



**HAVA KALİTESİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİNDE FARKLI  
YÖNTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ**

**2023  
DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Hasan ÖZSOY**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN**

**HAVA KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE FARKLI  
YÖNTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Hasan ÖZSOY**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Doktora Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Şubat 2023**

Hasan ÖZSOY tarafından hazırlanan “HAVA KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE FARKLI YÖNTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN .....  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 16/02/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. Kâmil ARSLAN (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sevinç ŞENGÖR (ODTÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Hasan ÖZSOY

## **ÖZET**

**Doktora Tezi**

### **HAVA KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE FARKLI YÖNTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Hasan ÖZSOY**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN**

**Şubat 2023, 108 sayfa**

Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin havadaki konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak ölçülmesi ve oluşturulan serilerin analiz edilmesi, hava kirliliğine karşı önlemler alınabilmesi açısından son derece önemlidir. Ayrıca atmosfer kirliliğinin kontrol edilebilmesi için kirlilik takibinde teknolojinin kullanılması gereklidir. Bu amaçla çalışmada, arduino tabanlı ekipmanlar ve yazılımlar geliştirilerek, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve VOC konsantrasyon değerleri, üretilecek elektronik cihazlar vasıtasıyla, anlık, koordinata bağlı, noktasal kaynaklı mekân tabanlı olarak ölçülmüştür. Ülkemizde üretimi olmayan hava kirliliği ölçüm cihazları, arduino tabanlı mikrodenetleyici cihazlar ve elektronik sensörler kullanılarak üretilmiştir.

Çalışmanın en önemli amacı, aletin üretilmesinden daha çok, hava kirliliği değerlerinin, ilgili aletler ile ölçülerek, belirlenen çalışma alanı için çoklu kirlilik haritalarının oluşturulmasıdır. Ekipman, koordinata bağlı hava kirliliği konsantrasyon

değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Bu sayede bölgesel ve noktasal nitelikte çok değerli olan, kirlilik konsantrasyon değerlerine bağlı veriler kullanılarak, kirlilik haritaları üretilmiştir. Ülkemizde şehirlerde hava kirliliği ölçüm istasyonları ile alınan ölçüm sonuçları sadece ilgili ölçüm noktalarını temsil etmektedir. Mevcut veriler kullanılarak hiçbir şehir için detaylı kirlilik haritaları oluşturulamamaktadır. Kirlilik parametre sayısı birçok istasyonda PM ve SO<sub>2</sub> ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen taşınabilir ekipmanlar ile önceden yerleri belirlenen minimum 50 nokta için SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve VOC kirlilik parametreleri 1 yıl boyunca Mayıs 2021 tarihinden, Haziran 2022 tarihine kadar ölçülmüştür.

Bu ölçüm değerleri ile hem zamana bağlı, hemde mekânsal kirlilik haritaları elde edilmiştir. Ekipmanların çoklu ve eş zamanlı kullanımı ile aynı anda birçok noktada kirlilik değerleri ölçülmüştür. Bu kapsamda kirlilik değerlerinin yanında, kirlilik taşınım, kirlilik difüzyon ve atmosferik etkilerin de Karabük ilinin atmosfer kirliliğini nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Kış mevsiminde hanelerden kaynaklanan emisyonların kirletici konsantrasyonlarını %50'den fazla değiştirmedeği sonucuna varılabilmektedir. Karabük ilinde sürekli emisyonlar nedeniyle sanayi en etkin kirletici kaynağıdır. Ancak ulaştırma kaynaklı emisyonlar ve hanelerden kaynaklanan emisyonlar Safranbolu'daki bazı ölçüm noktalarında, sanayiden daha fazla kirlilik yaratabilmektedir. Haritalar kirlilik konusunda net bilgiler vermiştir.

Çalışma sadece ulusal boyuttaki hava kirliliği çalışmalarına değil, Ülkemizin taraf olduğu kirlilik ve iklim değişikliği konularındaki uluslararası anlaşmalara da oldukça önemli bir destek sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma kesikli olmasına rağmen, farklı ölçüm noktalarında eş zamanlı çoklu parametre ölçümüne dayanması sebebiyle sadece Ülkemizde değil, uluslararası bilim alanında da ilk olma özelliği taşımaktadır. Çoklu ölçümler olarak nitelendirilen bu bazda çalışmalar yapılarak, kirlilik haritaları daha önce çalışılmamıştır. Söz konusu çalışma sonuçları, bilimsellik, çevresel boyut ve ekonomik olarak, Ülkemize büyük bir katma değer sağlayacaktır. Çalışma kapsamı Karabük ili için sınırlandırılmıştır. Yöntem, hava kirletici konsantrasyonlarının net olarak tespiti için her şehre ve ilçeye uygulanabilecektir.

**Anahtar Sözcükler :** Arduino, Çoklu Hava Kirliliği Ölçümü, CBS Haritalama,  
İstatistiksel Analiz

**Bilim Kodu** : 91408

## **ABSTRACT**

**Ph. D. Thesis**

### **THE ANALYSIS OF AIR QUALITY WITH THE DIFFERENT METHODS**

**Hasan ÖZSOY**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Ali CAN**

**February 2023, 108 pages**

In order to prevent air pollution, it was crucial to monitor the concentrations of pollutants that cause it in the air as a time series and to analyse the resulting series. Additionally, the use of technology in atmospheric pollution control was necessary. In this study, Arduino-based equipment and software were developed, and the instantaneous, coordinate-dependent, point and location-based air pollution concentrations of SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and VOC were determined. Air pollution measuring devices, which are not produced in our country, are produced using Arduino-based microcontroller devices and electronic sensors.

The most important aim of this study is to determine the air pollutant concentration values of the study area to produce multiple pollution maps utilizing produced equipment. The equipment provided the production of coordinated base air pollution concentration values. Thus, pollution maps were produced using these values, which were valuable in regional and local consideration. In our country, only the pertinent



points were represented by the outputs of air pollution monitoring stations in cities. Detailed pollution maps cannot be created for any province from the available information. The number of pollution parameters was limited to PM and SO<sub>2</sub> in many stations. The study's portable equipment was used to measure the pollutants SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> and VOC over a year, from May 2021 to June 2022 for a minimum of 50 points determined in advance.

The time and spatial pollution maps were obtained by using these measured values. By using multiple equipment, the pollutant concentrations were measured simultaneously at multiple points. Along with pollution values, the atmosphere of Karabuk province was also assessed for pollution convection, pollution diffusion, and atmospheric effects. According to the study, residential emissions do not change pollutant concentrations by more than 50% over the winter season. Due to continuous emissions, the industry was the most effective source of pollutants in Karabuk province. However, at some measuring sites in Safranbolu, residential and transportation emissions may produce more pollution than industry. The maps provided detailed pollution information.

This study will provide very important support not only for national air pollution studies but also for air pollution and climate change studies within the scope of international agreements of Turkey as a party. Although the study was intermittent, it is the first of its kind in the domestic and international scientific community due to its bases on simultaneous multi-parameter measurement at several locations. Pollution maps had not been created before on this basis describing as multiple measurements. The results of this study will contribute our country in terms of scientific, environmental, and economic aspects. The scope of this study was limited to Karabuk province. However, the method is encouraged to be applied to every city and district for determining the net concentrations of air pollutants.

**Key Word** : Arduino, Multiple Air Pollution Measurement, GIS Mapping, Statistical Analysis

**Science Code** : 91408

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimime farklı bir alanda başlama cesaretini gösterebilmemin mimarı, nereye gideceğimi bilmediğim zamanlarda tecrübesiyle yolumu aydınlatan, kendisinden her zaman feyz aldığım, özellikle tanıştığımız günden beri iyi niyetini, yol göstericiliğini, samimiyetini esirgemeyen, bana her anlamda destek olan çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN'a sonsuz teşekkür ederim.

2012 yılında lisans bitirme projesi vesilesi ile tanıştığım, akademik hayatı bana sevdiren, bu yolda rehberlik eden çok değerli hocam Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ'e bana kattıkları ve emekleri için ayrıca teşekkür ederim.

Değerli Hocalarım Prof. Dr. İlhan CEYLAN ve Prof. Dr. Kâmil ARSLAN'a, tezime verdikleri değerli katkı ve yönlendirici bilgiler için teşekkür ederim.

Beni her zaman ve her koşulda destekleyen ailem, annem Güler ÖZSOY, babam Şenol ÖZSOY, kardeşim Tuğçe ÖZSOY ve abim Sercan ÖZSOY'a teşekkür ederim.

Beni kendi oğulları gibi seven ve her zaman destek olan ikinci ailem teyzem Gülşen GÜR ve rahmetli eniştem Muharrem GÜR'e teşekkür ederim.

Çocukluğumun her döneminde yanımda olan, beni yetiştiren, hayata hazırlayan ve karakter gelişimimde büyük payı olan babannem Fevziye ÖZSOY ve dedem Hasan ÖZSOY'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince bana sürekli destek olan ve beni motive eden değerli arkadaşlarım Neslin HASAR-OCAK'a ve Üzeir DOĞAN'a teşekkür ederim.

Bu alışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FDK-2020-2352 ve Proje Numarası: KBÜBAP-21-DS-084).

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1 GENEL.....	3
2.1.1. Dünyada Hava Kirliliği Çalışmaları .....	5
2.1.2. Türkiye’de Hava Kirliliği Çalışmaları.....	7
2.2. HAVA KİRLİTİCİ PARAMETRELER .....	8
2.2.1. Karbonmonoksit (CO) .....	8
2.2.2. Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ).....	9
2.2.3. Metan (CH <sub>4</sub> ).....	9
2.2.4. Azot Dioksit (NO <sub>2</sub> ).....	9
2.2.5. Ozon (O <sub>3</sub> ).....	10
2.2.6. Partiküler Maddeler (PM).....	10
2.2.7. Kükürtdioksit (SO <sub>2</sub> ).....	11
2.2.8. Uçucu Organik Bileşikler (VOC) .....	11
2.3. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI .....	12
2.3.1. Yakıt Tüketiminden Kaynaklanan Kirlilik .....	12

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3.2. Sanayiden Kaynaklanan Kirlilik.....	13
2.3.3. Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Kirlilik .....	14
2.3.4. Atık .....	14
2.4. METEOROLOJİK ETKİLER.....	14
2.4.1. Rüzgâr.....	15
2.4.2. Sıcaklık .....	15
2.4.3. Basınç .....	15
2.4.4. Nem.....	16
2.4.5. İncersiyon .....	16
2.4.6. Karışım Yüksekliği.....	17
2.5. HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜMÜ .....	17
2.5.1. Hava Kirliliği Ölçüm Aletleri.....	18
2.5.1.1. Ticari Ölçüm Aletleri.....	18
2.5.1.2. Üretimi Yapılan Aletler .....	18
BÖLÜM 3 .....	20
MATERYAL VE METOT .....	20
3.1. ÖLÇÜM CİHAZININ ÜRETİMİ .....	21
3.1.1. Arduino Donanımı ve Yazılımı .....	23
3.1.2. Arduino Mega.....	26
3.1.3. Gaz Sensörleri.....	26
3.2. KİRLİLİK VERİLERİNİN TOPLANMASI.....	28
3.3. VERİ TABANLARI VE ANALİZLERİ .....	29
3.4. ÖLÇÜM VERİLERİNİN YEREL ÖLÇÜM İSTASYONU VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	37
3.5. KİRLİLİK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI .....	38
BÖLÜM 4 .....	40
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	40
4.1. GENEL.....	40

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2. ÖLÇÜM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	42
BÖLÜM 5 .....	64
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	64
KAYNAKLAR .....	67
EK AÇIKLAMALAR A. ....	80
GÜNLÜK VE SAATLİK KİRLİLİK KONSANTRASYONLARI .....	80
EK AÇIKLAMALAR B. ....	87
ÖLÇÜM NOKTALARININ ORTALAMA KİRLİLİK DEĞERLERİ.....	87
EK AÇIKLAMALAR C. ....	94
İSTATİSTİKSEL ANALİZLER VE SONUÇLARI .....	94
EK AÇIKLAMALAR D. ....	101
KİRLİLİK HARİTALARI .....	101
ÖZGEÇMİŞ .....	108

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Çalışmanın metodolojik yaklaşımları. ....	21
Şekil 3.2. Ölçüm cihazının genel akış şeması. ....	22
Şekil 3.3. Arduino IDE genel görünümü. ....	25
Şekil 3.4. Arduino mega mikrodenetleyici kartı. ....	26
Şekil 3.5. Gaz sensörlerinin çalışma prensibi. ....	27
Şekil 3.6. Kızılötesi sensör çalışma prensibi. ....	28
Şekil 4.1. Ölçüm verilerinin istasyon verileri ile karşılaştırılması. ....	41
Şekil 4.2. Karabük ili için kirlilik parametrelerinin aylık ortalamaları. ....	43
Şekil 4.3. Karabük ili için günlük sıcaklık (°C) ve nem (%) değişimleri. ....	44
Şekil 4.4. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Şubat 2022). ....	45
Şekil 4.5. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Şubat 2022). ....	47
Şekil 4.6. Kirletici parametreler arasındaki ilişkiler. ....	48
Şekil 4.7. Safranbolu ilçesinde yüksek ilişkili parametreler. ....	50
Şekil 4.8. Atmosfer sıcaklığının kirlilik parametreleri üstündeki etkisi. ....	53
Şekil 4.9. Atmosfer nem oranının kirlilik parametreleri üstündeki etkisi. ....	54
Şekil 4.10. Atmosfer basıncının kirlilik parametreleri üstündeki etkisi. ....	55
Şekil 4.11. Şubat ve Haziran ayları için SO <sub>2</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması. .	56
Şekil 4.12. Şubat ve Haziran ayları için CO <sub>2</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması. .	57
Şekil 4.13. Şubat ve Haziran ayları için CO kirlilik haritalarının karşılaştırılması. ..	58
Şekil 4.14. Şubat ve Haziran ayları için CH <sub>4</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması. .	59
Şekil 4.15. Şubat ve Haziran ayları için NO <sub>x</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması. .	60
Şekil 4.16. Şubat ve Haziran ayları için O <sub>3</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması. ....	60
Şekil 4.17. Şubat ve Haziran ayları için PM <sub>2,5</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması. .	61
Şekil 4.18. Şubat ve Haziran ayları için VOC kirlilik haritalarının karşılaştırılması. .	62
Şekil Ek A.1. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Ocak 2022). ....	81
Şekil Ek A.2. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Şubat 2022). ....	82

## **Sayfa**

Şekil Ek A.3. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Mart 2022). .....	83
Şekil Ek A.4. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Nisan 2022). .....	84
Şekil Ek A.5. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Mayıs 2022). .....	85
Şekil Ek A.6. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Haziran 2022). .....	86
Şekil Ek B.1. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Ocak 2022). .....	88
Şekil Ek B.2. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Şubat 2022). .....	89
Şekil Ek B.3. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Mart 2022). .....	90
Şekil Ek B.4. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Nisan 2022). .....	91
Şekil Ek B.5. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Mayıs 2022). .....	92
Şekil Ek B.6. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Haziran 2022). .....	93
Şekil Ek D.1. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Ocak 2022). .....	102
Şekil Ek D.2. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Şubat 2022). .....	103
Şekil Ek D.3. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Mart 2022). .....	104
Şekil Ek D.4. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Nisan 2022). .....	105
Şekil Ek D.5. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Mayıs 2022). .....	106
Şekil Ek D.6. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Haziran 2022). .....	107



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Arduino türleri. ....	24
Çizelge 3.2. Kirlilik ölçümünde kullanılan gaz sensörlerinin özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. Karabük ili yerel istasyonlarında ölçülen parametreler. ....	37
Çizelge 4.1. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Şubat 2022).....	51
Çizelge 4.2. Belirsizlik analizleri. ....	52
Çizelge Ek C.1. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Ocak 2022). ....	95
Çizelge Ek C.2. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Şubat 2022). ....	96
Çizelge Ek C.3. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Mart 2022). ....	97
Çizelge Ek C.4. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Nisan 2022). ....	98
Çizelge Ek C.5. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Mayıs 2022). ....	99
Çizelge Ek C.6. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Haziran 2022). ....	100

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

a	: eğim
atm	: açık hava basıncı
b	: kesim
c	: sabit (gerçek sayı)
CH <sub>4</sub>	: metan
CO	: karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: karbon dioksit
HC	: hidrokarbonlar
H <sub>2</sub> O	: su
H <sub>2</sub> S	: hidrojen sülfür
$\overline{\ln X}$	: logaritmik bağımsız değişken ortalaması
$\overline{\ln Y}$	: logaritmik bağımlı değişken ortalaması
M	: orta aralık
MHz	: megahertz
n	: gözlem sayısı
N <sub>2</sub>	: azot
NH <sub>3</sub>	: amonyak
N <sub>k</sub>	: noktaların yükseklik değeri
N <sub>p</sub>	: P noktasının istenilen yükseklik değeri
NMVOC	: metan olmayan uçucu organik bileşikler
NO	: azot monoksit
NO <sub>2</sub>	: azot dioksit
NO <sub>x</sub>	: azot oksitler
N <sub>2</sub> O	: azot oksit
O <sub>2</sub>	: oksijen
O <sub>3</sub>	: ozon

$p$	: medyan değeri
$P_k$	: P noktasının ağırlık değeri
$PM_{2,5}$	: çapı 2,5 $\mu$ ve daha küçük olan partiküler madde
$PM_{10}$	: çapı 10 $\mu$ ve daha küçük olan partiküler madde
$Q_1$	: alt çeyrek
$Q_2$	: orta yarım
$Q_3$	: üst çeyrek
$R$	: aralık
$R^2$	: R kare değeri
$S$	: standart sapma
$s^2$	: varyans
$SO_2$	: kükürt dioksit
$SO_3$	: kükürt trioksit
$U_k$	: gözlem değeri
$V_k$	: sabitlenmiş değer
VOC	: uçucu organik bileşikler
$\bar{X}$	: ortalama bağımlı değişken
$\bar{X}_G$	: geometrik ortalama
$\bar{X}_H$	: harmonik ortalama
$\bar{X}_{IQM}$	: çeyrekler arası ortalama
$X_k$	: gözlemlenen değer (bağımsız değişken)
$\bar{X}_M$	: ortalama değer
$X_{max}$	: maksimum değer
$X_{min}$	: minimum değer
$X_{RMS}$	: kök kare ortalama
$\bar{X}_{TM}$	: kırpma ortalaması
$\bar{X}_{Tri}$	: üç ortalama
$\bar{X}_{Win}$	: Winsorized ortalama
$\bar{Y}$	: ortalama bağımsız değişken
$Y_k$	: bağımlı değişken

## KISALTMALAR

AAD	: Average Absolute Deviation (Ortalama Mutlak Sapma)
ADK	: Accessory Development Kit (Aksesuar Geliştirme Kiti)
BT	: Bluetooth (Bluetooth)
CLARA	: Clustering Large Applications (Büyük Uygulamaları Kümeleme)
CV	: Coefficient of Variation (Varyasyon Katsayısı)
AERMOD	: American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model (Amerikan Meteoroloji Derneği/Çevre Koruma Kurumu Düzenleme Modeli)
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read Only Memory (Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Örgütü)
GIS	: Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
IDE	: Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)
ISCST3	: Industrial Source Complex Short Term (Endüstriyel Kaynak Kompleksi Kısa Süreli)
KU	: Kurtosis (Basıklık)
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MAD	: Median Absolute Deviation (Medyan Mutlak Sapma)
MD	: Mean Difference (Ortalama Fark)
PAM	: Pulse Amplitude Modulation (Darbe Genliği Modülasyonu)
PID	: Proportional Integral Derivative (Oransal İntegral Türev)
QD	: Quartile Dispersion (Çeyrek Dağılımı)
RMD	: Relative Mean Difference (Bağıl Ortalama Fark)
SD kart	: Secure Digital Memory Card (Güvenli Dijital Hafıza Kartı)
SE	: Standard Error (Standart Hata)
SEM	: Standard Error of Mean (Ortalamanın Standart Hatası)
SK	: Skewness (Çarpıklık)
SMD	: Surface Mount Device (Yüzey Montaj Cihazı)

SRAM : Static Random Access Memory (Statik Rastgele Erişim Belleği)  
SSE : Sum of Squares of the Residual Error (Hata Kare Toplamı)  
SST : Treatment Sum of Squares (Düzeltme Kare Toplamı)  
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Hava kirliliğindeki artış ile birlikte hava kalitesinin değişiminin takip edilmesi önem kazanmıştır. Atmosferin doğal yapısının korunması en önemli amaç olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. İnsanoğlunun kendi refahı için durmaksızın emisyon üretiminden dolayı atmosfer kirlenmekte ve geleceği tehdit etmektedir. Kirleticilerin insan sağlığına olan etkisi kirletici parametrelerin atmosferdeki konsantrasyon oranları ile yorumlanmaktadır [2]. Atmosfere salınan emisyonlar ile kirletici konsantrasyonları sürekli olarak değişmektedir. Bu sebepten dolayı, kirletici sürekli olarak takip edilmek zorundadır [3]. Ülkeler tarafından kurulan sabit ve mobil ölçüm istasyonları aracılığıyla kirlilik takibi gerçekleştirilmektedir [4]. Ölçüm istasyonları çoğunlukla önemli olarak kabul edilen noktalara kurulmaktadır; ancak istasyon sayıları bir bölgenin kirlilik tanımını yapmak için yetersizdir [5]. Ölçümler istasyonun bulunduğu noktayı temsil etmektedir. Buradan elde edilen veriler kullanılarak yerleşim merkezleri için detaylı kirlilik haritalarının oluşturulması imkansızdır [6]. Taşınabilir ölçüm cihazları, kullanım kolaylığı, istenilen her noktada ölçüme olanak sağlaması, anlık ölçümlere uygun tasarlanması vb. gibi kolaylıklarından dolayı hava kalitesinin takip edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Ancak bu cihazların Türkiye’de üretimleri bulunmamaktadır. Alım fiyatlarının yüksek olması, bakım ve onarımlarının kısa sürede ve uygun bütçe ile yapılamaması, ihtiyaca yönelik güncelleme ve geliştirmelere izin verilmemesi, aletin yedeğinin veya parametre bazlı parçalarının stoklanması zorunluluğunu getirmektedir [8]. Bu durum aletin satın alındığı firmaya bağımlı olmayı zorunlu kılmaktadır [9].

Bu çalışmanın ilk amacı, arduino tabanlı ekipmanlar ve yazılımlar geliştirilerek toplam 8 kirletici parametre (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> ve VOC) için konuma, zamana bağlı ölçümler yapabilecek cihazların geliştirilerek, kirlilik haritalarının çalışma kapsamı için oluşturulması olarak planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için son derece önemli olan kalibrasyon ve bakım geliştirilecek yazılım sayesinde ölçümü yapan kişi tarafından kolaylıkla yapılabilecektir. Bozulması durumunda müdahale edilebilecek ve yenileme işlemi sadece ilgili devre parçasının değiştirilmesi

ile yapılabilecektir. Kapsam alanı Karabük ili için önceden yeri belirlenmiş 50 noktadır. Hava kirliliği değerlerinin ölçülmesi, analizi ve çok parametrelili kirlilik haritaları Mayıs 2021 tarihinden Haziran 2022 tarih aralığı için oluşturulmuştur. İstatistiksel analizler, üretilen kirlilik haritalarının daha doğru ve hassas şekilde değerlendirilmesi için bilimsel bir katkı sağlamıştır.

