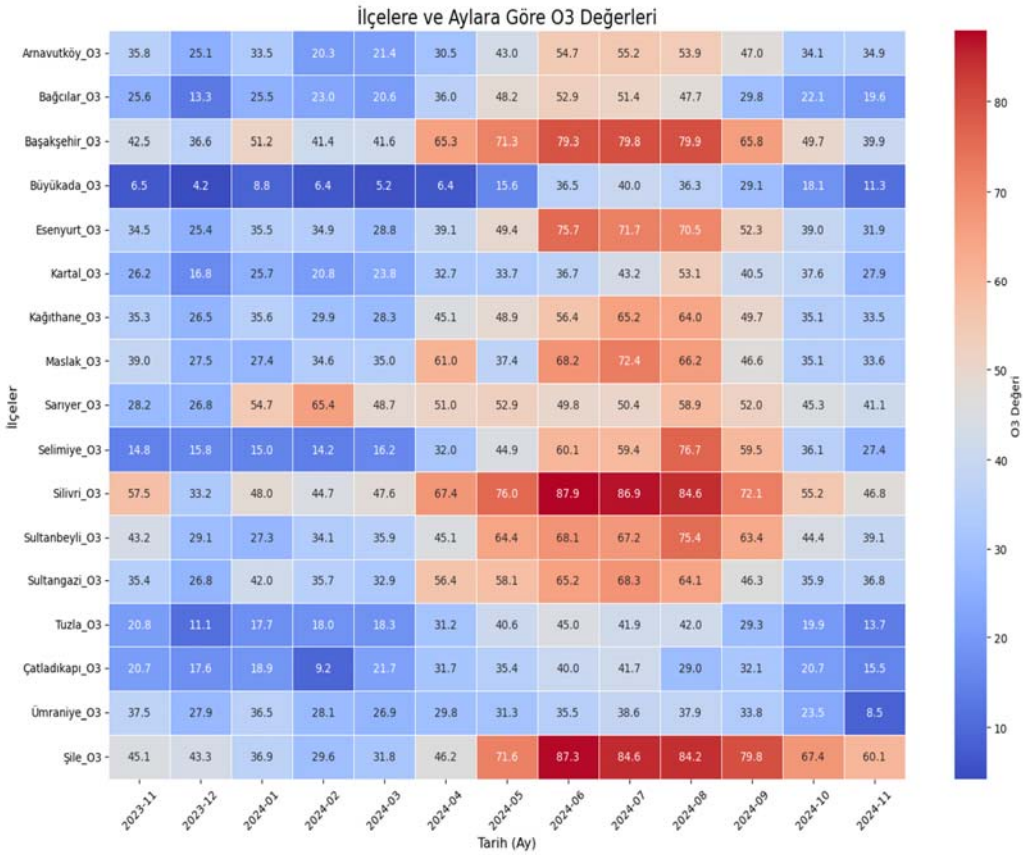
yoğun trafik bölgelerinde ozon seviyeleri daha düşüktür. Bu durum, şehir içi bölgelerde azot oksitler (NOx) gibi kirleticilerin ozon oluşumunu baskılamasıyla açıklanabilir.

Grafik 4.15: İlçelere Göre Ortalama O3 Değerleri.



O3 konsantrasyonlarının yıl boyunca belirgin bir zamansal değişim sergilediği gözlemlenmiştir. Yaz aylarında, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında, ozon seviyelerinin en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu artış, sıcaklıkların yükselmesi ve güneş ışığına bağlı olarak ozon oluşumunun hızlanmasıyla ilişkilidir. Özellikle Şile ve Silivri bölgelerinde bu aylarda ozon seviyeleri dikkat çekici şekilde yüksektir. Kış aylarında ise O3 seviyeleri, düşük sıcaklıklar ve güneş ışığının azalması nedeniyle düşüş göstermektedir.

Grafik 4.16: İlçelere ve Aylara Göre O3 Değerleri.