Arduino, PID ve mikro işlemciler kullanılarak hava kalitesini etkileyen gazların ölçümlerinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Fakat bu çalışmalarda yapılan ölçümler sadece birkaç parametre ile sınırlı olup, kontrolü kolay, belirli kirletici parametrelere odaklanılmıştır. Ülkemizde bu kapsamda, detayda ve çok parametrelili bir çalışma ilk defa yapılmıştır. Hava kalitesini etkileyen çoklu gaz ölçümlerinin yapılabileceği sensör ölçümlerine dayanan bu tip cihazlar, kullanım kolaylığı, düşük maliyeti, hızlı ve güvenilir şekilde ölçüm sonuçlarının elde edilmesi bakımından kullanıcıya büyük bir avantaj sağlamaktadır. Mevcut hava kalitesi ölçümü için kullanılan cihazların büyük bir kısmı doğru ölçüm için, uzmanlık ve kullanım bilgisi gerektirirken, çalışma kapsamında tasarlanan cihaz herkes tarafından kolay bir şekilde kullanılabilir ve kalibre edilebilir şekilde üretilmiştir. Kullanım kolaylığı, şarj edildikten sonra 6 saat kesintisiz ölçüm yapabilmesi, çalışırken bir noktadan ayrı bir noktaya taşınsa bile konum bazlı verilerin kaydedilmesi ve bilgisayara kolay aktarımı ile haritalama süreci kolaylıkla yapılabilmektedir.

Ekipmanların birden fazla üretilmesi ile aynı anda birçok noktada kirlilik değerleri ölçüldüğünden, atmosferin kirlilik üstündeki etkileri de rahatlıkla yorumlanabilmektedir. Söz konusu çalışma çıktılarının sadece hava kirliliği çalışmalarına değil, ülkemizin taraf olduğu uluslararası anlaşmalar kapsamında iklim değişikliği çalışmalarına da destek sağlayacağı düşünülmektedir. Ülkemiz için çok değerli olan bu inovatif çalışma örnek olma özelliği taşımaktadır. Parametreler arası bağıntı ve kaynak analizi karşılaştırması, ölçülen parametre sayısına bağlı olarak Literatürde yok denilebilecek düzeydedir. Bundan dolayı bu tez çalışması üretim, veri derleme, analiz ve sonuç odaklı olarak özgünlüğü yüksek bir tez çalışmasıdır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1 GENEL

Hava kirliliği modern hayatın getirdiği konforun en büyük yan etkisi olarak insanların güncel sorunlardan birisi olmuştur [10]. 18.yy'ın son çeyreğinde, günümüzde gelişmiş ülkeler olarak adlandırılan ülkelerde başlayan sanayileşme hareketi, 19. yüzyıl ortalarına kadar dünyanın birçok bölgesinde gelişme göstererek insan yaşamının ekonomik bir parçası haline gelmiş ve ekonomik getirisinin yanında istenmeyen etkisi olarak adlandırılan hava kirliliği sorunu ile de gündeme gelmeye başlamıştır [11]. Hava kirliliği, kirlenici konsantrasyonunun insan sağlığına, canlı ve cansız varlıklara, ekolojik dengeye zarar verebilecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunması veya mevcut havada bulunması gereken kimyasal parametre oranlarının azalması olarak tanımlanmaktadır [12].

Hava kirliliğinin başlıca kaynakları, endüstri, haneler, ulaştırma, tarımsal faaliyetler, atık deşarjı olarak sınıflandırılmaktadır. En büyük hava kirliliği kaynağını fosil yakıtların yakılması oluşturmaktadır [13]. Yanma işlemi sırasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), metan (CH<sub>4</sub>), metan olmayan uçucu organik bileşikler (NMVOC), nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) ve sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) kirlenici olarak atmosfere salınmaktadır [14]. Verimsiz yanmanın sonucu olarak atılan CO ve CH<sub>4</sub>, iklim değişikliği için CO<sub>2</sub> ile beraber en önemli atmosfer kirlenicilerdir. Bu gazlar aynı zamanda direk sera gazları olarakta adlandırılmaktadır [15]. Kirlenici konsantrasyonlarının atmosferdeki oranları, taşınımları, difüzyonları kirlenici kaynakları kadar meteorolojik faktörlere de bağlıdır [16].

Meteorolojik faktörler, rüzgâr hızı, atmosfer sıcaklığı, atmosfer basıncı, nem, karışım yüksekliği, güneşlenme miktarı, yağış oranı ve atmosfer stabilitesi olarak sıralanmaktadır [17]. Bu faktörler kirlenicilerin taşınmasına, havadaki konsantrasyonlarının değişmesine, ikincil kirlenicilerin oluşmasına ve uzun vadede çevresel birçok etkiye neden olmaktadır [18]. Kirlenici konsantrasyonları ve etkileri,



kirleticilerin tanımlanması kadar, atmosfer tanımlanması ile de ilgilidir. Çok yoğun kirletici ortamlarının etkisi yoğun atmosfer şartlarına bağlı difüzyon ve taşınımında hissedilmemektedir. Bu durum kirletici tanımlamalarını çok boyutlu ve değişkenli bir parametre olarak ortaya çıkarmaktadır [19].

Atmosferin yapısı ve bileşimi, hava kirliliği ve kontrolü için önemlidir. Genel olarak atmosferde bulunan gazlar üç grupta incelenmektedir;

1. Miktarları değişmeyen olarak kabul edilen gazlar ( $N_2$ ,  $O_2$ , Asal gazlar)
2. Miktarları değişen gazlar ( $CO_2$ ,  $O_3$ , Su buharı)
3. Atmosferde her zaman bulunmayan gazlar (Kirleticiler), günümüzde dünya üzerinde hava kirliliğinin olmadığı bir ortamın bulunmayacağı birçok bilim insanı tarafından kabul edilmektedir [20,21].

Birinci grup gazlar, yaşamın sürekliliğini sağlayan gazlardır. Atmosferdeki konsantrasyonlarının korunması ve genel yapılarının bozulmaması gerekmektedir. İkinci grup gazların iklimler üzerinde önemli etkileri vardır. Ortalama atmosfer konsantrasyonunun artması dolaylı olarak yaşamı etkileyecektir. Atmosferdeki oranlarının değişmesi, ısıyı tutma kapasitelerinin yüksek olmasından dolayı güneş ışınları ile olan etkileşimini değiştireceğinden, sera gazı etkisini tetikleyecektir. Atmosfer ısısının artması sonucu iklim değişikliğine sebep olacaktır [22,23].

Bu gazlar arasında en önemlisi  $CO_2$  gazıdır.  $CO_2$  iklim değişikliği etkisinin %60'ından sorumlu olan gazdır.  $CO_2$  konsantrasyonunun atmosferde yükselmesi, gazın atmosfer ortamında absorbe ederek tuttuğu ısı miktarını arttırmasından dolayı atmosfer sıcaklığını artırırken, sıcaklık değerlerinin yükselmesi ile beraber dünyayı istenmeyen etkilere doğru zincirleme reaksiyonlara sürüklemektedir. Sıcaklığın artışı atmosfer ortamında yüksek basınç bölgelerinin oluşmasına, bu bölgelerden alçak basınç bölgelerine doğru istenmeyen ve son derece etkili hava akımlarının yaratılmasına, dünyanın birçok bölgesinde felakete ve kasırgalara yol açmasına sebep olmaktadır [24]. Buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, flora ve fauna çeşitliliğinin azalması, tarımsal rekoltenin düşmesi, dünyanın farklı noktalarında aşırı yağış ve

kuraklıkların yaşanması iklim değişikliği etkisinin getirdiği bazı zararlı etkiler olarak sıralanabilir [25,26].

Üçüncü grup gazlar kirletici olarakta adlandırılmaktadır. Çevre üstünde istenmeyen etkileri çok fazladır. Birincil olarak atmosfere atılan bu gazlar, uygun ortamlarda ikincil ve daha tehlikeli kirleticileri ortaya çıkarabilmektedir. İnsan, bitki, hayvan ve cansız varlıklar üstünde etkileri oldukça fazladır [27].

Atmosfer kirleticileri, gaz kirleticiler ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $O_3$ ,  $CO$  vb.) ve partikül (toz, iri duman, sis, ince duman, sprey) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Belirli bir kaynaktan atmosfere salınan kirleticiler birincil kirleticiler ( $SO_2$ ,  $CO$ ,  $PM$  vb.), fiziksel veya kimyasal reaksiyonlar sonucu havada oluşunlar ise ikincil kirleticiler ( $SO_3$ ,  $NO_2$  vb.) olarak adlandırılmaktadır [28].

Hava kirliliği, 1990'lı yılların başında gerçekleşen sanayi gelişiminin başlaması ile ortaya çıkmış ve zaman içerisinde büyüyen bir sorun haline gelmeye başlamıştır. Sanayi bölgelerinin şehir merkezlerine yakın olması, hızlı ve düzensiz yapılaşma, araç trafiğinin artması, ısınma ve üretim amacı ile katı yakıtların tercih edilmesi havanın yoğun bir biçimde kirlenmesine sebep olmuştur. Katı yakıtların özellikle linyit ve asfaltit kullanımının artması, kış aylarında  $SO_2$  kirliliğinin de kaynağı olmuştur [29]. Yıl boyunca çalışmaya devam eden sanayi üretim tesisleri, enerji üretimi için kömür kullanan her türlü işletme ve kömür kullanan termik santrallerden atmosfere salınan kirleticiler atmosfer tabakasını yoğun biçimde etkilemektedir [30].

### **2.1.1. Dünyada Hava Kirliliği Çalışmaları**

Hava kirliliği 1950'lere kadar genellikle eyaletler veya devletler tarafından çözülmesi gereken yerel ve bölgesel bir sorun olarak görülmüştür. Buzulların erimesi, ozon tabakasının delinmesi, ormanların azalması gibi çevreyi tehdit eden olayların artması ile birlikte hava kirliliğine karşı küresel boyutta önlemler alınmaya başlanmıştır. Bu kapsamda birçok sözleşme ve protokol yürürlüğe girerek ülkelerin atmosfere saldığı kirletici emisyonların azaltılması ve kontrol altına alınması amaçlanmıştır. Dünya'da hava kirliliği devletler tarafından kurulan ölçüm istasyonları ile takip edilmektedir.

Hava kirliliği kapsamında yapılan çalışmalarda araştırmacılar genellikle bu ölçüm istasyonlarının verilerini kullanmışlardır. Amato vd. hava kirliliği analizi çalışmasında NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve PM<sub>2,5</sub> parametreleri için konsantrasyon değerlerini İsviçre’de bulunan 16 ölçüm istasyonundan saatlik verileri toplayarak analiz edip, atmosfere salınan kirleticinin arazi kullanımı ve insan aktiviteleri ile ilgili olduğunu kümeleme yöntemi ile göstermişlerdir. [31]. Tarek vd. çalışmalarında Birleşik Krallık’da bulunan 22 istasyonun PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyon değerlerini, büyük ölçekli veri madenciliği teknikleri ile araştırmıştır. Çalışma alanı K-means, CLARA ve PAM algoritması ile değerlendirilerek kirleticilerin birbirinden bağımsız olarak insan sağlığını tehdit edecek boyutlarda mevsimsel olarak ortaya çıktığını göstermiştir [32]. Song vd. Çin’in Shanxi kentinde yaptıkları çalışmada hava kirliliğinin insan sağlığına olan etkilerini kirletici kaynak analizi ile birlikte incelemişlerdir. Bu çalışmada 1997 ile 2018 yılları arasındaki yerel istasyon verileri kullanılmıştır. Bölgesel olarak hava kirliliğini tehdit eden unsurlar ve kirleticiler ilişkilendirilmiştir. Hava kirliliğini kontrol etmek için yeşillendirmenin, endüstriyel planlamanın, kaynak kontrol sistemlerinin kullanılmasına değinilmiştir [33]. Yerel istasyon verilerinin sadece bulunduğu noktayı temsil etmesinden dolayı bazı araştırmacılar kalibre edilmiş mobil ölçüm aletlerini satın alarak çalışmalarında bu ölçüm aletlerini kullanmışlardır. Pakistan (Peşaver)’da yapılan bir çalışmada üniversite otobüs yolunda trafik kaynaklı hava kirliliğinin ölçülmesi için ticari Libelium isimli bir ölçüm aleti kullanılmıştır. Alet farklı kirleticileri eş zamanlı toplamak için kullanılmıştır. Toplanan veriler istatistiksel olarak incelenmiş ve trafik araçlarının tiplerine göre kirletici konsantrasyonlarının insan sağlığına çok zararlı emisyonları atabileceği tespit edilmiştir [34]. Avustralya (Brisbane)’da 3 farklı yola yerleştirilen ölçüm aletleri (Accuscan RSD4600) ile trafikten kaynaklanan CO, NO, HC ve CO<sub>2</sub> kirletici parametreleri uzaktan algılama metodu ile tespit edilmiştir. Araçların motor sıcaklıkları ile emisyon arasındaki bağlantı ayrıca modellenmiştir. Tam otomatik sistem ve termal kameralar ile emisyon ve araç motorlarının sıcaklıkları arasında mutlak bir bağıntı ortaya konulmuştur [35]. Profesyonel ölçüm aletleri oldukça pahalı olduğundan dolayı bu tür çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu sebeple birçok çalışmada araştırmacılar mikrodenetleyici ve elektronik gaz sensörleri kullanarak kendi ölçüm aletlerini üretmişlerdir. Polonya’da Opole Üniversitesi’nde yapılan bir çalışmada araştırmacılar arduino mikrodenetleyicisi ve düşük maliyetli gaz sensörleri kullanarak

kendi ölçüm cihazlarını tasarlamıştır. Ölçüm cihazını insansız hava aracına monte ederek kirlilik 3 boyutlu olarak dik ve yatay ekseninde incelenmiştir. Konsantrasyon, atmosfer seviyesinin üst noktalarında yer seviyesine göre daha az görülmüştür [36]. Zhou vd. yaptıkları çalışmada tüm hava koşullarında çalışabilen, ölçüm verilerini online ve gerçek zamanlı olarak takip edilebilen bir ölçüm cihazı geliştirmişlerdir. Bu ölçüm cihazı ile gemilerden kaynaklanan emisyonlar (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub>) ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Gemilerin atmosfere saldıgı kirleticilerin çalışma alanındaki nehir ve kanal boyunca etkili olduğu ortaya konulmuştur [37].

### **2.1.2. Türkiye’de Hava Kirliliği Çalışmaları**

Türkiye’de günlük hava kalitesi ölçümleri ilk olarak İstanbul ilinde yapılmaya başlanmıştır. Daha sonra Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından bu ölçümler tüm ülkede yaygınlaştırılmıştır. Tüm illerin merkez bölgelerinde kurulan ölçüm istasyonları ile hava kirletici parametrelerin konsantrasyonlarının ölçülmesi ve verilerin bir merkezde toplanması ile Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur. Türkiye’de tüm illerde iki parametre (PM ve SO<sub>2</sub>) için sürekli olarak kirletici ölçümleri yapılmaktadır. Son yıllarda parametre sayısı NO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>3</sub> ile genişletilerek tüm illerde ölçülen parametre sayısı minimum 5 olacak şekilde genişletilmiştir. Her il ve istasyon için ölçülen kirletici parametrelerin saatlik konsantrasyon değerleri online olarak paylaşılmaktadır [38]. Türkiye’de genellikle hava kirliliği çalışmaları Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı verileri kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmalarda istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak kirletici parametreler arasındaki ilişkiler veya kirleticilerin yıl içindeki konsantrasyon değişimleri incelenmiştir. Can, çalışmasında 2016-2018 yılları arasındaki yerel istasyon verilerini kullanarak Karabük ili için PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO kirletici parametreleri arasındaki ilişkileri test etmiştir. SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> arasında istatistiksel olarak mutlak bir ilişki bulunmuş, iki verinin arasındaki yüksek korelasyon ve trend analizlerinin özellikle katı yakıt kaynaklı olduğu ortaya konulmuştur [39]. Diğer bir çalışmada Yılmaz ve Karagözoğlu, PM<sub>10</sub> parametresinin sıcaklık ile değişimini yerel istasyon verilerini (2016-2020) kullanarak incelemiştir. Ayrıca istatistiksel olarak 5 yıllık periyod için özellikle Afrika ve Asya kıtalarından taşınan tozun çalışma alanını nasıl etkilediği de yorumlanmıştır. Bu çalışmada özellikle PM için kıtalar arası

taşınımın önemi vurgulanmıştır [40]. Türkiye’de profesyonel ölçüm aletleri kullanılarak yapılan çalışmalar çok az sayıdadır. Kunt vd. Konya ilinde belirledikleri 8 nokta için PM<sub>10</sub> ve ağır metallerin ölçümlerini MCZ isimli bir ölçüm aletini kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Ölçümler laboratuvar ortamında, toplanan örneklerin analiz edilmesi ile ortaya konulmuştur. Ayrıca AERMOD modeli kullanılarak taşınım etkisi de tespit edilmiştir [41]. Bir başka çalışma Trabzon limanında PM<sub>10</sub> parametresi için Zambelli Iso Plus 6000 ölçüm aleti kullanılarak yapılmıştır. Çalışma ölçümleri kullanılarak ISCST3 modeli ile kirlilik taşınım etkisi de Trabzon Limanı için çalışılmıştır. Ancak ISCST3 modeli meteorolojik etkileri ve konveksiyon taşınım etkisini ortalama veriler kullanarak modellemesi, belirsizlik değerlerini yükseltmektedir [42]. Araştırmacılar başka bir çalışmada ise PM ölçümü için bir sistem geliştirmişlerdir. Arduino mikrodenetleyicisi, GPS modülü ve 2 adet PM sensörü kullanılarak oluşturulan bu sistem ile PM ölçümleri yapılmıştır. Ancak aletin doğrulaması konusunda yeterli ve detaylı bilgi çalışmada verilmemiştir [43].

## **2.2. HAVA KİRLLETİCİ PARAMETRELER**

### **2.2.1. Karbonmonoksit (CO)**

Karbonmonoksit birincil hava kirleticilerindendir. Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Verimsiz yanma sonucunda karbonmonoksit, metan gazı ile birlikte atmosfere salınmaktadır. Karbonmonoksit salınımında en önemli kaynak doğal mikrobiyolojik ayrışma sonucu oluşan metandır. Metanın yetersiz havalanma koşullarındaki oksidasyonu sonucunda karbonmonoksit gazı oluşmaktadır [44]. Yerleşim merkezlerinde karbonmonoksit emisyonlarının %70’inden fazlası ulaştırma kaynaklıdır [45]. Karbonmonoksit, solunum yolu ile akciğerlere oradan da kana geçerek dokulara oksijen taşıyan hemoglobine bağlanmaktadır. Sonuç olarak vücudumuzdaki oksijen seviyesi azalmaktadır. Karbonmonoksit konsantrasyonunun 750 ppm değerinden yüksek olması ölümlere sebep olmaktadır [46,47].

### **2.2.2. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)**

Karbondioksit havada %0-0,03 oranında bulunmaktadır. Atmosfere salınan karbondioksitin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmaktadır. Canlıların solunumu, fotosentez, karbon döngüsü ve mikroskobik canlıların organik maddeleri ayrıştırması karbondioksit emisyonunun doğal kaynaklarıdır. Fotosentez yapan bitkiler, karbondioksitin bir miktarını kullanarak besin olarak bünyelerinde depolamaktadır [48]. Son yıllarda artan enerji ihtiyacı nedeni ile fosil yakıtların aşırı kullanılması, arazi kullanım değişiklikleri, ormanlık alanların azalması, atmosferdeki karbondioksit miktarının artışına sebep olmuştur [49]. Karbondioksit normal şartlarda atmosferde gaz halindeki bir bileşiğin adıdır. Metabolize edilmesi sebebiyle besin maddesidir. Suda çözülme özelliği ve ısıyı tutma kapasitesi yüksektir. Bu özelliğinden dolayı iklim değişikliğinin en önemli gazıdır ve direk sera gazı etkisinden dolayı atmosferdeki artışı bir kirlilik sebebidir [50].

### **2.2.3. Metan (CH<sub>4</sub>)**

Anaerobik (oksijensiz) ortamda organik atıkların ayrışması sonucunda oluşmaktadır. Tarımsal faaliyetler, çöplük sahaları, bataklıklar ve gübreler atmosfere salınan metan gazı emisyonunun kaynaklarıdır [51]. Atmosferik metan gazı, mikrobiyolojik organizmaların etkisi ile havasız ortamda ortaya çıkan bir gazdır. Belli bir konsantrasyon üstündeki oranı yanıcı özelliktedir. Uygun koşullarda, atıklardan üretilerek yakıt olarak kullanılabilir. Ancak bu gazın atmosfere salınması küresel iklim değişikliğini arttırmaktadır [52]. Metan gazı, troposferdeki kalım süresinde oksijen ve ozon ile reaksiyonları sonucunda karbondioksit ve suya dönüşmektedir [14,53].

### **2.2.4. Azot Dioksit (NO<sub>2</sub>)**

Azot dioksit, fotokimyasal sis oluşumuna sebep olması, zehirli etkisi, ve tüm yanma işlemlerinde ortaya çıkması sebebiyle önemli bir kirleticidir [54]. Bitki, toprak ve su tarafından da üretilebilmektedir. Doğal yollar ile oluşan azot dioksitler toplam miktarın sadece %1' ini oluşturmaktadır [55]. Azot dioksitin yaklaşık olarak %80'lik

oranı yanma kaynaklıdır [56]. Azot monoksit atmosfere salındığında, havadaki oksijen ile hızla reaksiyona girerek azot dioksit dönüşmektedir. Azot dioksit yüksek konsantrasyonlarda solunum yollarının iltihaplanmasına neden olan tahriş edici bir gazdır. Ayrıca asit yağmurlarının oluşumunda da etkileri vardır [54,57].

### 2.2.5. Ozon (O<sub>3</sub>)

Ozon, normal bir ortamda havada çok az miktarda (0,02-0,04 ppm) bulunan bir gazdır. İkincil kirleticilerden olan ozon, hidrokarbonların atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonları sonucunda oluşmaktadır [58]. Atmosferde bulunduğu yere bağlı olarak insan sağlığı için tehdit oluşturabilmektedir. Stratosferde bulunan ozon, canlıları güneşten gelen ultraviyole ışınlarından korurken, yeryüzü seviyesinde bulunan ozonun insan sağlığına (akciğer hastalıkları, astım vb.) olumsuz etkileri vardır [59,60].

### 2.2.6. Partiküler Maddeler (PM)

Partiküler madde, hava içinde asılı halde bulunan katı veya sıvı haldeki çok küçük çaplı parçacıklardır. Boyutları 0,1 ile 100 µ arasında değişmektedir [61]. Doğal olarak volkan faaliyetlerinden, toz fırtınalarından ve orman yangınlarından oluşmaktadırlar. Ayrıca inşaat faaliyetlerinden, taşıtlarda ve sanayi üretim tesislerinde fosil yakıtların yanması kaynaklı büyük miktarlarda partiküler madde açığa çıkmaktadır [61,62]. Partiküler madde boyutlarına göre 5 sınıfta değerlendirilmektedir [28].

**Toz (dust):** Toz, parçacık halindeki katı maddelerin herhangi bir gaz emisyonunun içerisinde yer almasıdır. Sanayi işlemlerinden kaynaklanan büyük çaplı (100 µ) kirleticilerdir. Kömür işletim tesisleri, taş kırma arkları, ezme, parçalama, küçültme değirmenleri, maden ocakları, kül atıkları ve çimento üretim tesisleri başlıca toz kaynaklarıdır [63]. **Kimyasal Duman (fume):** Küçük parçacıkların (0,03-0,3 µ) yoğunlaşması olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal reaksiyonların sonucunda oluşmakta ve metal oksit içermektedirler. Son derece zehirli katı parçacıklardır. **Buhar (mist):** Buharın yoğunlaşması ile meydana gelen ve faz içerisindeki emisyonda asılı olarak bulunan sıvı damlacıklardır. Kimyasal reaksiyonların sonucunda havanın nemli veya yağmurlu olmasına göre oluşmaktadır. 0,5-3,0 µ çapındaki katı-sıvı

parçacıklardır. **Duman (smoke)**: Dumanlı sis olarak da bilinen, çevre sağlığını önemli ölçüde tehdit eden yanma kaynaklı bir emisyondur. Özellikle karbon içerikli maddelerin tam yanmaması sonucunda oluşmaktadır, katı haldeki 0,05-1,0 µ çapındaki iri kirleticilerdir. **Spray**: Herhangi bir maddenin atomlarına ayrılması sonucu oluşan küçük çaplı (10 µ) sıvı parçacıklardır.

### 2.2.7. Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>)

Kükürtdioksit, keskin kokulu, yanıcı olmayan, renksiz bir gazdır. Uygun atmosfer ortamında gaz sıvılaşılarak kolayca su ile reaksiyona girmekte ve ikincil kirleticilerden olan sülfürik asiti oluşturmaktadır. Ayrıca, sıvılaştırmış kükürtdioksit, partiküler madde ile kolayca birleşerek sülfat partikülleri gibi son derece zararlı bileşikler de oluşturabilmektedir. Sıvılaşma özelliğinden dolayı insan sağlığı için zararlı olup, solunum sistemini olumsuz etkilemektedir [64]. Atmosferdeki kükürtdioksit konsantrasyonlarının artması sonucu aerosol ile tepkimeye girmesi, yoğun solunum sistemi ile vücuda alınma etkisini arttırmaktadır [65]. Kükürtdioksit emisyonlarının yaklaşık %99'u insanların tükettiği katı yakıt kaynaklıdır. Endüstriyel faaliyetler ve haneler tarafından kullanılan katı yakıtların yakılması sonucu oluşmaktadır [66,67]. Bu gaz kirletici gaz olarak adlandırılmaktadır. Atmosferde soğutucu bir etki yaratmaktadır. Ancak her ne kadar kirletici olarak kabul edilse de, iklim değişikliği çalışmalarında zorunlu olmamasına rağmen bu gazın uluslararası antlaşmalar kapsamında ülkeler tarafından gönüllü raporlanması pozitif bir girişim olarak değerlendirilmektedir. Çünkü her yanan katı yakıt kükürtdioksit emisyonu üretmektedir [68].

### 2.2.8. Uçucu Organik Bileşikler (VOC)

Kaynama sıcaklıkları 260 °C'ye kadar olan alifatik veya aromatik yapıdaki hidrokarbon emisyonlarıdır. İnsan sağlığı üzerindeki etkileri; akut ve kronik solunum yolu etkileri, göz ve boğaz tahrişi, nörolojik toksisite ve akciğer kanseri, şeklinde sıralamak mümkündür [69]. EPA tarafından da belirtildiği gibi, iç ortam hava kalitesini bozan kirleticilerin başında uçucu organik bileşikler gelmektedir. VOC kaynakları; sabun, deterjan, şampuan, parfüm, deodorant kullanımları, boya, vernik,



kaplama malzemeleri, fotokopi, faks vb. ofis makineleri, tıbbi malzemeler, elektrik tesisatları ve petrol türevleri şeklinde sıralanabilmektedir.

### **2.3. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI**

Hava kirliliği, doğal ve insan kaynaklı olarak ikiye ayrılmaktadır. İnsan kaynaklı hava kirliliği en temel grupta ile dört alt başlıkta incelenmektedir.

#### **2.3.1. Yakıt Tüketiminden Kaynaklanan Kirlilik**

Yakıt tüketiminin en temel amacı ısınma ve enerji üretmektir. Ancak hangi tip yakıt kullanılırsa kullanılsın kirletici emisyonu ortaya çıkmaktadır. Özellikle katı yakıtların yanması kirletici konsantrasyonlarını sadece arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda verimsiz yanma sonucu boğucu, zehirleyici ve etkili birincil kirleticileri de atmosfere salmaktadır [13,70] Yakıt hanelerde ısınma, sanayide ısınma ve üretim, ulaştırma da mekanik enerji elde etmek amacıyla kullanılmaktadır [71]. Farklı amaçlar için yakıtın kullanılması, ortaya kaynak tanımlı emisyon kavramını çıkarmıştır [68].

Hanelerdeki yakıt tüketiminin ilk amacı ısınmadır. Bu yüzden hava kirliliği kış döneminde artış göstermektedir. Isınma amacıyla 2000'li yıllara kadar, hanelerde çoğunlukla kömür ve odun kullanılmıştır. Katı yakıtların, kükürt, kül, nem oranı yüksek, kalori değeri düşüktür [72]. 2000'li yıllarda, doğal gaz kullanımı özellikle şehir ve büyük ilçe merkezlerinde hızla artmıştır. Doğal gaz, insanların kullandığı temiz ve yeşil enerji olarak adlandırılmaktadır. Doğal gaz kalori değerinin yüksek ve emisyonların daha az olması sebebiyle verimliliği katı yakıtlara göre 5 kat daha fazladır [70]. Hanelerde kullanılan yakıtlar incelendiğinde çalışma kapsamındaki bütün kirlilik değerlerini etkileyebilecek emisyonların atmosfere salındığı görülmektedir.

Sanayi enerji ihtiyacını karşılamak için yakıt tüketmektedir. Enerji, ısınma veya üretim amacıyla kullanılmaktadır. Ancak enerji üretimin bir parçası olarak, mekanik enerji, elektrik enerjisi, buhar enerjisi ve diğer enerji türlerine çevrilerek kullanılması sonucu oluşan emisyonlar, yakıt kaynaklı emisyon yerine sanayi kaynaklı kirlilik ve emisyon

başlığı altında değerlendirilmektedir [73]. Enerji, üretim teknolojisine bağlı olarak hava kirliliğinin boyutlarını da değiştirmektedir [74].

Araçlarda kullanılan yakıt (benzin, motorin veya LPG), kalori değeri ve karbon miktarına bağlı olarak farklı kirlilik emisyonlarını atmosfere salmaktadır. Genel olarak ulaşım kaynaklı birincil kirleticiler CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, CO ve HC (hidrokarbonlar)'dır [75]. Katalitik konvertör yardımı ile verimsiz yanmanın ürünleri olan emisyonlar, yüksek termal etkinliği ile emisyonların okside olması sağlanarak, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>'e dönüştürülmektedir [76]. Araç emisyonunun rengi emisyonun tanımlanması konusunda oldukça önemlidir. Gri-beyaz duman, tam yanmanın gerçekleştiği durumlarda görülmektedir. Siyah duman, aracın uygun yanma koşullarının oluşmadığını ve tam yanmanın olmadığını göstermektedir. Mavi duman ise, yanmamış yakıt ile yağ karışımından dolayı oluşmakta, motorun bakım ihtiyacını göstermektedir [28].

### **2.3.2. Sanayiden Kaynaklanan Kirlilik**

Sanayi kaynaklı kirlilik, nihai ürünün fabrikadan çıkışını kapsayan üretim, tüketim, kullanım ve kaçak emisyonlarına verilen genel tanımdır. Sanayi emisyonları, yakıtın hammadde olarak veya yakılarak üretimde kullanılması sonucunda ortaya çıkan emisyonları da kapsamaktadır. Üretimde taşıma, depolama, ezme, kırma, boyama, parçalama, kaplama vb., tüm faaliyetler emisyon yaratmaktadır. Önemli sanayi emisyonlarından biri de NMVOC emisyonudur [73]. Sanayi kaynaklı kirleticilerin kontrolü, kullanılan yakıtın cinsine, hammaddeye, üretime, teknolojiye ve baca gazlarının çıkış noktasındaki baca sistemlerine bağlıdır [77]. Üretimin çok farklı olması, aynı ürün için bile farklı mekanik aksanların ve teknolojinin kullanılması kirlilik tanımlarının da farklılaşmasına sebep olmaktadır [78]. Ekonomik katma değerlerinden dolayı sanayi bir ülke için vazgeçilemez bir değerdir ancak çevreye verdiği zarar azaltılabilir. Bu amaçla gelişmiş teknolojinin kullanılması gerekmektedir [79].

### **2.3.3. Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Kirlilik**

Azot içeren bileşikler ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), metan ve karbonmonoksit tarımsal faaliyetler sonucunda atmosfere salınan en önemli kirleticilerdir. Tarımsal faaliyetlerin en önemlisi hayvancılık ve gübre kullanımınıdır. İklim koşullarına bağılı olarak emisyon miktarları farklılık gösterebilmektedir. Tarımsal faaliyetler, örneğin pirinç yetiştirmek metan emisyonunu; yonca yetiştirmek nitrojen emisyonunu; anız yakmak karbonmonoksit emisyonunu ortaya çıkarmaktadır [51,68,80]. Tarımsal faaliyetler için kullanılan araçlardan kaynaklanan emisyonlar bu başlık altında değerlendirilmektedir.

### **2.3.4. Atık**

Atık sahaları en yüksek metan gazı üretim alanlarıdır. Atık bertarafını takiben öncelikle organik kısımları, sonrasında inorganik kısımları, atık kompozisyon oranına göre, anaerobik ortamda metan üretmeye senelerce devam edebilmektedir. Atıkların yakılması ile enerji üretimi söz konusu ise, yakıtların yanması başlığı altında değerlendirilmektedir. Ancak yakma işlemi çöplük sahasında ve vahşi yakma ise, atık bertaraf yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem ile atmosfere son derece zararlı emisyonlar atılabilmektedir. Atık emisyonları arasında  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ve VOC bulunmaktadır. Modern yakma tesislerinde, atık yakarak elde edilen enerji ile emisyon azaltımı mümkün olabilmektedir. Ülkemizde atık depolama sahalarına boşaltılan atıkların büyük bir elektrik üretim potansiyeli vardır [81,82].

## **2.4. METEOROLOJİK ETKİLER**

Atmofere salınan kirleticinin taşınmasında atmosfer koşullarının önemli bir rolü vardır. Kirleticinin fiziksel ve kimyasal yapısı atmofere salındıktan sonra değişim gösterebilmektedir. Kirleticisi atmofere salındıktan sonra sıcaklığı ve basınç değeri çevre koşullarına hızlı bir şekilde uyum salarken, difüzyon ile konsantrasyonu düşerek rüzgârın etkin olduğu yön doğrultusunda taşınımı yer seviyesine ulaşana kadar devam etmektedir. Havanın durağan olması durumunda, kirleticisi maddelerin taşınımı azalmakta, bu duruma bağılı olarak kirleticisi konsantrasyonları artmaktadır. Rüzgâr

kuvvetinin artması ve hava stabil durumunun esnek olması, yer seviyesindeki kirletici konsantrasyonlarını düşürürken, kirletici difüzyonunu ve taşınımını fazlasıyla arttırmaktadır [17,83,84]. Atmosferdeki stabilite kadar önemli olan bir durum da atmosferin lapse oranıdır. Atmosferin olması gereken lapse oranından daha düşük olması veya daha fazla olması ya da atmosferin sıcaklığının yükselti ile artarak inversiyon yaratması çok farklı kirlilik etkileri yaratabilmektedir [85]. Bu yüzden meteorolojik parametreler, hava kirliliği çalışmalarının en önemli girdisi olarak, hava modelleme, emisyon hesabı ve kirlilik çalışmalarında kullanılmaktadır [86].

#### **2.4.1. Rüzgâr**

Atmosfere salınan kirleticilerin taşınmasında ve kirletici konsantrasyonunun azaltılmasında rüzgârın etkisi oldukça büyüktür. Rüzgârın hızı, yönü, esme süresi ve atmosfer yüksek basıncına bağlı türbülans, kirleticileri uzun mesafelere taşımaktadır [83]. Bölgesel rüzgâr özellikleri ile hava kirliliği arasında yakın bir ilişki vardır [87]. Kirliliğin en yoğun hissedildiği yerleşim noktaları, rüzgârın düşük, atmosfer stabilitesinin durağan ve inversiyonun olduğu yerlerdir [88].

#### **2.4.2. Sıcaklık**

Atmosferdeki sıcaklık değişimleri atmosfer kirliliğini en fazla etkileyen meteorolojik parametredir. Sıcaklık etkisi atmosferin bölgesel yapısal özelliklerine bağlı olarak sıcaklık anomalilerini etkileyebilmekte, yüksek ve alçak basınç bölgeleri yaratarak rüzgâr hızlarını etkileyip, kirliliğin taşınmasını, difüzyonunu ve konsantrasyonunun değişmesine sebep olmaktadır [17]. Yüksek sıcaklık ve güneş ışığı birincil kirleticiler ile oksijen arasındaki kimyasal reaksiyonları tetikleyerek arttırmaktadır [83].

#### **2.4.3. Basınç**

Atmosferdeki gazların yer çekiminin etkisi ile yeryüzünde yarattıkları kuvvet etkisidir. Atmosfer basıncı, normal şartlarda 1 atm, 760 mmHg veya 101,325 Kpa değerindedir. 1 atmosfer basınçtan daha yüksek basınca yüksek basınç, düşük basınca ise alçak basınç denilmektedir. Atmosferde kirlilik yayılırken, rakım ile basınç etkisinin

azalması atmosfer kirleticilerinin etkilerini değiştirebilmektedir [89]. Basınç değişimi, sıcaklık, rakım, yerçekimi kuvveti, atmosfer hareketi gibi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Basınç rüzgârın esme yönüne ve hızına direkt etki etmektedir. Rüzgâr yönü yüksek basınç bölgesinden her zaman alçak basınç bölgesine doğru olup, atmosfer sıcaklığı basınç bölgelerinin oluşmasında en önemli meteorolojik parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Basınç farkı ise rüzgârın hızını belirlemektedir [90]. Basıncın rüzgâr oluşumundaki etkisinin, kirletici konsantrasyonlarının azaltılmasında önemli olduğu bilinmekle beraber, ozon taşınımında bu etki görülmemiştir. Yapılan çalışmada ozon konsantrasyonu, meteorolojik parametreler ile karşılaştırılmış ve net bir etkileşim ozon için bulunmamıştır [91].

#### **2.4.4. Nem**

Nem miktarındaki artış, güneş ışınlarının daha fazla tutulmasını sağlayarak, atmosfer sıcaklığını arttırmaktadır. Ancak bunun iklim üstündeki etkisi ve uzun vadeli çevresel zararları oldukça önemlidir [17]. Özellikle sülfür ve nitrojen kirleticileri, havadaki su buharı ile birleşerek kimyasal tepkimeler sonucunda sülfürik ve nitrik asit damllarını oluştururlar. İkincil kirleticiler, yeryüzüne asit yağmurları olarak ulaşmakta, doğaya büyük zarar vermektedir [23]. Ayrıca nem atmosferde birçok kirletici için reaksiyonu hızlandıran veya katalizör görevi gören meteorolojik bir parametredir [83]. Yağmur oluşumu ile atmosferde asılı kirleticiler yer seviyesine inerek, toprak, göl ve akarsuları etkileyip, farklı çevresel problemler yaratabilmektedir [92].

#### **2.4.5. İnvrsiyon**

İnvrsiyon (sıcaklık terselmesi) atmosferdeki sıcaklığın yükselti ile beraber azalması gerekirken, artmasına denilmektedir. Bu durum, kirleticilerin atmosferde yayılmasına engel olmaktadır. Böylece kirleticiler atmosferin alt kısımlarında yoğunlaşarak hava kirliliğini yoğun ve etkin biçimde yaratmaktadır [28]. Şehir merkezlerinde yaşanan invrsiyon olayları ise insanların olumsuz şekilde etkilenmesine; hatta ölümlerine bile yol açabilmektedir [93].

#### **2.4.6. Karışım Yüksekliği**

Karışım yüksekliği, havanın ve kirletici parametrelerin yer üstünde dikey olarak karışmasının yüksekliğidir. Kaynaklardan atmosfere atılan kirleticilerin atmosfer içerisinde ne kadar yükselebileceği ve yayılabileceğini göstermektedir [94]. Hava kirliliğinin tahmin edilmesi için oluşturulan modellerde ve iklim analizlerinde bu parametre kullanılmaktadır [95]. Birkaç değişkene bağlı olduğundan dolayı direkt olarak ölçülemez, hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekmektedir [96].

#### **2.5. HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜMÜ**

Hava kirliliği ölçümleri, hava kalitesi ölçüm istasyonları ile sabit noktalar için veya gezici istasyonlar ile belirlenen noktalarda ölçüm değerleri günlük, haftalık ve aylık olarak alınmaktadır [97]. Bilimsel çalışmalarda ise araştırmacılar, kirletici ölçüm cihazlarını üreterek veya ölçüm aletleri kullanarak planlanmış zaman aralıkları için bazı kirleticilerin ölçümlerini yapmışlardır [98]. Bunların genel amacı kirliliğin insan ve çevre üstündeki etkisini ortaya koymaktır [98].

Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin, konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak ölçülmesi, hava kirliliğine karşı önlemler alınabilmesi açısından son derece önemlidir. Hava kirliliği, ölçüm aletleri veya kaynaklarına göre emisyon hesaplamaları ile takip edilmektedir [99]. Sayısal bu değerler atmosferin ve yer seviyesinin en önemli kirlilik göstergesidir. Ancak her kirlilik değeri, kaynak, meteorolojik etkiler ve ölçüm yapılan noktaya göre tanımlanmaktadır. Bu yüzden çoklu ölçümler ile çalışarak yer seviyesi haritalaması ile genel kirlilik durumu ortaya konulabilmektedir [70,81].

Günümüzde hava kirliliği ölçüm cihazlarının bir kısmı elektronik olarak taşınabilir şekilde üretilmektedir. Bu cihazların en büyük özelliği her noktada ölçüm yapabilme kolaylığıdır. Ölçülen gazın türü, ölçüm aralığı, hassasiyet ve kalibrasyon ölçüm cihazlarının fiyatlandırılmasında en önemli etkenlerdir. Genellikle bu cihazlar ile tek bir gaz için ölçüm yapılabilmektedir [100]. Birden fazla gaz için ölçüm yapabilen profesyonel cihazların fiyatları ise oldukça pahalıdır [101]. Ayrıca bu cihazların bakımı ve kalibrasyonu için profesyonel yardım alınması gerekmektedir [102].

## 2.5.1. Hava Kirliliği Ölçüm Aletleri

### 2.5.1.1. Ticari Ölçüm Aletleri

Portatif üretilen ölçüm cihazlarının en büyük özelliği istenilen her noktada ölçüm yapılabilme kabiliyetidir. Ölçülen gazın türü, ölçüm aralığı, hassasiyeti ve kalibrasyon durumu ölçüm cihazlarının fiyatlandırılmasında en önemli etkenlerdir. Genellikle bu cihazlar ile tek bir gaz için ölçüm yapılabilir. Çok parametrelilik için sensör başlığı değişebilen türde ticari cihazlar mevcuttur. Fakat her sensör başlığı için ayrı ücret ödenmesi gerekmektedir. Bu tip cihazlar kullanılarak birden fazla kirlenici parametre için eş zamanlı ölçüm sınırlı sayıda yapılmaktadır [101]. Ticari cihazlar, hava kalitesi ölçüm istasyonlarında kullanılan cihazlar ile benzer fiyatlara satılmaktadır. Ölçüm cihazlarının çoğunluğunda ölçüm doğruluğu ve kalibrasyon ilgili firma tarafından yapılabilir [103]. Bu aletler kalibrasyon – doğrulama sertifikası ile birlikte satılmaktadır [104]. Ölçümlerin doğruluğu için ticari cihazların bakım ve kalibrasyon işlemlerinin belirli aralıklar ile tekrarlanması gerekmektedir [102].

### 2.5.1.2. Üretimi Yapılan Aletler

Kullanımı kolay olan açık kaynak platformlu mikrodenetleyici ekipmanları, elektronik cihazların hava kirliliğinin tespiti ve araştırılması gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır [98]. Denetleyici ve yardımcı gaz sensörleri kullanılarak üretilen hava kirliliği ölçüm cihazları, ticari cihazlara göre çok daha ucuz üretilmektedir. Ayrıca sensör değişimleri, bakım, onarım, kalibrasyon ve doğruluk çalışmaları için ekstra bir ücret ödenmediği için, maliyeti kıyaslanabilir şekilde düşürmektedir [103]. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan bir tanesi, PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub> parametrelerini ölçebilen “**AIRQino**” adı verilen arduino tabanlı bir alettir. Aletin kalibrasyonu için TSI DustTrak isimli ölçüm aleti referans alınmıştır. Matlab ile ileri matematik teknikleri uygulanarak sensör verileri ve referans ölçüm aletinin verileri arasında bir bağıntı elde edilmiş ve bu bağıntı doğrulama amacıyla kullanılmıştır [105]. Diğer bir çalışmada, arduino tabanlı, ticari olarak üretilen ölçüm aleti “**Foobot**” ile sıcaklık, bağıl nem, VOC, CO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> parametrelerini, kapalı ortam için

ölçebilmektedir. Veriler, kalibre edilmiş bir ölçüm cihazı olan, “**GrayWolf**” ın verileri ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklık, bağıl nem, VOC, PM<sub>2,5</sub> parametreleri için birbirine yakın sonuçlar alınmıştır. Bu alet ile herhangi bir kullanıcının hassas, doğru ve kolay bir şekilde kapalı bir ortam için hava kirliliği ölçümleri yapabileceği vurgulanmıştır [106]. Yine arduino ve toz gaz sensörü kullanılarak PM<sub>2,5</sub> parametresi için her 0,3 sn de bir zamana bağlı ölçüm yapan bir alet Cao ve Thompson tarafından geliştirilmiştir. Bu ölçüm aleti oldukça ucuza mal edilmiş ve kesintisiz 37 saat boyunca şarj edilmeden çalışabilme özelliğinden dolayı 24 saatlik ölçümler takip edilebilmiştir. Cihaz, iç ve dış ortamda ölçümler yapabilmektedir [107]. Wong ve arkadaşları tarafından, inşaat alanlarında nem, sıcaklık, toz, UV radyasyon ve gürültü parametrelerini ölçebilen, wireless kontrollü bir alet geliştirilmiştir. Yerel ölçüm istasyonlarının hava kirliliğinin takibinde yetersiz kaldığını ve geliştirilen aletin farklı mekanlarda kullanılabilceği belirtilmiştir [108]. XBee modülü ile kablosuz iletişim sağlayan ve CO, CO<sub>2</sub>, VOC, O<sub>3</sub>, sıcaklık, nem parametreleri için ölçüm yapabilen alet, Li ve Abraham tarafından üretilmiştir. Ölçüm değerleri, profesyonel ölçüm aleti olan “**GrayWolf**”ın değerleri ile karşılaştırılmış ve yakın ölçüm eğilimleri elde edilmiştir [109]. “**AirQino**” cihazına kamera sensörü entegre edilerek, trafik izleme cihazı geliştirilmiştir. Cihaz çalışma alanı olarak belirlenen İtalya-Floransa’da bir karayolu üzerine yerleştirilmiş ve bir aylık süre için araç sayıları, hızları kaydedilerek, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> kirletici parametreleri için ölçümler yapılmıştır. Veriler GIS ve bir web sitesinden oluşan “**GeoDatabase**”de depolanmıştır [110]. Mikro işlemci kontrollü hava kirliliği ölçüm aletlerinin çok farklı yerlerde kullanıldığı görülmektedir. Örneğin yeraltı kömür madenlerinin hava kalitesinin anlık olarak takip edilebilmesi için Jo ve Khan tarafından geliştirilen ekipman ile CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, sıcaklık ve nem parametreleri için ölçümler yapılmıştır. Ölçüm verileri internet aracılığı ile anlık olarak raporlanmış ve madenler için son derece önemli olan konsantrasyon verilerine göre tedbirler alınması sağlanmıştır [111].