4.9 Korelasyon Analizi

Korelasyon matrisi, İstanbul genelinde farklı hava kirleticilerinin birbirleriyle olan ilişkilerini incelemek için önemli bilgiler sunmaktadır. Bu analiz, kirleticiler arasındaki güçlü ve zayıf bağları ortaya çıkararak kaynakların ve etkilerin daha iyi anlaşılmasına olanak tanımaktadır.

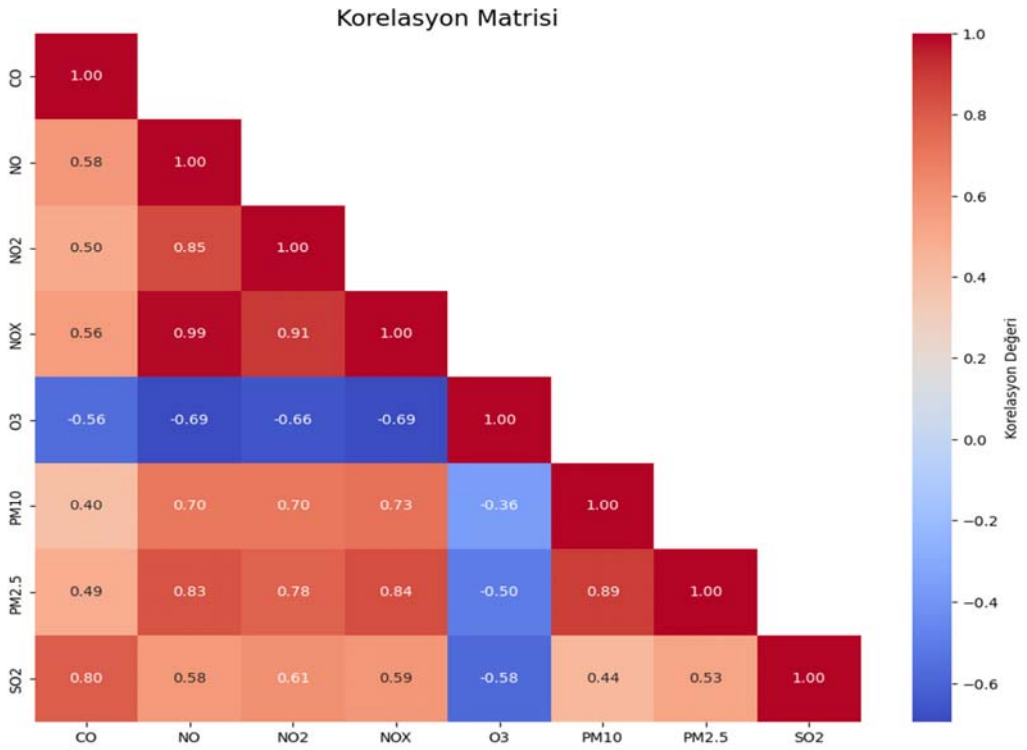
Korelasyon sonuçlarına göre, CO ve SO2 arasında 0.80 gibi yüksek bir pozitif ilişki bulunmaktadır. Bu durum, bu iki kirleticinin benzer kaynaklardan, özellikle fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel faaliyetlerden yayıldığını göstermektedir. Ayrıca, NOX ve NO arasında 0.99 gibi neredeyse mükemmel bir pozitif korelasyon vardır; bu da her iki gazın da genellikle trafik kaynaklı emisyonlardan kaynaklandığını doğrulamaktadır. Benzer şekilde, NOX ve NO2 arasında 0.91, PM10 ve PM2.5

arasında 0.89 gibi güçlü korelasyonlar, bu kirleticilerin aynı çevresel faktörlerden ve kaynaklardan etkilendiğini göstermektedir.

Diğer yandan, O3 (ozon) ile diğer kirleticiler arasında genellikle negatif bir ilişki gözlemlenmiştir. Özellikle, O3 ile NOX arasında -0.69**,** O3 ile NO2 arasında -0.66 gibi güçlü negatif korelasyonlar bulunmaktadır. Bu durum, NO ve NO2 gibi kirleticilerin ozon oluşumunu baskıladığı ve tükettiği kimyasal süreçlere işaret etmektedir. Ayrıca, PM2.5 ile O3 arasında -0.50 gibi bir negatif ilişki bulunmaktadır, bu da yoğun partikül madde bulunan bölgelerde ozon seviyelerinin baskılandığını göstermektedir.

Daha düşük korelasyon değerleri, bazı kirleticilerin farklı kaynaklardan etkilenebileceğini veya birbirlerinden bağımsız hareket edebileceğini işaret etmektedir. Örneğin, SO2 ile PM10 arasında düşük bir ilişki, bu kirleticilerin farklı kaynaklardan yayıldığını veya çevresel faktörlerden farklı şekillerde etkilendiğini göstermektedir.

Grafik 4.17: Değerlerin korelasyon matrisi.



4.10 Hava Kalitesinin Bölgesel Dağılımı

İstanbul'daki hava kalitesinin bölgesel dağılımını gösteren bu grafik, ilçeler arasındaki farklılıkları net bir şekilde ortaya koymaktadır. Hava kalitesi ortalamalarına göre, en düşük hava kalitesine sahip bölgeler arasında Mecidiyeköy, Sancaktepe ve Üsküdar-MTHM gibi yoğun nüfuslu ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu ilçeler yer almaktadır. Bu durum, yoğun trafik, sanayi kaynaklı emisyonlar ve yerleşim alanlarından kaynaklanan ısınma emisyonlarının bu bölgelerde hava kalitesini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

Buna karşılık, Şile, Silivri ve Büyükada gibi kırsal veya düşük nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerde hava kalitesi ortalamalarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde, doğal koşulların ve düşük emisyon kaynaklarının etkisiyle hava kalitesinin olumlu yönde etkilendiği anlaşılmaktadır. Özellikle Büyükada, İstanbul genelinde en iyi hava kalitesine sahip bölge olarak öne çıkmaktadır.

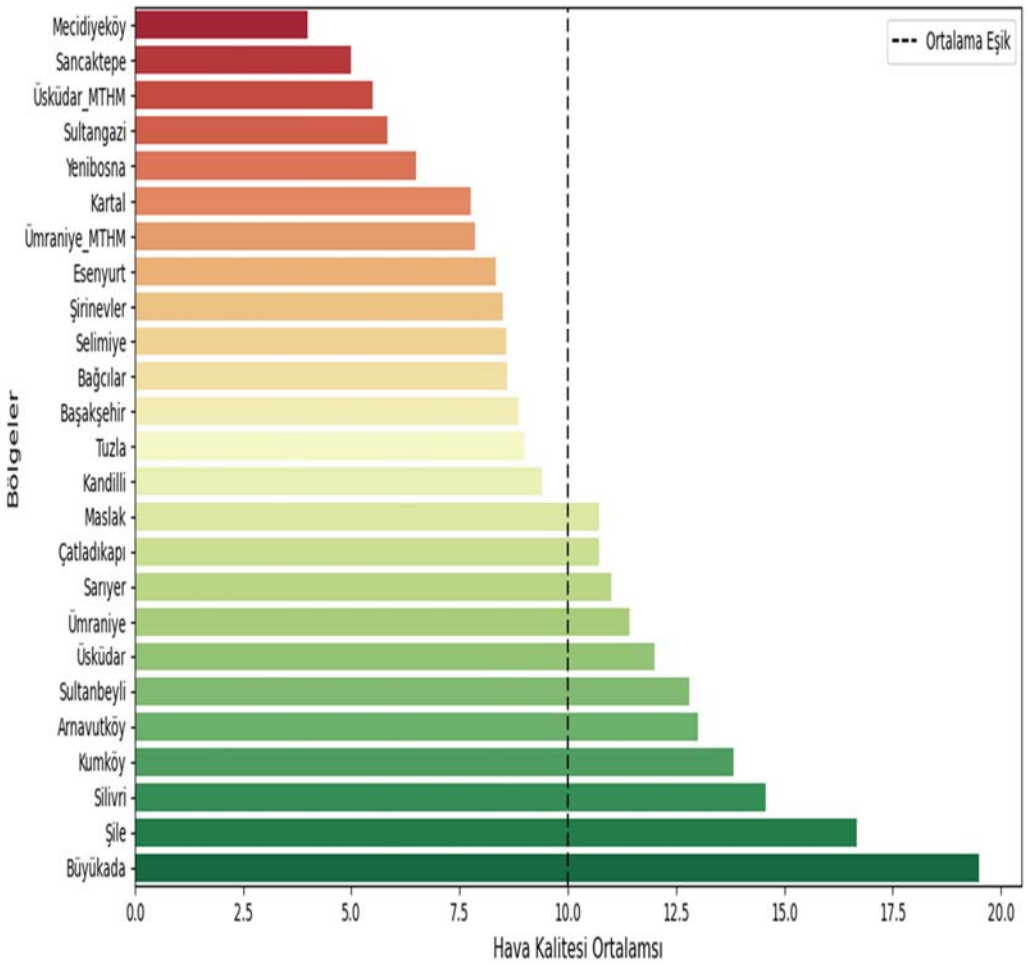
Grafikteki "ortalama eşik" çizgisi, hava kalitesinin iyileştirilmesi gereken bölgeleri tanımlamada bir referans noktası olarak kullanılabilir. Ortalama eşik değerin altında kalan bölgelerde, hava kalitesini artırmaya yönelik önlemlerin uygulanması gerekmektedir. Mecidiyeköy, Sancaktepe ve Üsküdar-MTHM gibi bölgeler, bu önlemlerin öncelikli olarak odaklanması gereken yerlerdir.