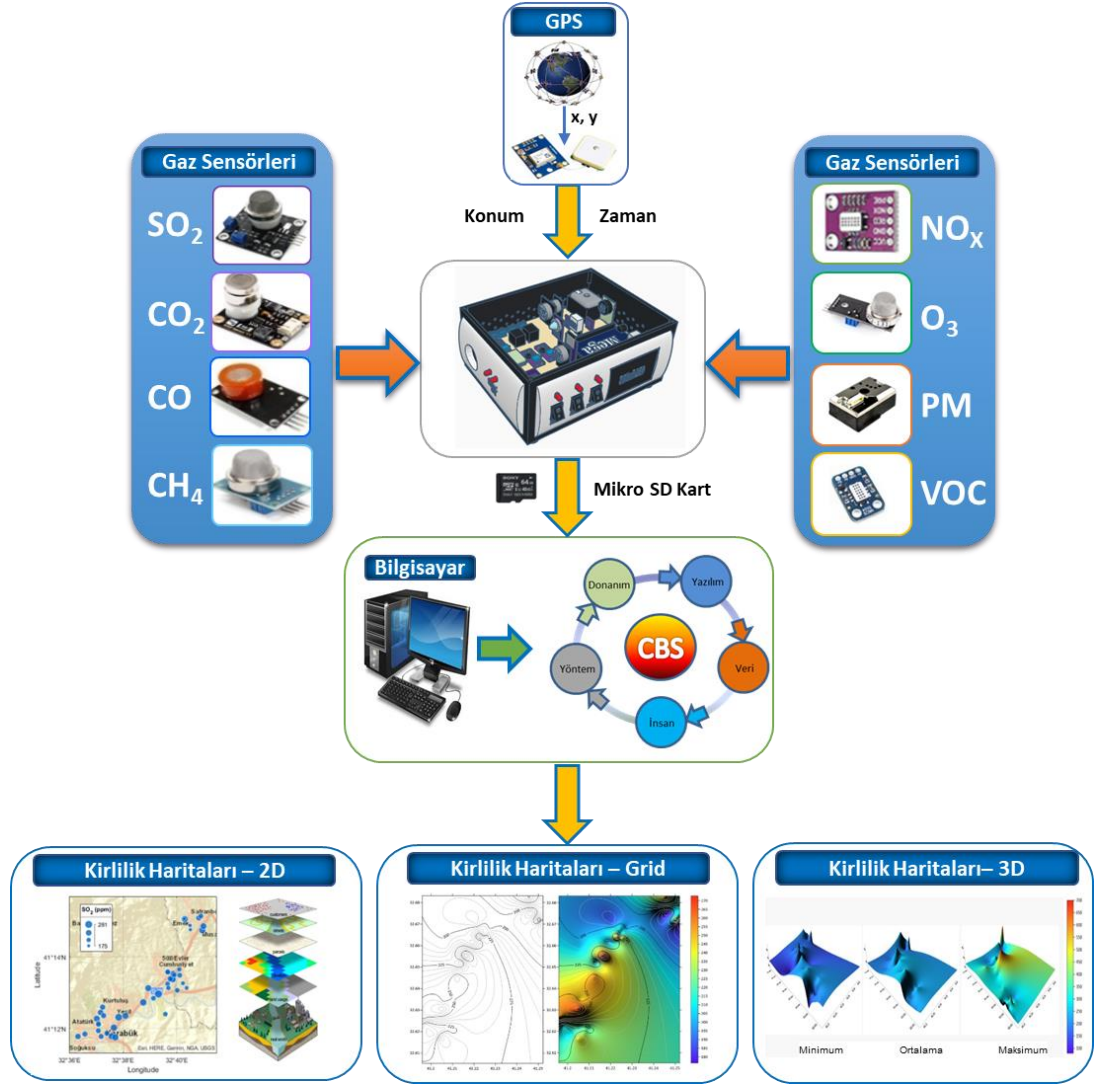
Yapılan araştırmalarda, kirletici ölçüm aleti üretiminin, belli kirleticiler üzerine yoğunlaştığı ve ölçümü yapılan kirletici değerlerin kontrolü için kullanıldığı görülmüştür.



## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın temel amacı Karabük ili için kirlilik haritalarının yerel ölçüm istasyon verileri kullanılmadan farklı yöntemler geliştirilerek üretilmesidir (Şekil 3.1). Bu amaçla, arduino tabanlı ekipmanlar ve yazılımlar geliştirilerek toplam 8 kirletici parametre (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, VOC) ile sıcaklık, nem ve basınç ölçümü yapabilen, konuma, zamana bağlı bir cihaz tasarlanmıştır. Ölçümler Karabük ilini temsil edecek önceden belirlenmiş çoklu noktalarda 1 yıl boyunca sürekli olarak yapılmıştır. Başlangıçta 8 nokta ile sınırlı olan ölçümler yeni cihazların üretilmesi ile 50 noktaya kadar çıkarılmıştır. Ölçümler bir yıl boyunca düzenli olarak Mayıs 2021 – Haziran 2022 aralığında yapılmıştır. *Veri tabanlarının oluşturulması ve analizlerin yapılması*, çalışma kapsamında elde edilen ölçüm değerlerinin bilgisayar ortamında depolanmasını, veri analizlerini ve kirletici parametreler arasındaki ilişkilerin incelenmesini kapsamaktadır. *Ölçüm verilerinin yerel ölçüm istasyonu verileri ile karşılaştırılması* üretilen cihazın doğrulanması için gerekmektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından, Türkiye’deki hava kirliliği istasyonlarında ölçülen kirletici parametreler, saatlik ve günlük ortalama olarak paylaşılmaktadır. Bu bölümde Karabük ilindeki istasyon verileri ile çalışma kapsamında üretilen cihazlar tarafından istasyon yakın noktalarında alınan ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. *Kirlilik haritalarının üretimi* için aylık olarak oluşturulan veri tabanları kullanılmıştır. Bir yıl (Mayıs 2021 – Haziran 2022) boyunca sürekli olarak ölçümler yapılmış olmasına rağmen kirlilik haritaları her ay için çıkartılamamıştır. Bunun sebebi ölçüm yapılan nokta sayısının ölçümün ilk aylarında yetersiz olmasıdır. Kirlilik haritaları toplam (Ocak 2022 – Haziran 2022) 6 ay için oluşturulmuştur. Haritaların oluşturulmasında Coğrafi bilgi sistemleri teknikleri ile, MS EXCELL, MATLAB (2017.b ver.) ve ARCGIS (10.4.1 ver.) programları kullanılmıştır. Bu programlar Karabük Üniversitesi’nin resmi kullanım haklarına sahip olduğu versiyonlarıdır.

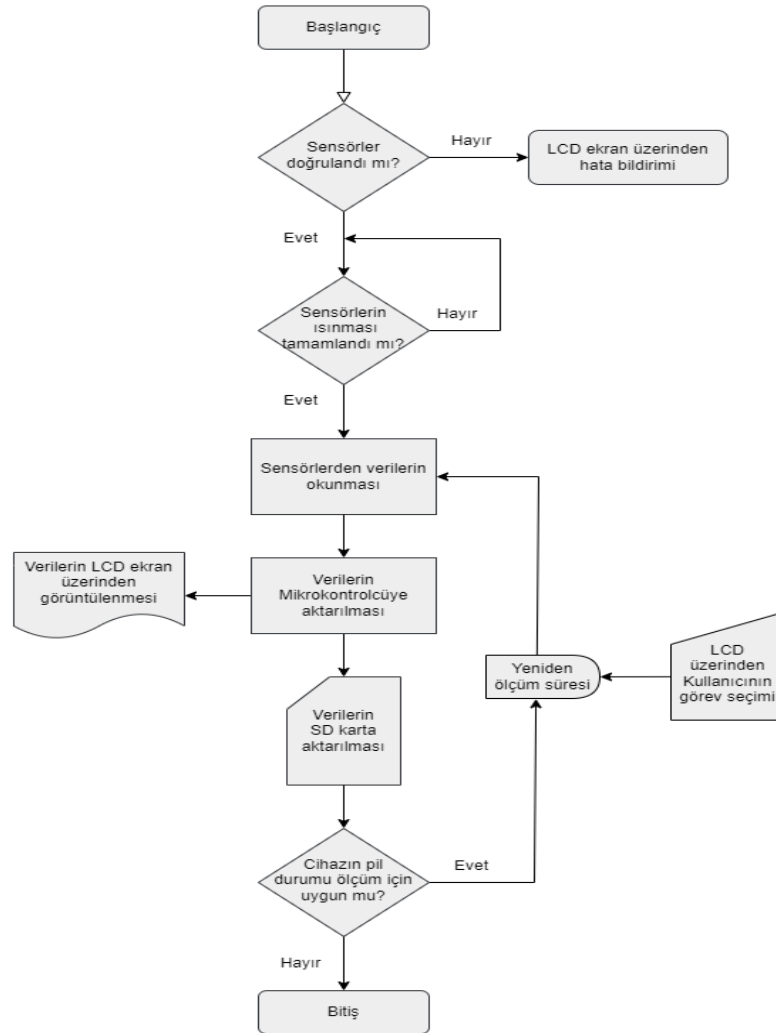


Şekil 3.1. Çalışmanın metodolojik yaklaşımları.

### 3.1. ÖLÇÜM CİHAZININ ÜRETİMİ

Cihaz üretiminin ilk aşamasında mikrodenetleyici, gaz sensörleri, modüller ve diğer elemanların çalışma mantıklarının öğrenilmesi için deneme tahtası (breadboard) üzerinde testler yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda mikrodenetleyici ile diğer elemanlar arasındaki elektronik bağlantılar belirlenmiştir. Sensör devre kartı, gaz sensörleri, sıcaklık-nem, basınç sensörleri, GPS, mikro SD kart modülleri, voltaj regülatörleri, transistörler, kondansatörler ve dirençlerden oluşmaktadır. Güç devre kartı ise, li-on pilleri, li-on pil şarj ve koruma devrelerini içermektedir.

Ölçüm cihazın işlevini yerine getirebilmesi için arduino mikrodenetleyicisinin bu amaca uygun olarak programlanması gerekmektedir. Yazılımın geliştirilmesinde C, C++ ve Java programlama dilleri kullanılarak hazırlanmış olan arduino IDE (Entegre Geliştirme Ortamı) kullanılmıştır. Cihazın yazılımı SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub>, VOC gaz sensörleri, sıcaklık-nem, basınç sensörleri, GPS modülünden verilerin alınması, LCD ekranda bu verilerin görüntülenmesi, mikro SD karta kaydedilmesi ve kullanıcının dokunmatik ekran üzerinden yaptığı seçimleri algılayarak bu seçimlerin işlevini yerine getirmesi için gerekli olan kodları içermektedir. Yazılımın genel hatları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Ölçüm cihazının genel akış şeması.








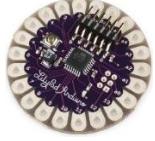


Ölçüm cihazının işlevini düzgün bir şekilde yerine getirebilmesi için gaz sensörlerinin ve diğer elektronik parçaların rüzgâr, yağmur, güneş ışığı gibi dış etkenlerden korunması gerekmektedir. Ayrıca bu etkenler yapılan ölçümlerin sonuçlarına etki ederek hatalara yol açabilmektedir. Bu sebeple cihazın kapak tasarımları tüm dış etkenler dikkate alınarak hazırlanmıştır.

### **3.1.1. Arduino Donanımı ve Yazılımı**

Arduino, mikrodenetleyicinin çalışabilmesi için gerekli olan tüm bileşenleri üzerinde barındıran özel olarak tasarlanmış bir baskı devre kartıdır [112]. Yazılımsal ve donanımsal olarak açık kaynak kodlu olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmakta ve sürekli olarak geliştirilmektedir. Üzerinde bulunan pinler sayesinde fiziksel dünya ile haberleşmeyi sağlamaktadır. Arduino ile uyumlu bir şekilde çalışabilen çok sayıda ve türde led, buton, sensör, modül, LCD ekran mevcuttur. Bu elemanları arduino ile birlikte kullanarak dış ortamdan veriler alıp bu verileri görüntülememiz, işlememiz, kaydetmemiz, bilgisayar ortamına ve/veya dış ortama aktarmamız mümkündür [113].

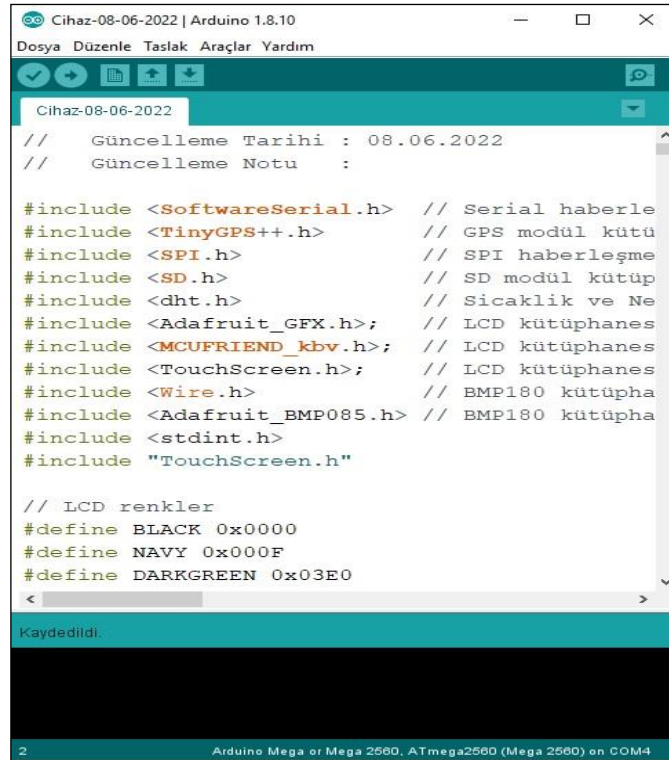
Arduino donanımsal olarak genellikle Atmel mikrodenetleyicileri (AtmegaXXX), 5 voltluk regüle entegresi, 16 MHz kristal osilatör ve farklı miktarlarda Flash Memory, SRAM, EEPROM içermektedir. Boyutları ve özellikleri kullanım alanlarına göre farklılık göstermektedir. Çizelge 3.1’de arduino türleri gösterilmiştir [114].

Çizelge 3.1. Arduino türleri.

Model Adı	Model Bilgileri	Model Görseli
Arduino Uno	Yaygın olarak kullanılan arduino modelidir.	
Arduino Mega 2560	Uno modelinin gelişmiş versiyonudur. Daha fazla giriş, çıkış pini ve mikrodenetleyici gücüne sahiptir.	
Arduino Mega ADK	Mega 2560 ile aynı özelliklere sahiptir. Android telefonlar ile arayüz oluşturmak için tasarlanmıştır.	
Arduino Nano	Uno modelinin boyutlarının küçültülmüş versiyonudur.	
Arduino Mini	En küçük arduino modelidir. Nano modelinin bağlantı pinleri ve USB konnektörü çıkartılarak boyutları küçültülmüş halidir.	
Arduino Ethernet	Uno modeli ile aynı özelliklere sahiptir. İnternet ile iletişim kurulabilmesi için tasarlanmıştır.	
Arduino BT	Arduinonun çevresindeki bluetooth kullanan cihazlar ile iletişimini sağlamak amacı ile kullanılmaktadır.	
Arduino LilyPad	E-tekstil veya giyilebilir elektronik projeler için tasarlanmıştır.	
Arduino Fio	Kablosuz uygulamalarda tercih edilmektedir.	
Arduino Pro Mini	Minimal boyutlarda tasarlanmış olan bu modelde tüm komponentler SMD şeklindedir.	

Arduino modelleri arasında en çok kullanılan ve tercih edilen uno modelidir. Fakat bu tez çalışması için uno modelinin donanımsal özellikleri yetersiz kaldığı için mega modeli tercih edilmiştir.

Arduino'nun programlanması ve geliştirilen yazılımın mikrodenetleyiciye yüklenmesi için C, C++ ve Java programlama dilleri kullanılarak hazırlanmış olan arduino IDE kullanılmıştır (Şekil 3.3). Arduino IDE temel olarak önyükleyici, derleyici ve kütüphanelerden oluşmaktadır [115]. Arduino yazılımlarının tamamında “**setup**” ve “**loop**” adlı iki fonksiyon bulunmaktadır. Mikrodenetleyicinin çalıştırılması ile birlikte genel ayarların tanımlandığı ve program boyunca sadece bir kere çalışan *setup* fonksiyonu devreye girmektedir. *Setup* fonksiyonundan sonra ise *loop* fonksiyonu çalışmaktadır. Bu kısımda mikrodenetleyicinin sürekli olarak yapması istenilen işlemler sıralanmakta ve buradaki kodlar döngü halinde güç kesilinceye kadar çalıştırılmaktadır [116].



```
// Cihaz-08-06-2022 | Arduino 1.8.10
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım

Cihaz-08-06-2022

// Güncelleme Tarihi : 08.06.2022
// Güncelleme Notu :

#include <SoftwareSerial.h> // Serial haberle
#include <TinyGPS++.h> // GPS modül kütü
#include <SPI.h> // SPI haberleşme
#include <SD.h> // SD modül kütüp
#include <dht.h> // Sıcaklık ve Ne
#include <Adafruit_GFX.h>; // LCD kütüphanes
#include <MCUFRIEND_kbv.h>; // LCD kütüphanes
#include <TouchScreen.h>; // LCD kütüphanes
#include <Wire.h> // BMP180 kütüpha
#include <Adafruit_BMP085.h> // BMP180 kütüpha
#include <stdint.h>
#include "TouchScreen.h"

// LCD renkler
#define BLACK 0x0000
#define NAVY 0x000F
#define DARKGREEN 0x03E0

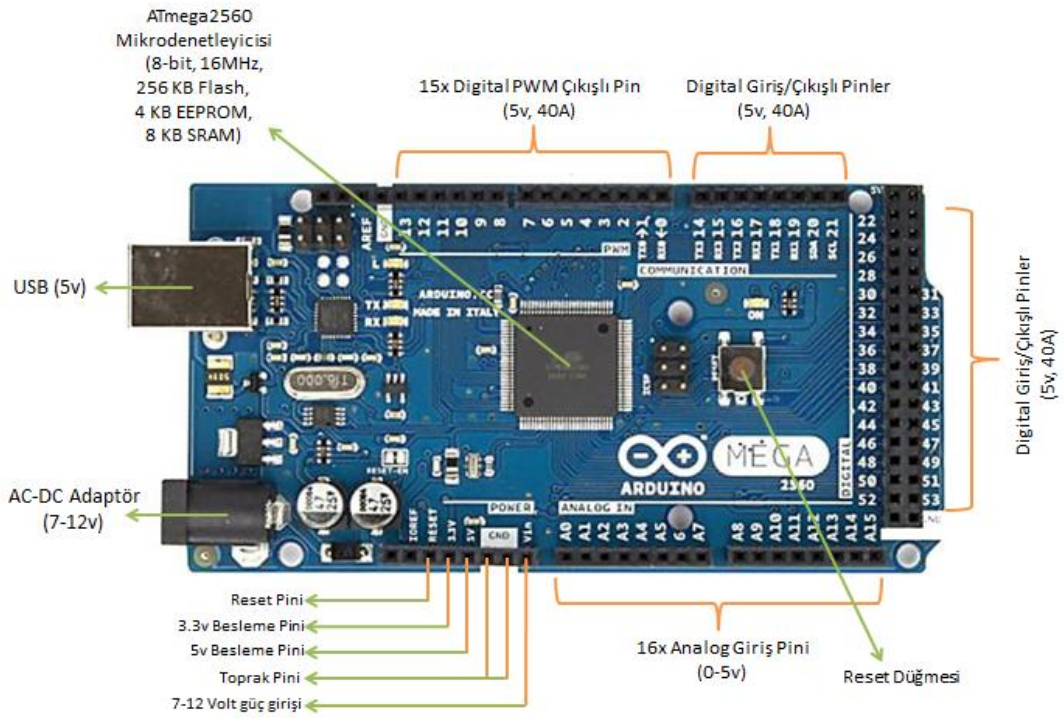
Kaydedildi.

2 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4
```

Şekil 3.3. Arduino IDE genel görünümü.

### 3.1.2. Arduino Mega

Arduino mega boyut olarak diğer modellerden büyük olmasına rağmen üzerindeki pin sayısının çokluğu ve güçlü mikrodenetleyicisi ile genellikle diğer arduinoların yetersiz kaldığı projelerde tercih edilmektedir. 16 Mhz kristal osilatöre, USB bağlantısına, güç bağlantısına ve reset tuşuna sahiptir. Kartın çalışabilmesi için harici bir güç kaynağı ya da bilgisayarın USB portu ile beslenmesi yeterlidir. Şekil 3.4'te arduino mega mikrodenetleyici kartı detaylı olarak gösterilmiştir [117].



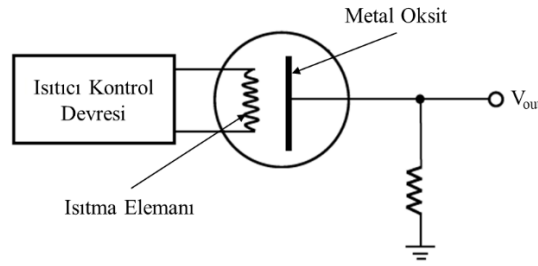
Şekil 3.4. Arduino mega mikrodenetleyici kartı.

Bu tez çalışmasında arduino mega mikrodenetleyici kartı üretilen cihazların beyni olarak işlev görmektedir. Geliştirilen yazılım ile sensör, modül, transistör, GPS, mikro SD kart, LCD ekran gibi elemanların kontrol edilmesinde kullanılmaktadır.