Bu bağlamda, hava kalitesinin iyileştirilmesi için önerilen stratejiler arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi, trafik emisyonlarının azaltılması için toplu taşımanın yaygınlaştırılması ve sanayi bölgelerinde daha sıkı emisyon kontrol politikalarının uygulanması bulunmaktadır. Ayrıca, yeşil alanların artırılması ve kentsel planlama süreçlerinde hava sirkülasyonunu engellemeyen yapıların teşvik edilmesi de hava kalitesini iyileştirmeye katkıda bulunacaktır.

İstanbul'daki hava kalitesinin bölgesel farklılıkları, kentsel yoğunluk, trafik ve sanayi faaliyetleri gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Doğal özellikleriyle öne çıkan kırsal alanlarda hava kalitesi daha iyi seviyelerde bulunurken, kentsel alanlarda bu değerlerin düşmesi, hava kirliliği ile mücadelede bölgesel önceliklerin belirlenmesi gerektiğini

göstermektedir. Bu analiz, yerel yönetimlerin ve politika yapıcıların, hava kalitesini artırmak için daha etkili ve hedef odaklı stratejiler geliştirmelerine olanak tanımaktadır.

Şekil 4.2: Bölgelerin hava kalitesi.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, İstanbul'daki hava kirliliğinin mekansal ve zamansal değişimi PM10 ve PM2.5 konsantrasyonları üzerinden değerlendirilmiştir. Bulgular, İstanbul'un yoğun nüfuslu ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerinde hava kirliliğinin belirgin bir sorun olduğunu ortaya koymuştur. Sultanbeyli, Esenyurt ve Sancaktepe gibi ilçelerde yüksek PM10 konsantrasyonlarının kaydedilmesi, bu bölgelerdeki sanayi faaliyetleri, yoğun trafik ve yerleşim kaynaklı emisyonların bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, literatürde büyük şehirlerde kirlilik kaynaklarının etkisinin daha yoğun görüldüğüne dair bulgularla örtüşmektedir. Bunun yanında, Şile ve Büyükada gibi düşük nüfus yoğunluğuna sahip veya kırsal özellik gösteren bölgelerde daha düşük PM10 ve PM2.5 değerlerinin ölçülmesi, doğal koşulların hava kalitesini olumlu yönde etkilediğini desteklemektedir.