### 3.1.3. Gaz Sensörleri

Kirletici gazların ölçümünde kullanılan birçok farklı gaz algılama teknolojisi bulunmaktadır. Katı hal (yarı iletken), elektrokimyasal, kızılötesi sensörleri düşük

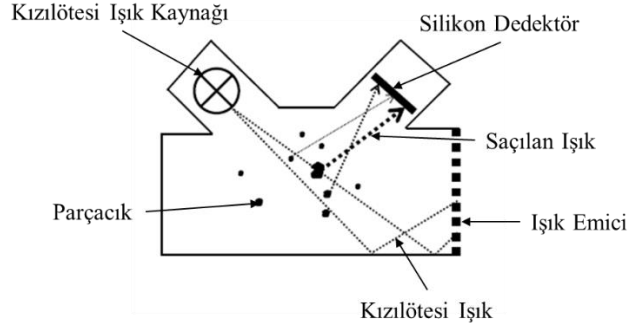
maliyetleri ve taşınabilir olmalarından dolayı en çok tercih edilen türlerdir [118]. Yarı iletken gaz sensörleri, pratik kullanımları ve uygun fiyatlarından dolayı arduino ve diğer mikrodenetleyiciler ile birlikte birçok çalışmada sıklıkla kullanılmaktadır [98]. Bu sensörlerin iç yapısında gazı algılamaya duyarlı bir tel, ısıtıcı eleman ve bir yük direnci bulunmaktadır. Çalışma prensipleri genel olarak aynıdır (Şekil 3.5). Isıtıcının etkisiyle ısınan gaz sensördeki telin üzerinden geçmekte ve telin direncini değiştirmektedir. Buradaki analog direnç değerini 0 ile 5V aralığına çevirmek için bir yük direnci kullanılmaktadır. Yük direnci pini ise mikrodenetleyicinin analog giriş pinlerinden bir tanesine bağlanarak ölçülen gaz değerinin mikrodenetleyiciye aktarılması sağlanmaktadır [119].



Şekil 3.5. Gaz sensörlerinin çalışma prensibi.

Partiküler maddelerin konsantrasyon ölçümü ise kızılötesi sensörler ile yapılmaktadır. Bu sensörler ışık kaynağı olarak kızılötesi bir LED ve saçılan ışığı ölçmek için silikon bir dedektör kullanılmaktadır. Hava akışı ile birlikte sensör içine alınan parçacıkların kızılötesi ışık kaynağından gelen ışığın etkisi ile ışık saçmaları sağlanmaktadır [120]. Silikon dedektörden algılanan ışık miktarı ile orantılı olarak çıkan akım, amfi devresi ile yükseltildikten sonra cihaz tarafından analog bir voltaj çıkışı yapılmaktadır. Bu voltaj değeri analog pin üzerinden mikrodenetleyiciye aktarılarak ölçülen partiküler madde konsantrasyonu elde edilmektedir [98]. Kızılötesi sensörün çalışma mantığı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.





Şekil 3.6. Kızılötesi sensör çalışma prensibi.

Bu tez çalışmasında PM<sub>2,5</sub> parametresi için kızılötesi sensör, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, VOC parametrelerinin ölçümü için yarı iletken gaz sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörlere ait ölçüm aralıkları, çalışma voltajları ve güç tüketimleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Kirlilik ölçümünde kullanılan gaz sensörlerinin özellikleri.

Ölçülen Parametre	Ölçüm Aralığı	Çalışma Voltajı (DC)	Güç Tüketimi
SO <sub>2</sub>	1-500 ppm	5V (≤ 24V)	≤ 800 mW
CO <sub>2</sub>	0-10000 ppm	6V	≤ 1200 mW
CO	20-2000 ppm	5V (≤ 10V)	≤ 350 mW
CH <sub>4</sub>	200-10000 ppm	5V	≤ 750 mW
NO <sub>x</sub>	0,05-10 ppm	5V	≤ 100 mW
O <sub>3</sub>	10-1000 ppb	5V (≤ 24V)	≤ 900 mW
PM <sub>2,5</sub>	0-500 µg/m <sup>3</sup>	5V (≤ 7V)	≤ 100 mW
VOC	1-1000 ppm	5V	≤ 100 mW

### 3.2. KİRLİLİK VERİLERİNİN TOPLANMASI

Geliştirilen ölçüm cihazı, ortam havasındaki SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub>, VOC kirletici parametrelerin konsantrasyon değerlerini, ortamın sıcaklık, nem, basınç

değerlerini, ölçümün yapıldığı tarih (gün.ay.yıl), zaman (saat:dakika:saniye), konumu (enlem, boylam) eş zamanlı olarak ölçmekte ve 10 saniye aralıklar ile bu ölçümleri tekrarlayarak elde edilen verileri mikro SD karta kayıt etmektedir. Veriler Karabük merkez bölgesi ve Safranbolu ilçesinde önceden belirlenmiş olan 50 noktadan toplanmıştır. Tez çalışması süresince ölçüm yapılan noktalar sabit kalmıştır. Ölçümler her noktada en az 1 saat olacak şekilde alınmıştır. Ay içinde farklı gün ve saatlerde sürekli olarak bu ölçümler tekrarlanmıştır. Başlangıçta tek ölçüm cihazı ile 8 noktada ölçümler alınmıştır. Ölçümler devam ederken cihazların üretimine de devam edilmiş ve ölçüm yapılan noktaların sayısı sürekli olarak arttırılmıştır. Kirlilik ölçümleri Mayıs 2021 – Haziran 2022 tarih aralığını kapsamaktadır. Ocak 2022’de tüm cihazların üretimi tamamlanarak ölçüm yapılan noktaların sayısı 50’e çıkarılmıştır.

### **3.3. VERİ TABANLARI VE ANALİZLERİ**

Veri tabanları, günlük olarak toplanan verilerden oluşmaktadır. Cihazların mikro SD kartlarında depolanan veri dosyaları (txt formatında) bilgisayar ortamına aktarılmıştır. MS EXCELL programı kullanılarak bu veriler belirli bir düzene getirilerek veri tabanları oluşturulmuştur. Veri tabanları data ve analiz olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup saat (saat:dakika:saniye), tarih (gün.ay.yıl), koordinat (enlem, boylam), kirletici parametreler (sensörlerin orijinal birimleri – ppm, ppb veya  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), atmosfer sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ), bağıl nem (%), atmosfer basıncı (Pa) başlıklarını içeren veri bütününden oluşmaktadır. Bu bölümde, yalnızca cihaz tarafından toplanan orijinal veriler tutulmaktadır. İkinci grup, regresyon, zaman serisi ve istatistiksel analizleri içermektedir. Bu bölümde kirletici parametreler arasındaki ilişkiler istatistiksel analizler ve grafiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Günlük ve aylık olarak kirletici parametreler ile atmosferik parametrelerin oluşturduğu zaman serileri istasyon bazlı veri tabanlarında depolanmıştır. Verilerin analiz edilmesinde çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Ölçüm yapılan her bir noktadaki kirletici parametre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  ve  $\text{VOC}$ ) için veri setini en iyi şekilde temsil edecek ortalama değer farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanmış ve en doğru sonuç bulunmaya çalışılmıştır. Bunun için farklı ortalama değerleri hesaplanmış ve hata analizleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle klasik ortalama alma yöntemleri olarak adlandırılan orta değer, geometrik, harmonik ortalama ve orta aralık değer hesapları

yapılmıştır. Veri setinde sensör hatalarından kaynaklanabilecek negatif değer olma olasılığına karşın kök kare ortalama hesaplanmıştır. Kırpılmış ve çeyrekler arası ortalama değerleri, veri setinin ortalamasını etkileyebilecek olan maksimum, minimum ve aykırı değerlerin etkisini ortadan kaldırılması için kullanılmıştır. Son olarak ise sağlam bir istatistik olarak kabul edilen, ayrıca veri setindeki aykırı değerlerden daha az etkilenen winsorized ve üç ortalama hesapları yapılmıştır [121,122,123].

Ortalama değer, veri setinin merkezsiz değeri hakkında bilgi vermesine rağmen, genellikle tek başına pek fazla bir anlam ifade etmemektedir. Veri setini oluşturan değerlerin ortalama değer etrafındaki dağılım derecesinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Ortalama fark, medyan mutlak sapma, ortalama mutlak sapma, çeyrek dağılım ve bağıl ortalama fark veri setlerinin dağılımı hakkında yorum yapmak için önemlidir. Beklenti her zaman normal dağılımlı bir veri seti elde etmektir [124,125,126]. Hesaplanan ortalama değerler, standart hata ve varyasyon katsayısı kullanılarak güvenilirlik açısından kontrol edilmektedir. Seri dağılımını ve simetriyi açıklamak için varyans ve standart sapma yetersizdir. Veri setinin dağılım karakterini desteklemek için çarpıklık ve basıklık katsayıları kullanılmaktadır [127].

Eşitliklerde kullanılan **tüm formül değişken tanımları** “*Simgeler ve Kısaltmalar Dizini*”nde verilmiştir.

Verilerin ortalamasının hesaplanmasında kullanılan en yaygın yöntem (Mean) aritmetik ortalamadır (Eşitlik 3.1).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{k=1}^n X_k}{n} \quad (3.1)$$

Medyan (Median), veri setinin merkezini göstermektedir. Aritmetik ortalama aykırı değerlerden etkilenirken medyan etkilenmemektedir. Ortalama ve medyan, en iyi merkezi değeri belirlemek için kullanılmaktadır. Medyan hesabında ilk önce veriler

küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır ( $X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq \dots \leq X_n$ ). Sıralanmış verilerin orta noktası meydan (p) değeridir (Eşitlik 3.2).

$$p = \frac{n + 1}{2} \quad (3.2)$$

Geometrik ortalama (Geometric mean), ölçüm sonuçlarının her biri bir önceki sonucuna bağlı olarak değiştiği durumlar, bu değişimin hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ölçüm sonuçlarında sıfır değeri bulunduğu durumlarda değişimin hızı anlamsız olmaktadır (Eşitlik 3.3).

$$\bar{X}_G = \sqrt[n]{X_1 * X_2 * X_3 * \dots * X_n} \quad (3.3)$$

Harmonik ortalama (Harmonic mean), oranların ortalamasını hesaplamak için sıklıkla kullanılmaktadır (Eşitlik 3.4).

$$\bar{X}_H = \frac{n}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}} \quad (3.4)$$

Orta aralık (Midrange), veri setindeki en büyük ve en küçük değerlerin ortalamasıdır. Aykırı değerlerden çok fazla etkilenmektedir (Eşitlik 3.5).

$$M = \frac{(X_{\max} + X_{\min})}{2} \quad (3.5)$$

Kare kök ortalaması (Root mean square), pozitif ve negatif dalgalanmalardaki (-5 ile +5 gibi) değişikliklerin boyutunu belirlemek için istatistiksel bir kriterdir (Eşitlik 3.6).

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n}} \quad (3.6)$$

Kırpma ortalaması (Trim mean), veri setinde çok fazla aykırı değer bulunduğu veya dağılım aşırı derecede çarpık olduğu durumlarda kullanışlıdır. Veri kümesindeki en

büyük ve en küçük değerlerin belirli bir yüzdesi (%10, %20 gibi) dikkate alınmadan ortalama değer alınarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.7).

$$\bar{X}_{TM} = \frac{\sum_{k=p+1}^{n-p} X_k}{n - 2p} \quad (3.7)$$

Çeyrekler arası ortalama (Interquartile mean), veri setindeki verilerin orta %50'sinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Diğer istatistiksel hesaplamalar ile birlikte aykırı değerlerin yorumlanması için kullanışlıdır (Eşitlik 3.8).

$$\bar{X}_{IQM} = \frac{2}{n} \sum_{k=\frac{n}{4}+1}^{\frac{3n}{4}} X_k \quad (3.8)$$

Winsorized ortalama (Winsorized mean), veri setindeki en küçük ve en büyük değerlerin kendilerine en yakın değerler ile değiştirildikten sonra ortalama alınarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.9).

$$\bar{X}_{Win} = \frac{X_n \dots X_{n+1} + X_{n+2} \dots X_n}{n} \quad (3.9)$$

Üç ortalama (Trimean), veri setinin genel eğilimini temsil etmektedir. Medyan, alt ve üst çeyreklerin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.10).

$$\bar{X}_{Tri} = \frac{1}{2} \left( Q_2 + \frac{Q_1 + Q_3}{2} \right) \quad (3.10)$$

Varyans (Variance), veri setindeki sayılar arasındaki yayılmanın istatistiksel bir ölçüsüdür. Veri setindeki her sayının ortalamadan ve dolayısıyla veri setindeki diğer her sayıdan ne kadar uzakta olduğunu ölçmektedir (Eşitlik 3.11).

$$s^2 = \frac{\sum (X_k - \bar{X})^2}{(n - 1)} \quad (3.11)$$

Standart sapma (Standard deviation), verilerin ortalamaya göre ne kadar dağınık olduğunun bir ölçüsüdür. Düşük standart sapma, verilerin ortalama etrafında kümелendiği anlamına gelirken yüksek standart sapma, verilerin daha fazla yayıldığını göstermektedir (Eşitlik 3.12).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_k - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \quad (3.12)$$

Çeyrekler arası aralık (Interquartile range), veri setinin orta %50'sinin en küçük değeri ile en büyük değerleri arasındaki fark alınarak hesaplanmaktadır. Aralık, veri setinin en yüksek ve en düşük değeri arasındaki fark alınarak hesaplandığından aykırı değerlerden çok fazla etkilenirken çeyrekler arası aralık bu değerlerden etkilenmemektedir (Eşitlik 3.13).

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (3.13)$$

Ortalama fark (Mean difference), iki farklı veri setindeki ortalama değerler arasındaki mutlak farkı ölçmek için kullanılmaktadır (Eşitlik 3.14).

$$MD_{1-2} = |\bar{X}_1 - \bar{X}_2| \quad (3.14)$$

Medyan mutlak sapma (Median absolute deviation), bir veri setinin ne kadar yayılmış olduğunun güvenilir bir göstergesidir. Aykırı değerlerin medyan üzerinde ortalamadan daha küçük bir etkisi olduğundan, aykırı değerlerden daha az etkilenmektedir (Eşitlik 3.15).

$$MAD = |X_k - p| \quad (3.15)$$

Ortalama mutlak sapma (Average absolute deviation), bir veri kümesindeki varyasyonu açıklamaya yönelik bir ölçümdür. Her bir veri değeri ile veri kümesinin ortalaması arasındaki ortalama mesafedir. Değerlerin nasıl yayıldığı hakkında bilgi vermektedir (Eşitlik 3.16).

$$AAD = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |X_k - \bar{X}| \quad (3.16)$$

Çeyrek dağılım (Quartile dispersion), dağılımı ölçen ve veri kümeleri arasında karşılaştırmalar yapmak için kullanılan tanımlayıcı bir istatistiktir. Nicel verilere dayandığı için aykırı değerlere karşı daha az duyarlıdır (Eşitlik 3.17).

$$QD = \frac{Q_3 - Q_1}{Q_3 + Q_1} \quad (3.17)$$

Göreceli ortalama fark (Relative mean difference), ortalama farkın veri setinin ortalama değerine oranıdır (Eşitlik 3.18).

$$RMD = \frac{MD}{\bar{X}} \quad (3.18)$$

Standart hata (Standard error), ortalamanın güvenilirliğinin bir göstergesidir. 0,8-0,9 arasındaki bir değer herhangi bir değerlendirme için kabul edilebilir güvenilirliktedir (Eşitlik 3.19).

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.19)$$

Varyasyon katsayısı (Coefficient of variation), standart sapmanın ortalamaya oranı olarak tanımlanmaktadır ve genellikle yüzde olarak ifade edilmektedir (Eşitlik 3.20).

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} * 100 \quad (3.20)$$

Çarpıklık (Skewness), bir veri setinde normal dağılımdan sapan bir bozulma veya asimetriyi ifade etmektedir. Aykırı değerlerin yönü hakkında bilgi vermektedir. Pozitif bir değer, aykırı değerlerin dağılımın sağ tarafında bulunduğunu göstermektedir. Negatif değer ise, aykırı değerlerin dağılımın sol tarafında yer aldığını göstermektedir (Eşitlik 3.21).

$$SK = \frac{\sum_k^n (x - \bar{x})^3}{(n - 1) * s^3} \quad (3.21)$$

Basıklık (Kurtosis) katsayısı Normal dağılım olduğunda sıfırdır. Pozitif basıklık katsayısı sivri bir dağılıma, negatif basıklık katsayısı ise düzleştirilmiş bir dağılıma işaret etmektedir. Dağılımın normal dağılıma benzer ise (- 1, +1) aralığında bir değer almaktadır (Eşitlik 3.22).

$$KU = \frac{\sum_k^n (X_k - \bar{X})^4}{\sum_k^n (X - \bar{X})^2} \quad (3.22)$$

### 3.3.1. Veriler Arasındaki İlişkilerin Modellenmesi

Dağılım grafiği matrisi, değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [128,129]. İki boyutlu bir dağılım grafiği matrisi oluşturmak için her bir değişkenin hem yatay hem de dikey olarak eklenmesi gerekmektedir [130]. Değişkenleri karşılaştırmak için dağılım grafiği en iyi görsel yöntemlerden birisi olarak kabul edilmektedir [131,132]. Bu çalışmada kirletici parametreler için dağılım grafiği matrisi çalışılmış ve parametreler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Parametreler arasında ilişkiler kirletici emisyonlarının tek kaynaktan veya birçok farklı kaynaktan meydana gelmesine göre değişiklik göstermektedir. Her bir kirletici kaynağın etkisi hakkında yorum yapmak için alan araştırması yapılmalıdır. Karabük ilinde emisyon kaynakları sanayi, mesken (konut) ve karayolu taşımacılığı ile sınırlıdır. Tarımsal etkiler gözlemlenebilir, ancak yüksek bir değer olmayacaktır.

Kirleticiler (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve VOC) arasındaki fonksiyonel ilişki lineer, polinom (2. ve 3. dereceden) ve logaritmik regresyon modelleri kullanılarak belirlenmiştir [133,134].

**Doğrusal model:** En basit modeldir ve iki değişken arasındaki doğrusallığı göstermektedir. Herhangi bir değişkenin artışı diğerinin artışına paraleldir (Eşitlik 3.23 ve 3.24).



$$Y_k = aX_k + b \quad (3.23)$$

$$a = \frac{\sum(X_k - \bar{X})(Y_k - \bar{Y})}{\sum(X_k - \bar{X})^2} \text{ ve } b = \bar{Y} - a\bar{X} \quad (3.24)$$

**Polinom model:** Fonksiyonel bir modeldir. Fonksiyonlara bağılı olarak artış bağımlı değişkeni etkilemektedir (Eşitlik 3.25).

$$Y_k = c_0X_k^0 + c_1X_k^1 + c_2X_k^2 + c_3X_k^3 + \dots + c_nX_k^n \quad (3.25)$$

**Logaritmik model:** Genellikle ters üs şeklindedir. Üs fonksiyonlarını güç ve çoklu ifadelere yükseltmektedir (Eşitlik 3.26 ve 3.27).

$$Y_k = b + c_1 \ln(X_k) \quad (3.26)$$

$$c_1 = \frac{\sum(\ln X_k - \overline{\ln X})(Y - \bar{Y})}{\sum(\ln X_k - \overline{\ln X})^2} \text{ ve } b = \bar{Y} - c_1 \overline{\ln X} \quad (3.27)$$

R-kare değeri (R-squared value), değişkenlerin modellere ne kadar yakın olduğunu belirlemek için kullanılan bir değerdir (Eşitlik 3.28 – 3.30).

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3.28)$$

$$SSE = \sum (U_k - V_k)^2 \quad (3.29)$$

$$SST = \sum U_k^2 - \frac{(\sum U_k)^2}{n} \quad (3.30)$$

Belirsizlik analizleri, sonuçların hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Belirsizlik yüzdesi, Eşitlik 3.31 ve 3.32 kullanılarak hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi değeri (örneklem büyüklüğü -1), student t dağılımı tablosundaki %95 güven aralığı ile elde edilmektedir [70,135].

$$\text{Ortalamanın Standart Hatası (SEM)} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.31)$$

$$\text{Belirsizlik (\%)} = \frac{2 * \text{SEM} * t_{0,05,sd}}{\bar{X}} * 100 \quad (3.32)$$

### 3.4. ÖLÇÜM VERİLERİNİN YEREL ÖLÇÜM İSTASYONU VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Karabük ilinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından kurulmuş Karabük Tören Alanı, Kardemir1, Kardemir2, 75. Yıl ve Safranbolu'da olmak üzere 5 adet ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlarda ölçülen gaz türleri istasyonlara göre farklılık göstermektedir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.3. Karabük ili yerel istasyonlarında ölçülen parametreler [136].

Parametre	İstasyon Noktaları				
	Tören Alanı	Kardemir1	Kardemir2	75. Yıl	Safranbolu
PM <sub>10</sub>	+	+	+	+	+
PM <sub>2,5</sub>	+	-	-	+	+
SO <sub>2</sub>	+	+	+	+	+
CO	+	+	+	-	+
NO <sub>2</sub>	+	+	+	-	+
NO <sub>x</sub>	+	+	+	-	+
O <sub>3</sub>	+	+	+	-	-

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hava kirliliği istasyonlarında ölçülen, kirlenici ölçüm değerleri Türkiye'deki tüm istasyonlar için saatlik ve günlük ortalama olarak Bakanlığın web sayfasında paylaşılmaktadır [136]. Yerel istasyonlarda birim olarak µg/m<sup>3</sup> kullanılmaktadır.

### 3.5. KİRLİLİK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

Kirlilik haritaları bir yıl boyunca sürekli olarak yapılmış ölçümlerden elde edilen verilerden oluşturulan aylık veri tabanları kullanılarak üretilmiştir. Ölçümler bir yıl boyunca yapılmış olmasına rağmen kirlilik haritaları her ay için çıkartılamamıştır. Bunun sebebi bazı aylar için kirlilik haritalarının oluşturulabilmesine yetecek sayıda ölçüm noktasının bulunmamasıdır. Kirlilik haritaları toplam 6 ay için (Ocak 2022 – Haziran 2022) oluşturulmuştur. MS EXCELL programında oluşturulan aylık veri tabanlarından pivot tabloları oluşturularak harita üretiminde kullanılacak programlar için özel veriler hazırlanmıştır. Kirlilik haritaları coğrafi bilgi sistemleri teknikleri kullanılarak oluşturulmuştur.

#### 3.5.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemleri, konumları ile birlikte kayıt edilen verileri saklamak, görüntülemek, analiz etmek ve bu verileri kullanarak haritalar oluşturmak için kullanılan dijital platformlu bir sistemdir [137]. Yeryüzü ile ilgili yapılacak olan herhangi bir çalışmanın dijital ortamda gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece para, zaman ve işgücünden tasarruf edilmektedir. Mekânsal veriler kullanılarak oluşturulan haritalar sayesinde tablo ve grafiklerde görüntülenemeyen veriler arasındaki ilişkiler bulunarak verilerin daha iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu yüzden idari kararların verilmesinde ve karmaşık çevre problemlerinin çözülmesinde CBS'nin kullanması kaçınılmazdır [138].

Coğrafi bilgi sisteminin işlevlerini yerine getirebilmesi için beş temel bileşene ihtiyaç duymaktadır [139]. **Donanım**, coğrafi bilgi sisteminin çalışması için gerekli olan bilgisayar ve bununla birlikte yazıcı, tarayıcı, veri kayıt üniteleri vb. gibi cihazların tamamıdır. **Yazılım**, mekânsal bilgileriyle kayıt edilen coğrafik bilgilerin depolanması, analiz edilmesi ve görüntülenmesi için geliştirilmiş olan algoritmalarıdır. Kullanıcıların bilim dalına ve ilgi alanına göre farklılık gösteren birçok yazılım vardır. Bu yazılımlara ArcView, MapInfo, Genesis vb. örnektir. **Veri**, coğrafi bilgi sistemi için en önemli bileşendir. Veriler farklı kaynaklardan toplanmakta, kullanım amaçlarına uygun olarak düzenlenmekte ve bu şekilde veri tabanları oluşturulmaktadır. Coğrafi bilgi sistemi

konumsal veriyi diğerk kaynaklardan gelen veriler ile birleştirerek daha iyi, daha hızlı ve daha doğru kararlar vermemize olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu verileri kullanarak dijital haritalar da üretilebilmektedir. **İnsan**, bilgisayar sistemlerini tasarlayan, bunların çalışmalarını denetleyen uzman kişilerdir. Ayrıca coğrafi bilgi sistemi ile ilgili problemlerin, eksiklerin giderilmesinde ve coğrafi bilgi sisteminin geliştirilmesinde katkı sağlayan kullanıcılar da bu kapsama girmektedir. **Yöntem**, coğrafi bilgi sisteminin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için kurumlara özgü modellerin geliştirilmesini ve sistemler üzerinde uygulanmasını kapsamaktadır. Aynı şekilde konuma dayalı verilerin kullanıcıların isteğine göre üretilebilmesi ve sunulabilmesi içinde belli standartların ve kuralların olması gerekmektedir. Kirlilik haritalarının oluşturulması için MATLAB ve ARCGIS yazılımları kullanılmıştır.

### 3.5.2. Kriging İnterpolasyon Yöntemi

Hava kirliliği çalışmalarında en temel sorun ölçüm istasyonlarının sınırlı sayıda olmasıdır. Kirlilik haritası oluşturulmaya çalışıldığında, bu sınırlama nedeniyle doğru bir harita elde etmek mümkün değildir. Kirliliğin harita üzerinde gösterilebilmesi için yeterli ölçüm noktalarından elde edilen veriler gereklidir. Ölçülen noktalar arasındaki interpolasyon, ölçülmeyen noktaların sonuçlarını vermektedir. Bu enterpolasyon yöntemi Kriging'dir [140,141]. Kriging, jeostatistikte tahmin veya enterpolasyonu tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Herhangi bir noktada bilinmeyen konumsal verilerin bu konuma yakın noktalardan gelen verileri kullanarak optimum değerlerinin bulunması işlemidir [142]. Bu yöntemi diğerlerinden ayıran en önemli özellik, ağırlıkların mümkün olan en az tahmin hatasıyla hesaplanmasıdır [143]. Kriging enterpolasyon yöntemi, hava kirliliği haritalama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [144]. Genel kriging denklemi Eşitlik 3.33'de verilmiştir.

$$N_p = \sum_{k=1}^n P_k * N_k \quad (3.33)$$

## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

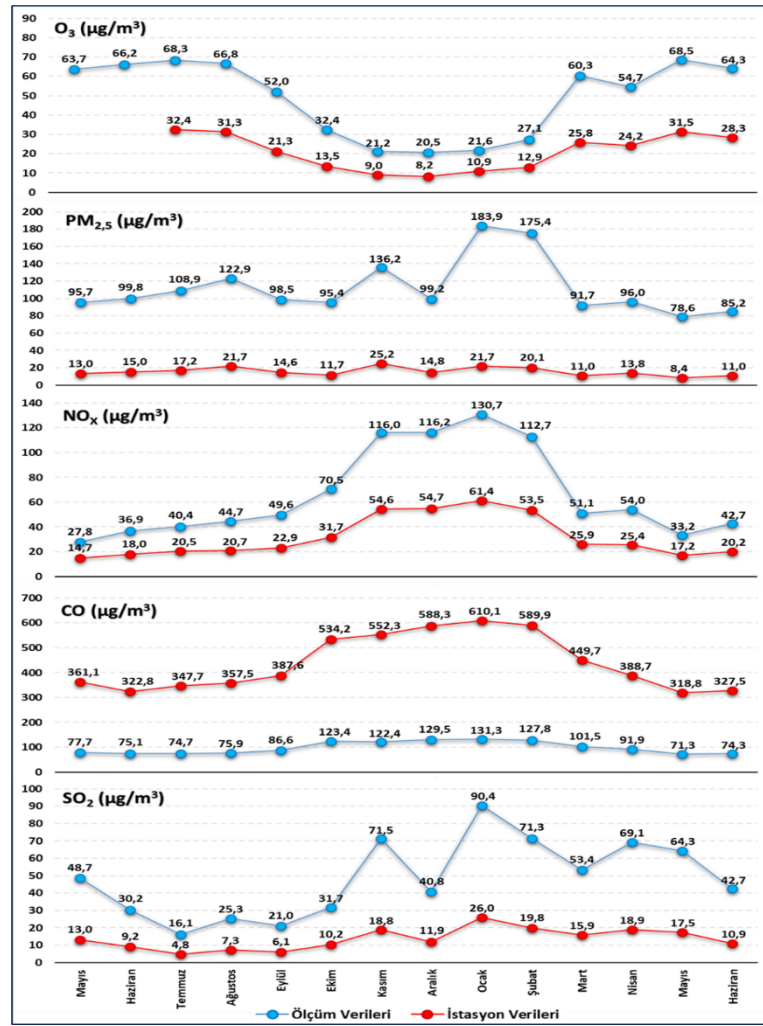
Hava kirliliği, sürekli gelişen teknoloji ile paralel şekilde artan enerji tüketimi sebebiyle gün geçtikçe daha büyük bir sorun haline gelmektedir. Hava kirliliği sorunu ile mücadelenin başlangıç noktası, yerel ölçekte hava kirliliğine çözüm bulmaktan geçmektedir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, Karabük ili için SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> ve VOC parametrelerini içeren kirlilik haritalarının üretilmesidir. Bu amaç ile arduino tabanlı ekipmanlar ve yazılımlar geliştirilerek toplam 8 kirletici parametre ile sıcaklık, nem ve basınç ölçümü yapabilen, konuma, zamana bağlı cihazlar tasarlanmıştır. Bu cihazlar kullanılarak bir yıl süre ile Mayıs 2021 – Haziran 2022 tarih aralığında Karabük ilinde ölçümler yapılmıştır. Başlangıçta ölçüm noktalarının sayısı 8 ile sınırlı kalmıştır. Ölçümler yapılırken yeni cihazların üretimine devam edilmiştir ve ölçüm yapılan noktaların sayısı sürekli olarak arttırılmıştır. Ocak 2022’den itibaren ölçüm noktalarının sayısı 50 noktaya çıkarılmıştır. Çalışmanın başlangıç aylarında ölçüm yapılan nokta sayısının yetersiz olması nedeniyle ilgili aylar için kirlilik haritaları hazırlanamamıştır. Kirlilik haritaları toplam 6 ay için, Ocak 2022 – Haziran 2022 aralığında, ölçüm noktalarından elde edilen veriler kullanılarak üretilmiştir.

#### 4.1. GENEL

Tez kapsamında yapılan çalışmalar, ölçüm cihazlarının üretimi, kirlilik verilerinin toplanması, veri tabanlarının hazırlanması ve analizlerin yapılması, ölçümlerin yerel ölçüm istasyonu verileri ile karşılaştırılması, haritaların üretilmesi olarak sınıflandırılmıştır. Karabük ilinde bulunan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının verileri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın web sayfasından elde edilmiştir. Veri tabanları ölçülen verileri belli bir formatta depolamak için kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen veriler öncelikle Bakanlığın istasyon verileri ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Bu adım verilerin doğrulanması için gerekli olup, aletlerin kalibre edilmesi amacıyla da kullanılmıştır. İstasyon verilerinin ölçümlerinde

farklılıklar bulunmuştur. Farklılıklar, ölçümlerin yapıldığı yükseklikten kaynaklanmaktadır. İstasyon verileri yer seviyesinden 10 m yükseklikte ölçülmektedir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında elde edilen veriler ile istasyon verileri karşılaştırıldığında farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların olması beklenmelidir. Ancak önemli olan nokta, verilerdeki eğilim trendlerinin birbirine benzemesidir. Ölçüm eğilimlerinin aynı olması, kalibrasyonun doğruluğunu ve yapılan ölçümlerin güvenilirliğini arttırmaktadır. Karabük ilinde 5 adet (4 adet Karabük’de, 1 adet Safranbolu’da) ölçüm istasyonu bulunmaktadır. İstasyonların sayısının yetersiz ve ölçülen parametrelerin SO<sub>2</sub>, PM, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> ile sınırlı olmasından dolayı bu istasyon verileri kullanılarak kirlilik haritaları üretilmemektedir.



Şekil 4.1. Ölçüm verilerinin istasyon verileri ile karşılaştırılması.

Veriler karşılaştırıldığında en büyük farklar CO parametresi için görülmektedir (Şekil 4.1). Ocak ayında fark  $479 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar çıkmaktadır. İkinci en büyük fark  $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ile  $\text{PM}_{2,5}$  parametresinde görülmektedir. Diğer parametreler için en büyük farklar  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ve  $\text{O}_3$  sırasıyla 64, 69 ve  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  parametreleri için en büyük farklar Ocak ayında,  $\text{O}_3$  parametresi için ise Mayıs ayında görülmüştür. Bu kıyaslamalar kullanılarak ölçüm aletinin kalibrasyonu yapılmıştır. Bakanlığın istasyon verileri ile aynı noktalarda alınan ölçümlerin ortalama kıyaslamaları sırasıyla  $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  ve  $\text{O}_3$  kirlilik parametreleri için, %252, %-78, %108, %633 ve %126 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler aynı zamanda yüzdelik olarak kalibrasyon hata değerleridir.

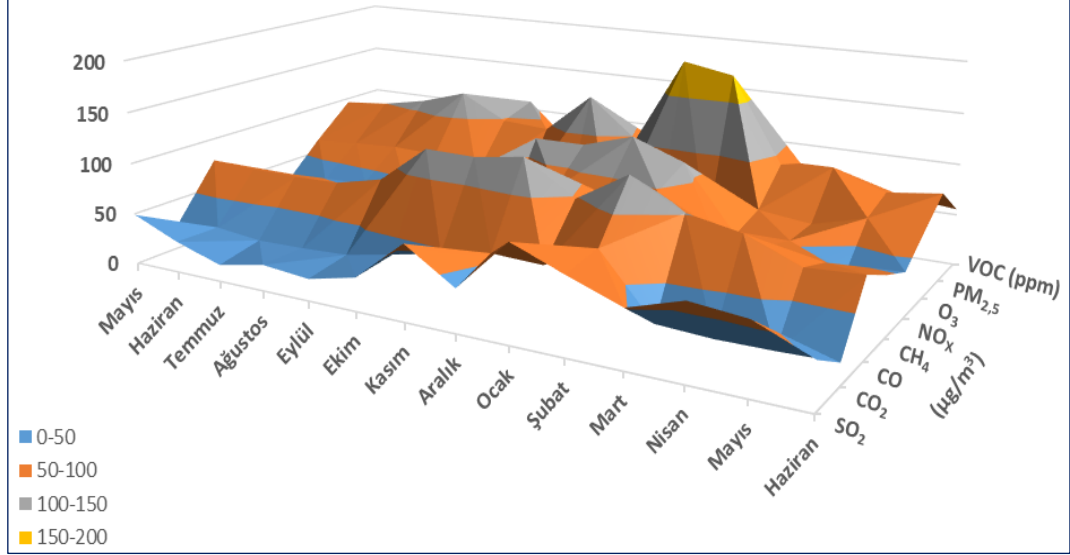
Bakanlık ölçümlerinde hava bir boru akışı ile ölçüm aletine alınmaktadır. İkinci önemli husus, yalnızca aylık verilerin karşılaştırılabilmesidir. Anlık ölçüm verileri Bakanlık tarafından paylaşılmamaktadır. Aylık ortalamaların karşılaştırılması belirsizlikler ve olası hataların toplanmasına, hatanın artmasına sebep olmaktadır. Anlık verilerin toplanan hataları nedeniyle bu karşılaştırmalar kabul edilemeyecek seviyelere ulaşmaktadır.

Bir diğer önemli husus da portatif ekipmanların şarj edilebilir bataryalar ile enerjisinin sağlanmasıdır. Şarj sorunu nedeniyle, ölçülen verilerin sürekliliği sağlanamamıştır. Cihazlar şarj edilirken ölçümler durmaktadır. Ölçümler kesikli olarak belirlenen ölçüm noktalarında yapılmıştır. Bu durum anlık ölçümlere göre bazı hatalar getirmektedir. Bu yüzden haritalama yapılırken, Bakanlığın istasyon verileri ile kıyaslanırken ve analizler yapılırken, aylık ortalama değerler kullanılmıştır. Aylık ortalama değerlerin kullanılması ile kesikli ölçüm hatalarının olası etkileri azaltılmaya çalışılmıştır. Ölçüm ekipman verileri, istasyon verileri ile kıyaslanarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyonu yapılan ekipmanlar diğer aletlerin kalibre edilmesi için de kullanılmıştır.

## **4.2. ÖLÇÜM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ölçüm verileri analiz edildiğinde, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, çalışma dönemi için büyük farklılıklar göstermektedir. Herbir kirlilik parametresinin artış ve azalış eğilimleri, ortalama değerlere göre sapma ve değişim miktarları, noktasal bazlı

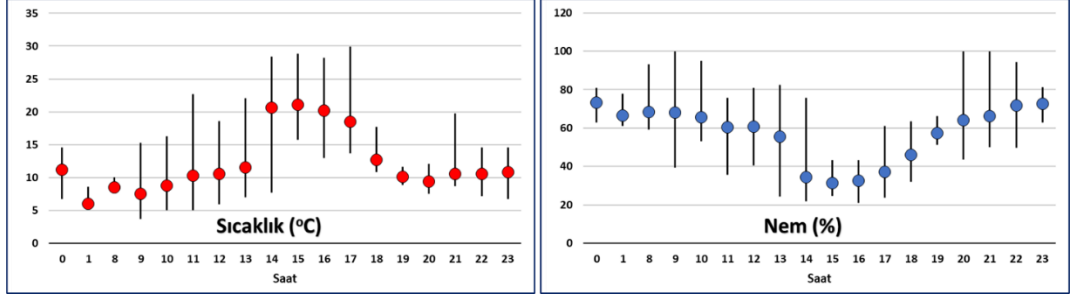
yorumlanması gerekmektedir. Bu yüzden ölçüm verilerinin en iyi grafiksel gösterim şekli haritalama olarak belirlenmiştir. Çoklu nokta ve parametre bazlı haritalar, üç boyutlu bir görsellik sunarken, kirliliğin nasıl yayıldığını, hangi bölgelerin daha çok kirlilik etkisinde kaldığını da net olarak ortaya koyabilmektedir.



Şekil 4.2. Karabük ili için kirlilik parametrelerinin aylık ortalamaları.

En yüksek konsantrasyon değerleri PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO parametrelerinde sırasıyla 184, 131 ve 130 µg/m<sup>3</sup> olarak görülmüştür. Diğer parametreler için en yüksek değerler SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> ve VOC için sırasıyla 90, 77, 98, 69 µg/m<sup>3</sup> ve 109 ppm'dir. Bu yüksek değerler O<sub>3</sub> parametresi için Mayıs ayında diğer parametreler için kış aylarında gözlenmiştir. Maksimum ve minimum değerler arasındaki farklar SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> ve VOC için sırasıyla 74, 59, 58, 48, 103, 48, 105 µg/m<sup>3</sup> ve 57 ppm'dir. O<sub>3</sub> parametresi hariç diğer tüm parametrelerin konsantrasyon değerleri sonbahar-kış aylarında yükselmekte ve ilkbahar-yaz aylarında düşmektedir. O<sub>3</sub> diğer parametrelerden farklı bir eğilim göstermekte ve konsantrasyon değeri ilkbahar-yaz aylarında yükselmekte, sonbahar-kış aylarında düşmektedir.

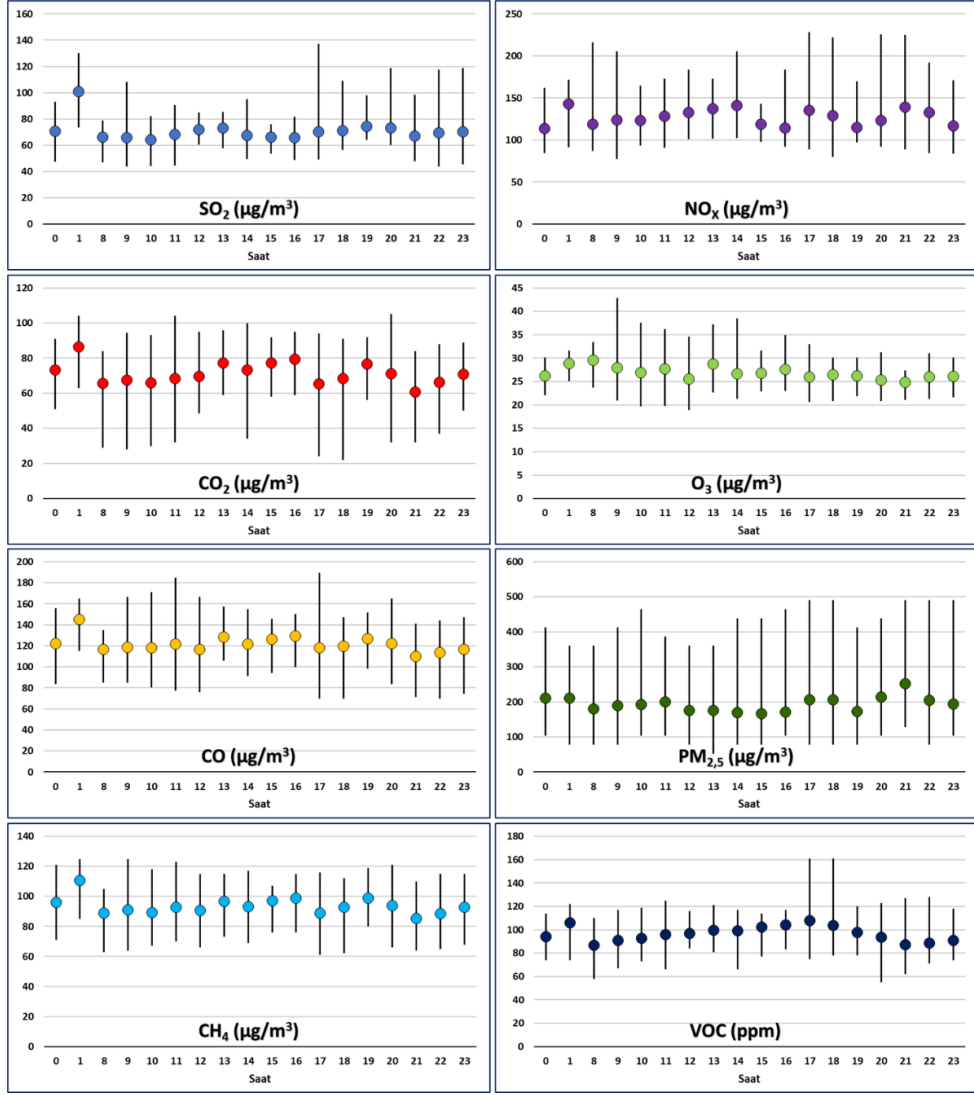




Şekil 4.3. Karabük ili için günlük sıcaklık (°C) ve nem (%) değişimleri.

Ayrıca SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO konsantrasyonları da kritik kirlilik değerlerine oldukça yakındır. Hava kalitesi kriterlerine göre parametrelerin günlük olarak değerlendirilmesi önemlidir.

Atmosferin sıcaklığı ve nemi de hava kirliliği için önemli parametrelerdir. Gün içinde sıcaklığın 4 °C'den 30 °C'ye, nemin ise %20'den %99'a değişimi söz konusu olabilmektedir. Ani değişiklikler ortalama kirliliği de etkilemektedir (Şekil 4.3). Kirlilik parametreleri farklı eğilimler göstermektedir. Şekil 4.4'de Şubat ayı için kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyon değerleri verilmiştir. Diğer ayların detaylı konsantrasyon değerleri Ek Açıklamalar A'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Şubat 2022).

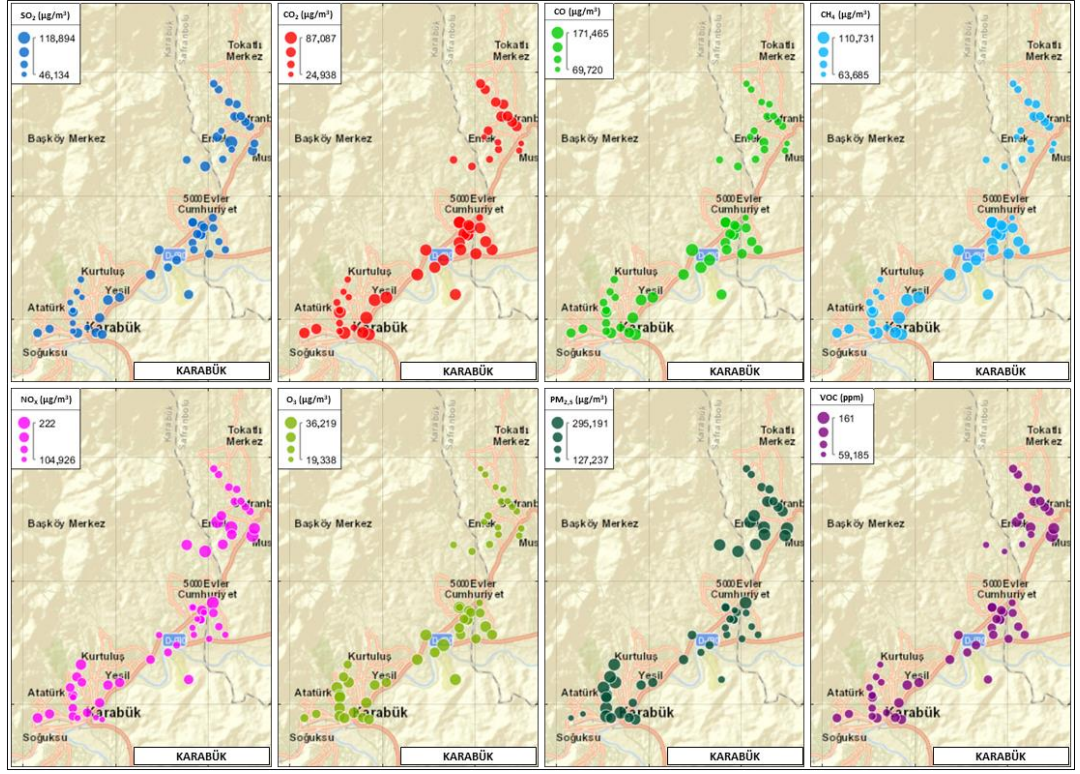
Sabah saatlerinde SO<sub>2</sub>, VOC ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları çok düşüktür. Ancak NO<sub>x</sub>, VOC ve CH<sub>4</sub> konsantrasyonları öğleden sonra çok yüksektir. NO<sub>x</sub> ve O<sub>3</sub> eğilimleri birbirini ile zıt eğilimler ve değişimler göstermektedir. Kirlilik parametrelerinin günlük konsantrasyonları tüm gün boyunca dalgalanmaktadır. Bu dalgalanmanın ana sebepleri sadece atmosferik koşullar değil aynı zamanda emisyon kaynaklarıdır. Saatlik ve anlık ölçümler, parametrelerin genel özelliklerini de ortaya koymaktadır. Parametrelerin minimum konsantrasyon değerleri genellikle gece saat 1 civarında gözlemlenmiştir. Gece saat 1 ve 8 aralığında kirlilik parametre konsantrasyonları çok fazla değişmemektedir. Bu nedenle Şekil 4.4'te bu ölçümler gösterilmemiştir. Şekil 4.4'e göre, 24 saatlik ölçümlerin alındığı günler için, gece boyunca SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> ve PM<sub>2,5</sub> parametrelerinin en düşük ölçüm değerleri sırasıyla 47, 22, 70,

61, 78, 19, 52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve VOC'nin 55 ppm'dir.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$  ve  $\text{PM}_{2,5}$  parametrelerinin en yüksek ölçüm değerleri 130, 105, 189, 125, 229, 43, 490  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve VOC'nin 161 ppm'dir. VOC diğer kirlilik parametreleriyle karşılaştırma amacıyla ppm cinsinden verilmiştir.