Çalışmanın sonuçları, mevsimsel değişimlerin hava kalitesi üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermiştir. Kış aylarında fosil yakıtların yoğun kullanımına bağlı olarak PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarının yükseldiği, yaz aylarında ise meteorolojik faktörlerin etkisiyle bu değerlerin düştüğü gözlemlenmiştir. Özellikle Selimiye, Kartal ve Ümraniye ilçelerinde kış aylarında ölçülen yüksek PM2.5 değerleri, ısınma kaynaklı kirliliğin bu bölgelerde ciddi bir sorun olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, literatürde yer alan kış aylarında emisyonların artış gösterdiği ve partikül madde konsantrasyonlarının sınır değerlerin üzerine çıktığına dair çalışmaları desteklemektedir. Yaz aylarında ise rüzgar ve yağış gibi doğal faktörlerin partikülleri dağıtarak hava kalitesini iyileştirdiği görülmüştür. Bu durum, hava kirliliğinin mevsimsel değişimlere oldukça duyarlı olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada kullanılan veri seti, mevcut ölçüm istasyonlarından elde edilmiş olup, bazı bölgelerdeki kirlilik kaynaklarının tam olarak analiz edilebilmesini sınırlamaktadır. Ayrıca, verilerin kısa bir zaman dilimini kapsaması, uzun vadeli değişimlerin analiz edilmesini kısıtlamaktadır. Buna karşın, analizlerde kullanılan veri seti, İstanbul'un hava kirliliği sorunlarını genel hatlarıyla anlamak için yeterli bir temel sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar için daha kapsamlı ve uzun vadeli veri setlerinin kullanılması önerilmektedir. Özellikle kırsal ve kentsel bölgeler arasındaki farkların daha iyi anlaşılabilmesi için daha geniş bir ölçüm ağına ihtiyaç

duyulmaktadır. Bunun yanı sıra, meteorolojik verilerin daha detaylı bir şekilde analize dahil edilmesi, kirliliğin taşınım yollarının ve kaynaklarının daha iyi belirlenmesine olanak sağlayabilir.

İstanbul'un hava kirliliği sorunlarına yönelik çözüm önerileri, çalışmada elde edilen bulgulara dayanarak geliştirilmiştir. Öncelikli olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, fosil yakıtların kullanımını azaltarak hava kirliliğinin düşürülmesine katkı sağlayacaktır. Sanayi bölgelerinde emisyon kontrollerinin sıkılaştırılması ve yerel yönetimlerin bu konuda daha etkin politikalar geliştirmesi gerekmektedir. Trafik kaynaklı kirliliğin azaltılması için ise toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi, özel araç kullanımının sınırlandırılması ve bisiklet yollarının artırılması gibi çözümler önerilmektedir. Ayrıca, kentsel planlama süreçlerinde meteorolojik faktörlerin dikkate alınması, rüzgar akışını engelleyen yapılaşmalardan kaçınılması ve yeşil alanların artırılması önemlidir. Özellikle yeşil alanların, hava kirliliğini emme ve temizleme kapasitesi düşünüldüğünde, şehir genelinde artırılması büyük önem taşımaktadır.
Bu çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, İstanbul'da hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin detaylı olarak incelenmesi gerektiğidir. PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarının özellikle kronik solunum yolu hastalıkları ve kardiyovasküler rahatsızlıklar üzerinde doğrudan etkili olduğu literatürde sıkça vurgulanmaktadır. İstanbul özelinde yapılacak detaylı sağlık etki çalışmaları, hava kirliliği ile mücadelede önceliklerin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra, halkın hava kirliliği konusunda bilinçlendirilmesi ve bireysel katkıların artırılması için eğitim ve farkındalık kampanyalarının düzenlenmesi önerilmektedir. Kamu kuruluşları, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve üniversiteler arasında daha güçlü bir iş birliği, hava kirliliği ile mücadelede başarı sağlanmasında kritik bir rol oynayacaktır.