Her parametrenin Şubat ayı için ortalama kirlilik değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Diğer ayların ortalama kirlilik değerleri Ek Açıklamalar B'de verilmiştir. Karabük'te 50'ye yakın noktada ölçüm yapılmıştır. Her kirletici ölçüm noktasındaki konsantrasyon değerine göre resmedilmiştir. Kirlilik büyüklüğü şekilde görüldüğü üzere daire yarıçapı ile orantılanmıştır. Daire yarıçapı, kirleticinin konsantrasyon değerine bağlı olarak değişmektedir. Konsantrasyon değeri arttıkça dairenin yarıçapı da artmaktadır.

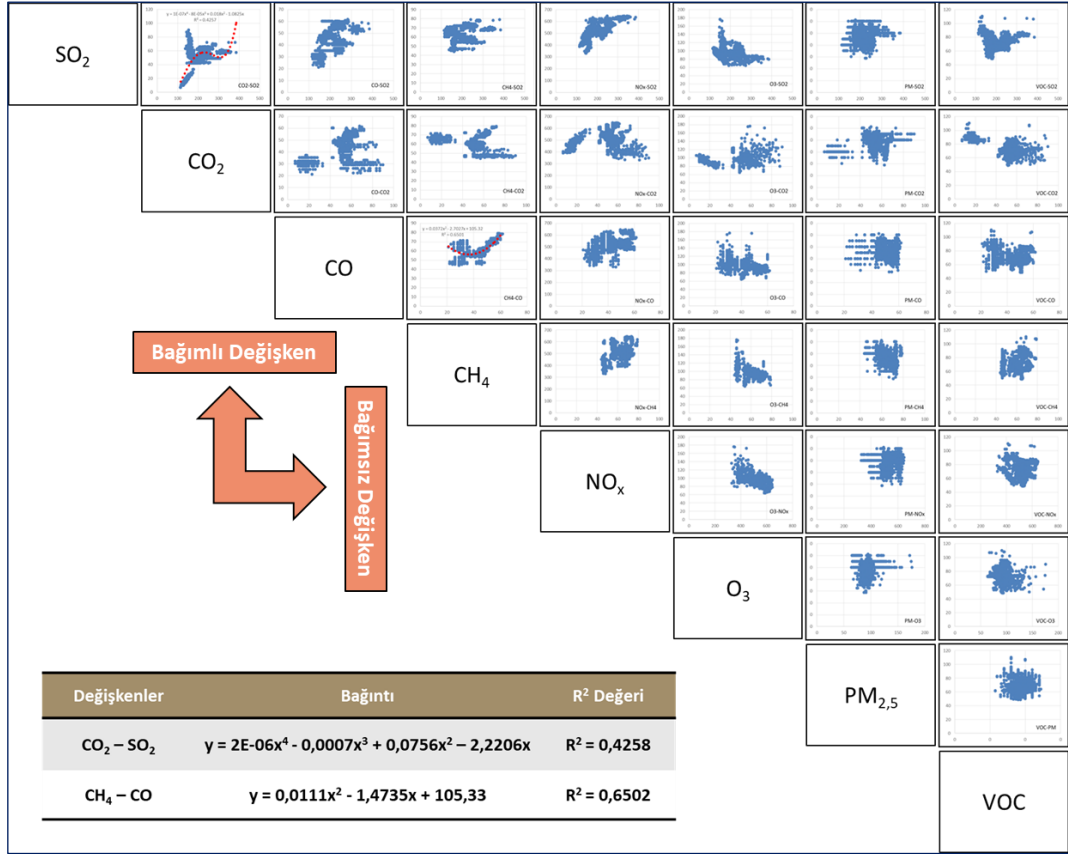
Tüm parametrelerin konsantrasyonları minimum ile maksimum değerleri arasında değişen bir aralıktadır. Örneğin,  $\text{CH}_4$  konsantrasyonu 64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ile 111  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmektedir. En yüksek aralık, minimum değeri 127  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ile maksimum değeri 295  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olan  $\text{PM}_{2,5}$  konsantrasyonlarında görülmüştür. En küçük aralık  $\text{O}_3$  konsantrasyonlarında 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ile 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasındadır. Bu değişim Şekil 4.4'de net olarak görülebilmektedir.

Kirlilik kaynaklarına yakın noktalarda, çoğunlukla konsantrasyon değerleri yüksek olduğu gibi, taşınımın etkisiyle kirlilik kaynaklarına uzak noktalarda da yüksek konsantrasyon değerleri çıkabilmektedir. Karabük ilinde özellikle kuzey ve kuzeydoğu yönünde esen rüzgârların etkisinin olduğu görülmektedir. Meteorolojik parametrelerin etkisini inceleyebilmek için sıcaklık, nem, basınç parametreleri de kirlilik parametrelerine ilave olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Şubat 2022).

Kirlilik parametreleri arasındaki ilişkiler, kirlilik kaynaklarının yorumlanmasında önemli göstergelerden biridir. Kirlilik birden fazla kaynaktan atılıyorsa, parametreler arası bağıntılar yüksek olmayacak ve rakamlar kirleticiler arasındaki ilişkileri tam olarak göstermeyecektir. Şekil 4.6'a bakıldığında, emisyonların tek bir kaynaktan kaynaklanmadığı rahatlıkla söylenebilmektedir. Özellikle ölçüm yapılan yerlerde noktasal bazlı kirlilik parametreleri arası ilişki değerlendirmeleri, kirliliğin kaynak tanımlamaları ve etkinliklerinin belirlenmesinde en önemli yöntemdir. Kaynak tanımlamaları, kirliliğin azaltılmasında ve özellikle çevre sağlığı üzerindeki negatif etkilerin yok edilmesinde kullanılmaktadır. Bu yüzden parametreler arası ilişkileri gösteren, bu çalışmalar her nokta için ayrı yapılmış ve Karabük ilinde şehir merkezlerinde çoklu kaynak, şehir merkezlerinden uzak olan noktalarda ise çoğunlukla tek kaynaktan kirlendiği net şekilde görülmüştür. Ancak meteorolojik parametrelerin etkisi de bu kapsamda ayrı olarak bahsedildiği üzere değerlendirilmiştir.

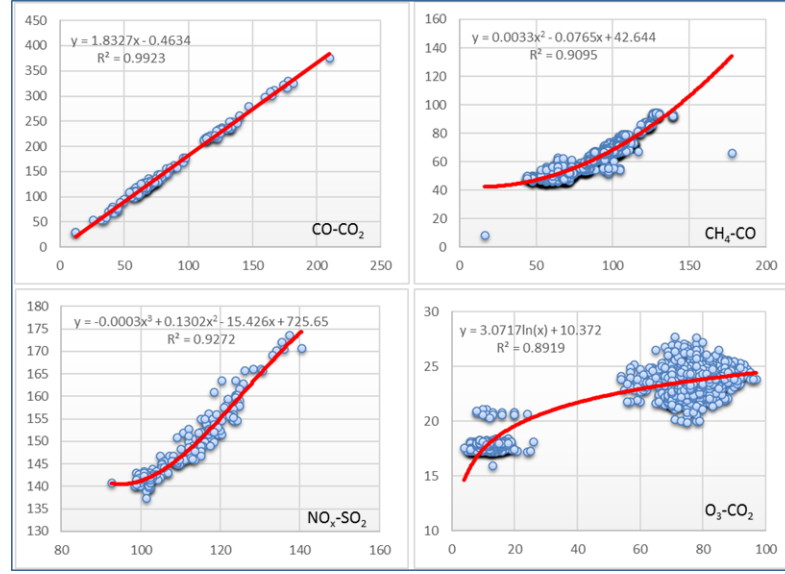


Şekil 4.6. Kirlenici parametreler arasındaki ilişkiler.

Örnek olarak seçilen 48 nolu Safranbolu-merkez ilçesindeki nokta için (Şekil 4.6) en yüksek bağıntı CH<sub>4</sub> ve CO, en düşük bağıntı ise CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> parametreleri arasında sırasıyla 0,65 ve 0,42 R<sup>2</sup> değeri ile hesaplanmıştır. Karabük ilinde emisyonun ana kaynağı sanayidir. Endüstriyel emisyonların yıllık yüzdesi %50 ile %60 arasında değişmektedir. Endüstriyel emisyon kaynaklarını %25 ile %35 arasında değişen değerlerle haneler, %10 ile %25 arasında değişen değerlerle karayolu taşımacılığı takip etmektedir. Korelasyonları yüksek olan kirleniciler arasındaki regresyon analizleri de bu çalışmada belirlenmiştir. Yüksek korelasyonlara ve R<sup>2</sup> değerlerine sahip bağıntılar, aynı kaynaklardan kaynaklanan emisyonları temsil etmektedir (Şekil 4.7). Bir diğer önemli sonuç da Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, ölçüm noktaları sanayi bölgelerine çok yakınsa, parametreler arasında daha yüksek bir korelasyon olduğudur. Eğilim doğrusal, 2. dereceden, 3. dereceden veya logaritmik olabilmektedir. En yüksek R<sup>2</sup> değeri bu bağıntılarda belirlenmiştir.

Emisyon kaynaklarını tespit etmek, onları kontrol etmenin temel adımıdır. Ancak, bazı parametreler arası bağıntı figürleri incelendiğinde, kirletici parametreler arası ilişki görülmemiştir. Bu durum, ölçüm noktalarındaki kirletici parametre analizlerinin yüksek belirsizlik değerine sahip olduğunu göstermektedir. Eğer yüksek belirsizlik tespit edilmiş ise, çoklu kaynak emisyon kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada bazı ölçüm noktaları yollar, yerleşim yerleri, il ve ilçe merkezleri, sanayi tesisleri olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca kaynak tanımlamalarını kolaylaştırmak için bu noktalardan belirli mesafelerde referans noktaları seçilerek kirlilikten uzak noktalar da çalışmaya dahil edilmiştir. Gerçek durumu yansıtmak için Karabük ili şehir merkezinden Safranbolu ilçesine kadar 50 nokta çalışmaya dahil edilmiştir. Yüksek  $R^2$  değerleri, kirletici parametrelerin emisyon kaynaklarının aynı olduğunu göstermektedir. Karabük ilinde, kirletici kaynakları çoğunlukla haneler, ulaşım ve farklı endüstriyel üretim tesisleri olarak tespit edilmiştir. Referans noktaları olarak seçilen merkezden uzak noktalarda bazı tarımsal faaliyetlerin emisyon değerlerini etkilediği tespit edilmiştir.

Safranbolu ilçesinde ise durum farklıdır. Birçok ölçüm noktası sanayi tesislerinden uzaktadır. Parametreler arasındaki ilişki Karabük iline göre daha yüksektir. Kirletici konsantrasyon değerleri atmosferik koşullara bağlı olarak daha yoğun veya daha az ölçülebilmektedir. Rüzgâr hızı yüksek olduğunda konsantrasyon değerleri azalmakta ve kirletici parametreler arasında Şekil 4.6'da görüldüğü gibi yüksek korelasyon görülmemektedir. Daha yüksek ilişkiler, kararlı atmosferik koşullar altında meydana gelmektedir. Parametreler arasında yüksek ilişkiyi gösteren doğrusal, 2. ve 3. dereceden polinom ve logoritmik bağıntılara örnekler Şekil 4.7'de verilmiştir. Görüldüğü gibi kirleticiler, aynı kaynaktan atıldığında ve çoklu olmadığında parametreler arasında yüksek korelasyon ve yüksek  $R^2$  değerine ulaşılmaktadır. Ayrıca parametreler incelendiğinde karbon emisyonları arasında,  $NO_x$  ve  $SO_2$  arasında ve ozon ile karbon emisyonları arasında yüksek  $R^2$  değerine ulaşılmıştır. Bunun başlıca sebebi çoğunlukla tekli kaynak bölgesi olan bu noktalarda, aynı tip katı yakıtın kullanılmasıdır. Kömür ve odun kullanımı bu bölgelerde yüksektir.



Şekil 4.7. Safranbolu ilçesinde yüksek ilişkili parametreler.

CO-CO<sub>2</sub> figürü için 0,9923 R<sup>2</sup> değeri, bu iki parametre arasında büyük bir korelasyon olduğunu göstermektedir. İlişki doğrusaldır. CO ve CO<sub>2</sub> kirliliği aynı kaynaktan kaynaklanmaktadır. CH<sub>4</sub>-CO arasında ikinci dereceden güçlü bir ilişki (0,91 R<sup>2</sup>) vardır. Yanmanın verimsiz olduğu ve yanma sonucunda yüksek oranda CH<sub>4</sub> ve CO emisyonu olduğunu göstermektedir. Bu yanma türü, linyit, kok kömürü, asfaltit ve diğer kömür türleri gibi katı yakıtlardan meydana gelmektedir. NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> arasındaki ilişki (0,9272 R<sup>2</sup>) de yüksek oranda katı yakıtların yandığını göstermektedir. O<sub>3</sub> ve CO<sub>2</sub> ise 0,8919 R<sup>2</sup> değerinden dolayı kaynak haricinde açık alan olmasından dolayı taşınım, nem, sıcaklık ve basınç gibi atmosferik etkilerin altında olduğu görülebilmektedir. Atmosferdeki yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yerdeki O<sub>3</sub> seviyesi üzerinde büyük etkisi vardır. Tekli emisyon kaynağı ve meteorolojik etkilerin yoğun olduğu parametreler arası ilişki çoğunlukla logaritmik olarak tespit edilmiştir.

Kirlilik parametrelerinin günlük ve aylık ortalamaları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Diğer aylar için yapılan analizler ve sonuçlar Ek Açıklamalar C’de verilmiştir. Veriler ve hesaplanan ortalamalar istatistiksel analizler uygulanarak test edilmiştir. Zaman serisi şeklindeki veriler elde edildikten sonra, aritmetik ortalamaları alınmış, ölçümlerin genel özelliklerini gösterecek şekilde seriler elde edilmiştir. İstatistiksel olarak hesaplanan seriler için, eğer standart sapmalarına göre aykırı değerler bulunduruyorsa, çarpıklığa göre standart sapmaların dışındaki değerler silinerek, gauss

dağılımı elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun amacı normal dağılım sergileyen seriler ile, yüksek doğruluk değerine sahip kirletici haritaları elde edebilmektir. Doğruluğu arttırmak ve ortalama değerlerin geneli yansıttığını yorumlamak için geometrik, harmonik, kök kare, kırpma, çeyrekler arası, orta aralık, winsorized ortalaması ve üç ortalama hesaplamaları serilere uygulanmıştır.

Çizelge 4.1. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Şubat 2022).

	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	46,64	25,81	71,45	64,00	103,83	19,37	127,35	59,86
Maksimum Değer	112,84	92,16	170,05	113,30	220,23	35,63	292,85	160,13
Ortalama Değer	66,30	54,28	109,03	81,17	157,38	25,65	217,62	84,32
Medyan	64,43	47,40	101,46	75,82	158,75	24,91	225,01	81,12
Geometrik Ortalama	65,85	51,95	107,00	80,18	156,03	25,38	214,23	83,31
Harmonik Ortalama	65,42	49,83	105,12	79,26	154,65	25,12	210,56	82,36
Kök Kare Ortalama	66,76	56,72	111,16	82,21	158,69	25,92	220,70	85,38
Kırpma Ortalaması (%10)	66,02	53,64	108,03	80,33	157,19	25,57	218,38	83,62
Çeyrekler Arası Ortalama	65,00	50,59	104,50	77,83	158,23	25,32	223,98	82,35
Orta Aralık	79,74	58,98	120,75	88,65	162,03	27,50	210,10	110,00
Winsorized Ortalama	66,17	53,99	108,67	80,60	156,67	25,61	217,41	83,78
Üç Ortalama	65,21	51,75	105,06	78,67	157,99	25,30	221,92	82,43
Varyans	61,46	270,41	469,06	170,66	416,04	13,88	1352,04	179,77
Standart Sapma	7,84	16,44	21,66	13,06	20,40	3,73	36,77	13,41
Çeyrekler Arası Aralık	12,27	30,32	34,23	23,43	24,36	6,83	46,54	22,95
Aralık	66,20	66,35	98,60	49,29	116,40	16,26	165,50	100,26
Ortalama Fark	8,77	18,30	24,21	14,32	22,78	4,26	41,26	14,86
Medyan Mutlak Sapma	5,50	9,05	13,87	7,02	11,92	3,27	20,54	10,31
Ortalama Mutlak Sapma	6,41	13,79	18,01	10,83	15,62	3,27	29,05	11,53
Çeyrek Dağılım	0,09	0,27	0,16	0,14	0,08	0,13	0,11	0,14
Bağıl Ortalama Fark	0,13	0,34	0,22	0,18	0,14	0,17	0,19	0,18
Standart Hata	0,08	0,18	0,23	0,14	0,22	0,04	0,39	0,14
Varyasyon Katsayısı	0,12	0,30	0,20	0,16	0,13	0,15	0,17	0,16
Çarpıklık	0,63	0,59	0,65	0,75	0,02	0,27	-0,52	0,73
Basıklık	2,96	1,99	2,22	2,26	3,05	1,75	2,36	3,40

Çizelge 4.1’de verilen örnekte olduğu gibi ortalama değeri kullanmak seri karakteristiğini bozmamaktadır. Ancak bu durum her ortalama değer de görülmemektedir. Farklı ortalamalar görülen serilerde çarpıklık, basıklık, varyasyon katsayısı ve standart hata değeri önem kazanmaktadır. İstatistiksel olarak aykırı



değerlerin seri içerisinde çıkarılması ile varyans, standart sapma, ortalama fark, dağılım, sapma hesaplamaları ve bağıl ortalama farklarının düzenlenip düzenlenmediği hesaplanmıştır. Eğer istatistiksel olarak bu değerler zaman serisinin tanımını, dağılımını ve seri tutarlılığını vermiyor ise, ölçümlerin rastgele ölçümler olduğu ve zaman serisi olarak incelenemeyeceğini bizlere göstermektedir. Bu durumdaki serilerin çoğunlukla bir alet hatasından veya sensör kaynaklı bir arızadan olduğu yorumu yapılabilmektedir. Bu tip seriler, birkaç ölçümden fazla değildir ve çalışma kapsamında çıkarılmıştır. Hatalı olarak adlandırılacak bu ölçümlerin tamamı alet kalibrasyonlarının yapılmadan, aletler kullanılarak alınan ölçümler olduğu görülmüş ve her ölçüm aletinin kalibre edilmesinden sonra ölçümler alınmıştır.

İstatistiksel olarak ortalamalara uygulanan belirsizlik analizleri de yapılan çalışmaların kabul edilebilir sınırlar dahilinde olduğunu göstermektedir [14,70]. Bir serinin belirsizlik değeri verinin kararsızlık durumunu hakkında bilgi vermektedir. Çizelge 4.2’de verilen değerlere göre minimum %3,18 ile maksimum %19,15 arasında kirlilik serilerindeki belirsizlikler hesaplanmıştır. Bu değerler IPCC 2006 rehberine göre aktivite verileri için kabul edilebilir sınır olarak görülmektedir. Örnek olarak kış mevsimi için Şubat ve yaz mevsimi için Haziran ayı çizelgede gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm ortalama verilere belirsizlik hesaplaması uygulanmış ve belirsizlik aralıkları belirlenmiştir.

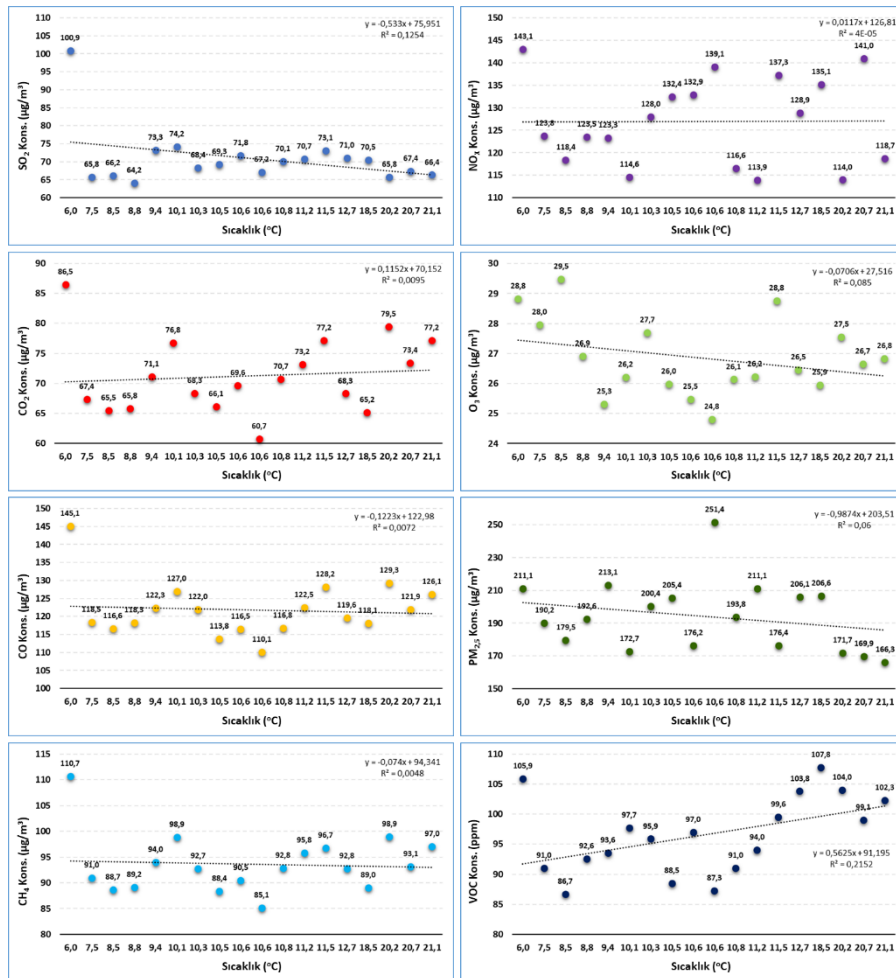
Çizelge 4.2. Belirsizlik analizleri.

		SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Şubat	SEM	1,81	2,84	3,46	2,10	4,38	0,62	7,54	2,42
	Belirsizlik (%)	10,53	19,15	12,36	9,86	11,94	9,41	14,13	10,38
Haziran	SEM	2,12	0,80	1,89	1,14	1,05	2,39	1,15	0,84
	Belirsizlik (%)	16,11	12,06	9,05	7,50	10,68	10,93	5,63	5,49
Genel	SEM Aralık	1,81-3,22	0,74-2,84	1,89-5,0	1,14-3,07	1,05-4,38	0,60-2,39	0,73-8,25	0,84-2,62
	Belirsizlik Aralık (%)	8,25-16,11	12,0-19,15	9,05-16,86	6,19-14,19	8,96-11,94	9,41-12,28	3,18-17,05	5,49-10,38

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi Şubat ayı için sırasıyla SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve VOC parametreleri için %10,53, %19,15 (**CO<sub>2</sub> için en yüksek belirsizlik değeri**), %12,36, %9,86, %11,94, %9,41 (**O<sub>3</sub> için en düşük belirsizlik değeri**), %14,13

ve %10,38 olarak hesaplanmıştır. Kış aylarında SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> haricindeki tüm parametreler için belirsizlik değeri daha yüksek çıkmıştır. Haziran ayı için yapılan çalışmalarda ise belirsizlik değeri SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> ve PM<sub>2,5</sub> parametreleri için sırasıyla, %16,11 (*SO<sub>2</sub> için en yüksek belirsizlik değeri*), %12,06, %9,05, %7,50, %10,68, %10,93, %5,63 ve %5,49 (*VOC için en düşük belirsizlik değeri*) olarak hesaplanmıştır.

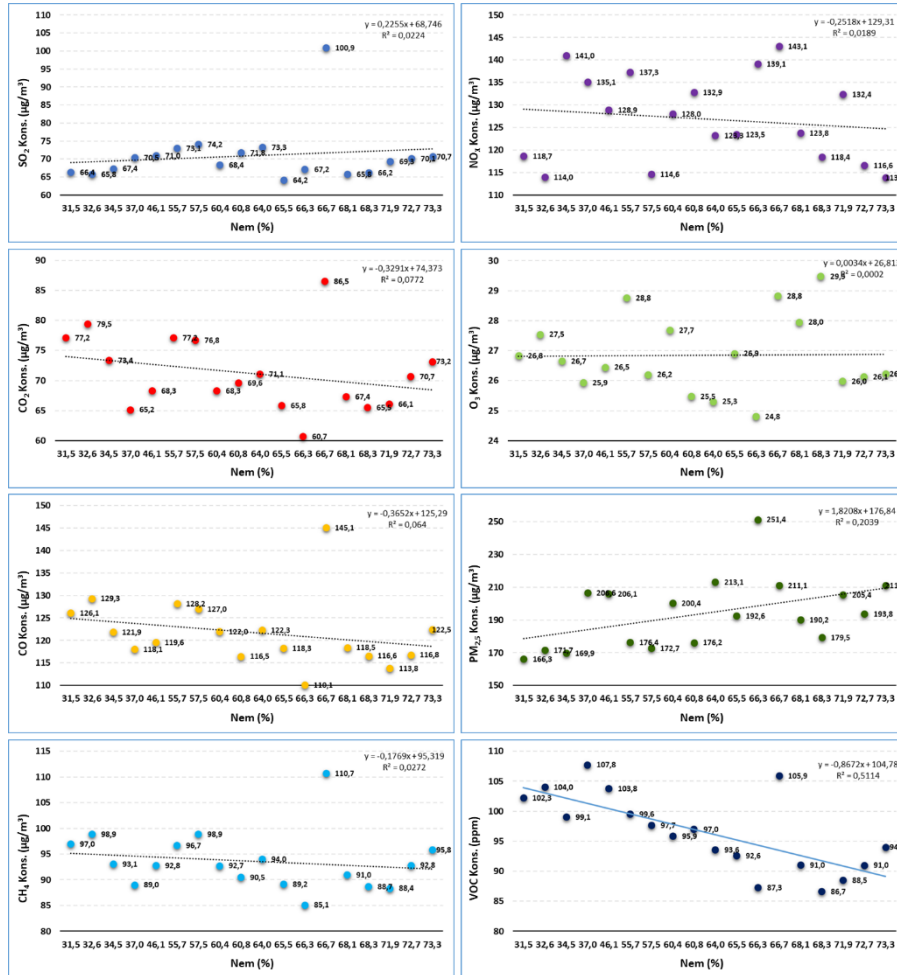
Kirleticiler üzerinde mutlak etkisi olduğu düşünülen meteorolojik parametreler (*sıcaklık, nem ve basınç*) bu çalışmada araştırılmıştır. Özellikle nem, sıcaklık ve basınç değişim aralığının yüksek olduğu Şubat ayı seçilmiş ve bu ay için ölçülen sıcaklık, nem ve basınç değerlerinin parametreler üzerindeki etkisi detaylı incelenebilmiştir.



Şekil 4.8. Atmosfer sıcaklığının kirlilik parametreleri üstündeki etkisi.

Meteorolojik veriler ile kirlilik parametreleri arasındaki korelasyon grafikleri incelenmiştir. Sıcaklık, nem ve basınç etkileri artış ve azalışlarına bağlı olarak kirlilik parametrelerinin konsantrasyon değişimleri doğrusal olarak test edilmiştir [145,146,147].

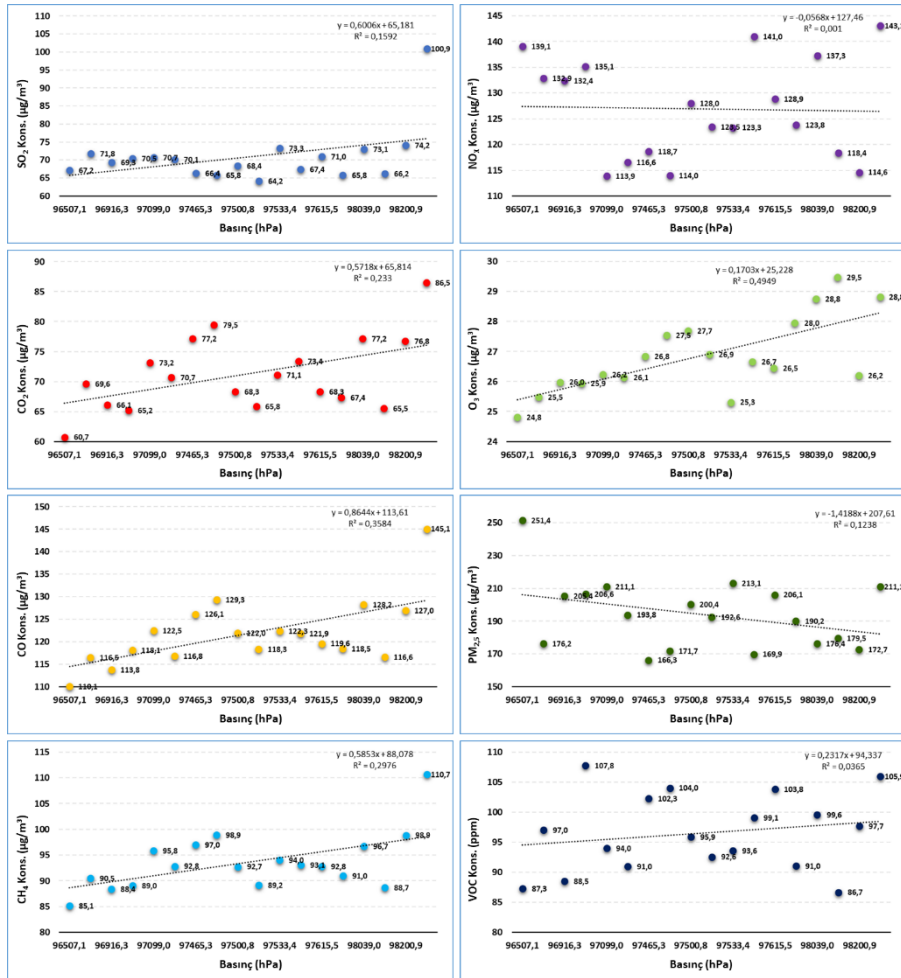
Şekil 4.8’de verilen grafik incelendiğinde sıcaklığın hiçbir parametre üzerinde net bir değişime sebep olmadığı görülmektedir. 2022 yılı sıcaklık farkı Şubat ayı için minimum 6 °C ve maksimum 21,1 °C olarak ölçülmüştür. Ölçüm alınan tüm noktalar için ortalama değerler kullanılarak bu grafikler oluşturulmuştur. Bu noktaların çoğunluğunda, çoklu kirletici kaynağından etkilenmesi sıcaklık anomalisi ile kirlilik eğilimini doğrusal olarak vermemiştir.



Şekil 4.9. Atmosfer nem oranının kirlilik parametreleri üstündeki etkisi.

Diğer önemli bir parametre ise nem değeridir. Nem değerinin özellikle VOC üzerinde bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Bu etki net bir etki olmamakla beraber Şekil 4.9'a göre nem oranı arttığında, VOC konsantrasyonu azalmaktadır. Aralarında ters bir orantı olduğu görülmektedir. Şubat ayında nem oranı %31,5 ile %73,3 aralığında görülmüştür.

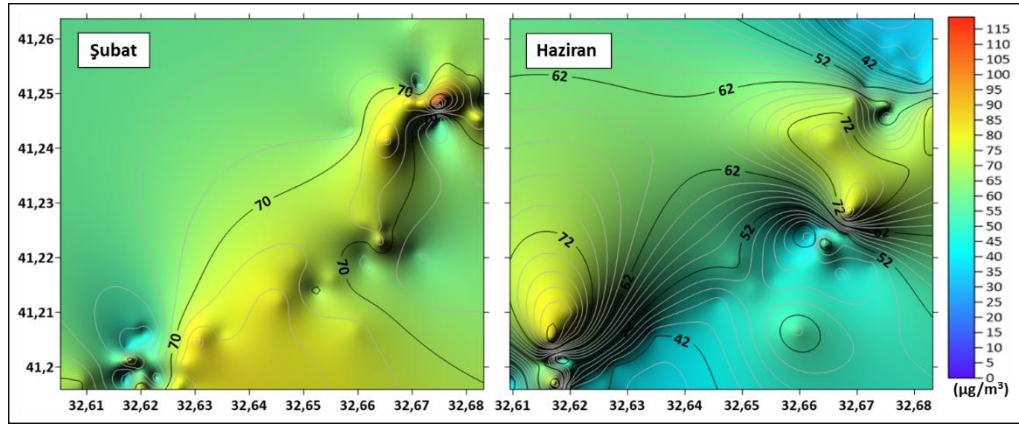
Şekil 4.10 incelendiğinde atmosfer basıncının O<sub>3</sub> üzerinde bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Atmosfer ozon değeri basınç artışı ile beraber artmaktadır. Bu veriler incelenirken özellikle 50 noktaya göre basınç, sıcaklık ve nem etkisinin incelenmesi bağıntılar arasındaki korelasyonu ve buna bağlı olarak R<sup>2</sup> değerini düşürebilmektedir.



Şekil 4.10. Atmosfer basıncının kirlilik parametreleri üstündeki etkisi.

Sonuç olarak sıcaklığın kirleticiler üstünde net bir etkisinin olmadığı, nemin artmasıyla VOC değerinin nem oranına ters orantılı olarak azaldığı ve atmosfer basıncının artmasının ise O<sub>3</sub> konsantrasyonunu arttırdığı görülmüştür.

Haritalar Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Kirlilik verileri harita üzerindeki koordinatlara göre listelenmiş ve Kriging yöntemi kullanılarak veriler il haritası üzerinde işlenmiştir. ARCGIS programı kullanılarak kontur eğrileri çizilmiştir. Kirletici parametrelerin kış ve yaz aylarındaki değişimlerinin incelenmesi için Şubat ve Haziran ayları seçilmiştir. Üretilen tüm haritalar ayrıca Ek Açıklamalar D'de detaylı bir şekilde verilmiştir. SO<sub>2</sub> parametresi için kirlilik haritaların karşılaştırılması Şekil 4.11'de verilmiştir.

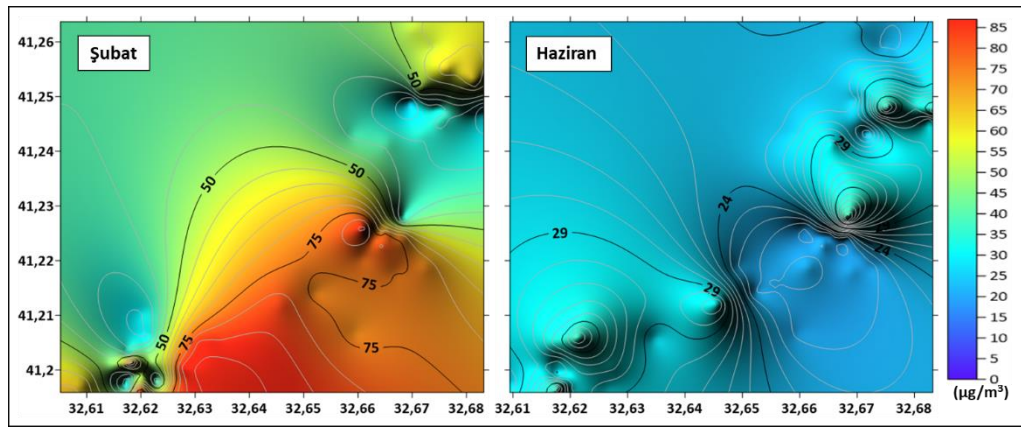


Şekil 4.11. Şubat ve Haziran ayları için SO<sub>2</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

Şubat ayında ortalama SO<sub>2</sub> değeri 69 µg/m<sup>3</sup> iken Haziran ayında bu ortalama 53 µg/m<sup>3</sup>'e düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 43 ve 137 µg/m<sup>3</sup> tür. Bu değer Haziran ayında ise 25 ve 113 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. SO<sub>2</sub> kirliliğinde sanayi, motorlu taşıtlar ve haneler etkin olarak rol oynamaktadır. Kış aylarında hanelerde ısınma amacıyla kullanılan fosil yakıtların etkisi ile kirlilik daha fazla hissedilmektedir. Yaz aylarında hanelerin etkisi ortadan kalktığı için bir düşüş olmakta fakat yıl boyunca üretime devam eden sanayi ve motorlu taşıtlardan dolayı SO<sub>2</sub> kirliliği hissedilmeye devam etmektedir. SO<sub>2</sub> emisyonu çoğunlukla katı yakıt yanmasından kaynaklanmaktadır. Katı yakıt içerisindeki kükürt miktarı yanma işlemi sırasında atmosfere SO<sub>2</sub> olarak yayılmaktadır. Karabük ilinde özellikle sanayi üretim tesislerin yoğun kömür kullanmaları neticesinde her ne kadar ortalama emisyon

değerleri günlük hesaplandığından düşük gibi görülsede, günün belirli saatlerinde SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yüksek olması dikkat çekmektedir.

CO<sub>2</sub> parametresi incelendiğinde (Şekil 4.12) Şubat ayında ortalama CO<sub>2</sub> değeri 60 µg/m<sup>3</sup> iken Haziran ayında bu ortalama 27 µg/m<sup>3</sup>'e düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 22 ve 105 µg/m<sup>3</sup> tür. Haziran ayında minimum CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 17 ve maksimum CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ise 58 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

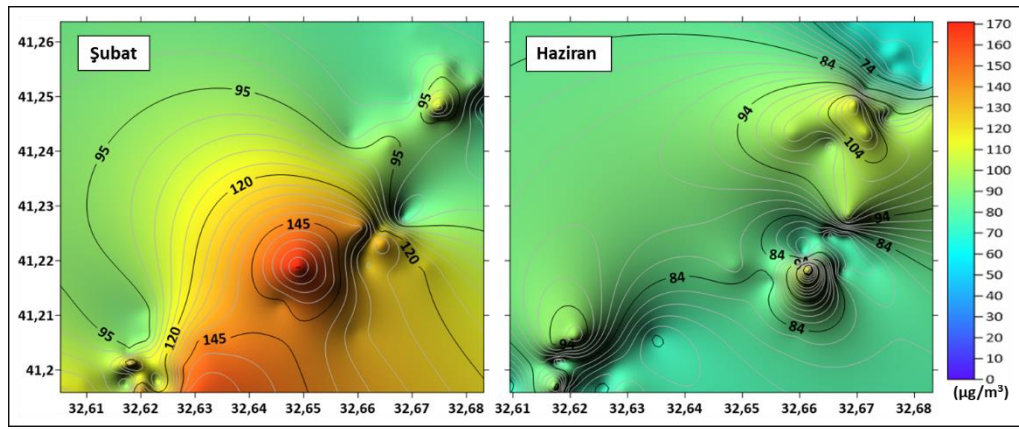


Şekil 4.12. Şubat ve Haziran ayları için CO<sub>2</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

CO<sub>2</sub> kirliliği endüstriyel faaliyetlerinin, motorlu taşıtların yoğunlukta olduğu bölgelerde daha fazla hissedilmektedir. Ancak bu kirletici değerinin aylık ortalamaları yansıttığı ve gün içerisinde özellikle sanayi tesislerinin çalıştığı, yol trafiğinin yoğun olduğu ve hane bacalarından dumanların yükseldiği kış günlerinde insan sağlığını tehdit eden ölçüm değerleri ile karşılaşılmıştır. Bunun anlamı yanma kaynaklı emisyonların aslında belirli zamanlarda kontrol altında tutulması gerektiğidir. Özellikle CO<sub>2</sub> emisyonu iklim değişikliği çalışmalarında önemli bir göstergedir. CO<sub>2</sub> emisyon ölçümünü yapan sensörler, Bakanlığın CO<sub>2</sub> ölçümü yapmamasından dolayı, kalibre edilememiş olmasına rağmen, CO<sub>2</sub> konsantrasyon ölçümleri üretilen tüm ekipmanlarda standart ölçüm yapacak şekilde ayarlanmıştır.

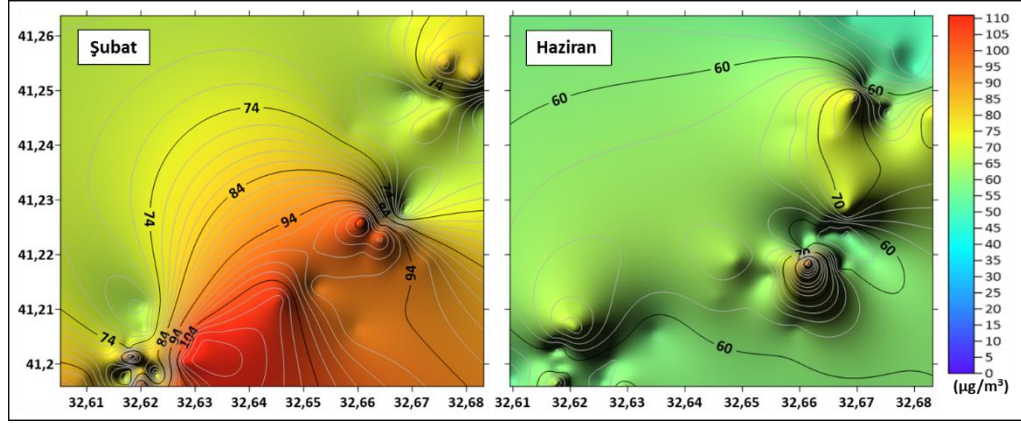
CO parametresi incelendiğinde ise (Şekil 4.13) Şubat ayında ortalama CO değeri 113 µg/m<sup>3</sup> iken Haziran ayında bu ortalama 84 µg/m<sup>3</sup>'e düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 70 ve 189 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

Haziran ayında ise minimum ölçüm değeri 55 ve maksimum ölçüm değeri ise 176  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. CO kirliliği endüstriyel faaliyetlerinin, motorlu taşıtların yoğunlukta ve tam olmayan yanmaların çoğunlukta olduğu bölgelerde yüksek, diğer yerlerde ise daha düşük olduğu görülmüştür. CO emisyonu verimsiz yanmanın sonucudur. Yeterli oksijeni bulamayan karbon, CO veya  $\text{CH}_4$  olarak atmosfere salınmaktadır. Bu yüzden yüksek CO değeri istenmeyen ve boğucu bir gaz olarak atmosfere salındığında, çevre üzerinde olumsuz etkilerinin olabileceği ve özellikle canlıları etkileyebileceği unutulmamalıdır.



Şekil 4.13. Şubat ve Haziran ayları için CO kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

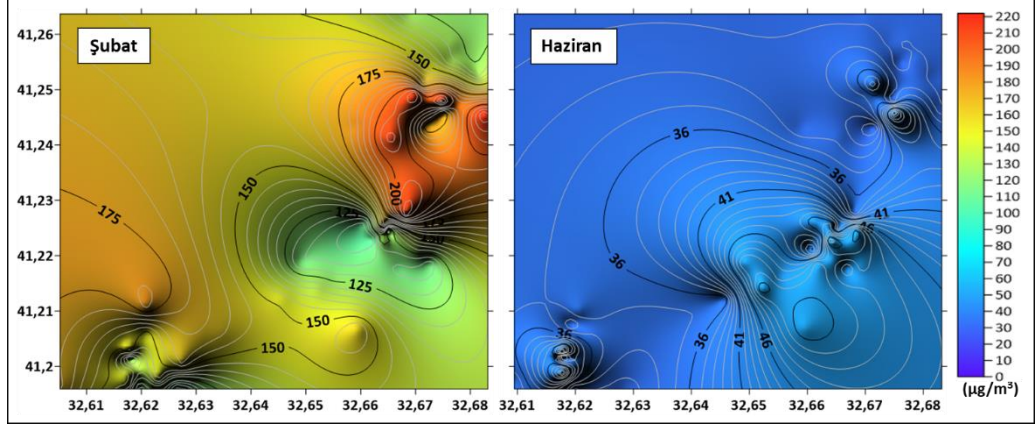
$\text{CH}_4$  parametresi incelendiğinde (Şekil 4.14) Şubat ayında ortalama  $\text{CH}_4$  değeri  $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iken Haziran ayında bu ortalama  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla  $61$  ve  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerindedir. Haziran ayında ise minimum ve maksimum  $\text{CH}_4$  değeri sırasıyla  $46$  ve  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Metan emisyonu da verimsiz yanmanın bir sonucudur. Atmosfere atıldığında uzun vadede okside olarak  $\text{CO}_2$  dönüşür. İklim değişikliği üstünde etkisi büyüktür. Metan yüksek ısı tutma kapasitesine sahip, entalpi değeri yüksek ve iklim değişikliğini direk etkileyen seragazlarından bir tanesidir.



Şekil 4.14. Şubat ve Haziran ayları için CH<sub>4</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

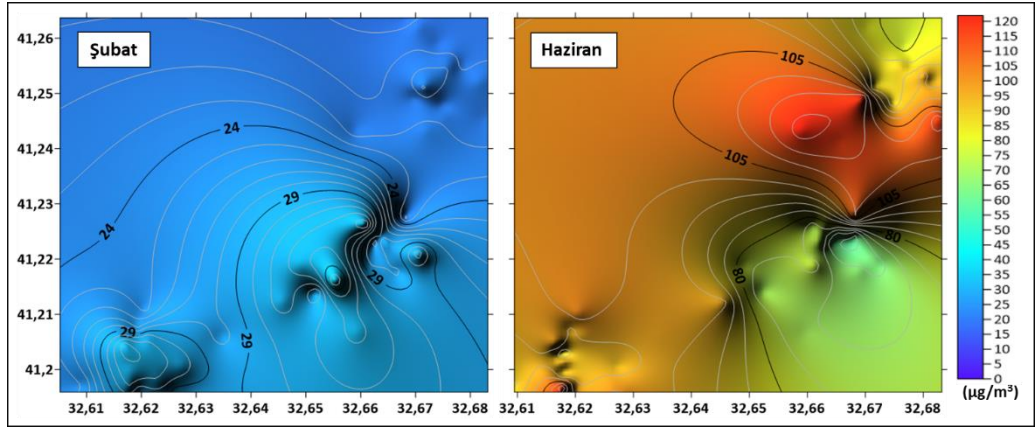
NO<sub>x</sub> parametresi incelendiğinde (Şekil 4.15) Şubat ayında ortalama NO<sub>x</sub> değeri 148 µg/m<sup>3</sup> iken Haziran ayında bu ortalama değer 40 