Bu çalışma, İstanbul'daki hava kirliliği sorunlarının mekansal ve zamansal dinamiklerini anlamak için önemli bir veri sağlamıştır. Hava kirliliğinin temel kaynakları ve etkilerinin daha detaylı analiz edilmesi için daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, hava kirliliği ile sağlık etkileri arasındaki ilişkinin detaylı bir şekilde incelenmesi, küresel iklim değişikliği

etkilerinin değerlendirilmesi ve sanayi, ulaşım ve ısınma kaynaklı kirliliğin birbirinden ayrıştırılarak analiz edilmesi önem arz etmektedir. İstanbul'un hava kalitesini artırmak ve halk sağlığını korumak için politika yapıcıların, akademik kurumların ve toplumun tüm kesimlerinin iş birliği içinde hareket etmesi büyük bir gerekliliktir. Bu doğrultuda atılacak her adım, gelecek nesillere daha yaşanabilir bir şehir bırakma hedefine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Aguilera, M., 2022. Konya, Kosova mahallesin de ki PM kirlilik dağılımının CBS ile modellenmesi ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Analitis, A., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Samoli, E., Nikoloulopoulos, A. K., Petasakis, Y., Touloumi, G., Schwartz, J., Anderson, H. R., Cambra, K., Forastiere, F., Zmirou, D., Vonk, J. M., Clancy, L., Kriz, B., Bobvos, J. ve Pekkanen, J., 2006. Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality, Epidemiology, 17, 2, 230-233.

Aslan, O., Akyürek, Ö., 2018. Spatial Modelling of Air Pollution from PM10 and SO2 concentrations during Winter Season in Marmara Region: 2013-2014, International Journal of Environment and Geoinformatics, 5, 1-16.

Barnett, A. G., Williams, G.M., Schwartz, J., Neller, A. H., Best, T. L., Petroeschevsky, A. L. ve Simpson, R. W., 2005. Air pollution and child respiratory health a case-crossover study in Australia and New Zealand, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 171, 11.

Çapraz, Ö., 2013. İstanbul'da 2007-2012 yılları arasında hava kirliliğinin ölümler üzerindeki etkilerinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023. Türkiye ve Çevresi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri 2003-2022.

Çıldır, İ., Mutlu, A., 2022. Balıkesir'de hava kirliliği seviyelerinin meteorolojik parametrelere bağlı olarak solunum yolu hastalıkları üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Domingo, J. L. ve Rovira, J., 2020. Effects of air pollutants on the transmission and severity of respiratory viral infections, National Library of Medicine, 187, 109650.

Erdoğan, Ş., 2019. Organize sanayi bölgesi dış ortam PM10 konsantrasyonunun coğrafi bilgi sistemi ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Fallahizadeh, S., Kermani, M., Esrafili, A. ve Asadgol, Z., 2021. The effects of meteorological parameters on PM10: Health impacts assessment using AirQ+ model and prediction by an artificial neural network (ANN). Urban Climate, 38, 100905.

Guan, W.-J., Zheng, X.-Y., Chung, K.F., Zhong, N.-S., 2016. Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in China: time for urgent action, Lancet, 388, 1939-1951.

Gümüş, O., 2019. Marmara Bölgesi Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekânsal Değişiminin İstatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 68.

Hadei, M., Hopke, P. K., Shahsavani, A., Jahanmehr, N., Rahmatinia, M., Farhadi, M., Yarahmadi, M. ve Kermani, M., 2020. Mortality and morbidity economic burden due to PM2.5 and ozone: An AirQ+ modelling in Iran, Journal of Air Pollution and Health, 5(1), 1-10.

Henschel, S., Le Tertre, A., Atkinson, R.W., Querol X., Pandolfi M., Zeka A., Haluza D., Analitis A., Katsouyanni K., Bouland C., Pascal M., Medina S., Goodman P.G., 2015. Trends of nitrogen oxides in ambient air in nine European cities between 1999 and 2010, Atmospheric Environment, 117, 234-241.

Jaferi, A. J., Charkhloo, E. ve Pasalari, H., 2021. Urban air pollution control policies and strategies: a systematic review, Journal of Environmental Health Science and Engineering, 19, 1911–1940.

Kalıpcı, E. ve Başer, V., 2019. Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve hava kalitesi verileri kullanılarak Türkiye'nin hava kirliliğinin değerlendirilmesi, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 377-389.

Kasparoglu, S., Incecik, S., Topcu, S., 2018. Spatial and temporal variation of O3, NO and NO2 concentrations at rural and urban sites in Marmara Region of Turkey, Atmospheric Pollution Research, 9, 1009-1020.

Kurt, Ö., Zhang, J., ve Pinkerton, K. E., 2016. Pulmonary health effects of air pollution, Curr Opin Pulm Med., 22(2), 138-143.

Latzin, P., Röösli, M., Huss, A., Kuehni, C. E. ve Frey, U., 2009. Air pollution during pregnancy and lung function in newborns: a birth cohort study, European Respiratory Journal, 33, 594-603.

Leili, M., Farshad, B. A., Reza, J. ve Dehhar, A., 2023. Mortality and morbidity due to exposure to ambient air PM10 in Zahedan city, Iran: The AirQ+ model approach, Urban Climate, 49, 101493.

Li, H., Shijun, Y., Huan, Z., Wandong, Z. ve Lanjun, Z., 2019. Analysis of the impacts of heating emissions on the environment and human health in North China, Journal of Cleaner Production, 207, 728-742.

Meftun, A., Türkyılmaz, A., 2022. Kastamonu Şehir Merkezinin Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 220.

Murray, C. J. L., 2020. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019, Lancet, 396, 1204-1222.

Riggs, D. W., Zafar, N., Krishnasamy, S., Yeager, R., Rai, S. N., Bhatnagar, A. ve O'Toole, T. E., 2021. Exposure to airborne fine particulate matter is associated with impaired endothelial function and biomarkers of oxidative stress and inflammation, Environ Res., 180, 108890.

Santus, P., Russo, A., Madonini, E., Allegra, L., Blasi, F., Centanni, S., Miadonna, A., Schiraldi, G. ve Amaducci, S., 2012. How air pollution influences clinical management of respiratory diseases. A case-crossover study in Milan, Respiratory Research, 13, 95, 2-12.

Song, C., Wu, L., Xie, Y., He, J., Chen, Xi., Wang, T., Lin, Y., Jin, T., Wang, A., Liu, Y., Dai, Q., Liu, B., Wang, Y., Mao, H., 2017. Air pollution in China: Status and spatiotemporal variations, Environmental Pollution, 227, 334-347.

T.C. Resmî Gazete, Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği. (26898), 06.06.2008, 5-14.

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2021. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları.
Vural, E., 2021. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin CBS kullanarak hava kalitesinin mekânsal değişiminin incelenmesi (2007-2019), Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 124-135.

WHO, International Agency for Research on Cancer (IARC), 2013. Publication no. 161, Air Pollution and Cancer, France.

(URL 1): https://www.mevzuat.gov.tr/

(URL 2): https://sim.csb.gov.tr/#page-top

(URL 3): https://www.env-health.org/

(URL 4): https://www.temizhavahakki.org/kararapor2022/

(URL 5): https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210

(URL 6): https://cografya.sitesi.web.tr/haritalar/bos-haritalar/bos-turkiye-haritasi-5/

(URL 7): http://www.istanbul.gov.tr/

(URL 8): https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Turkey_Istanbul_location_map.svg

(URL 9): https://havakalitesi.ibb.gov.tr/

(URL 10): https://mthmm.csb.gov.tr/hava-kalitesi-olcum-istasyonlarimiz-i-85693

(URL 11): https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew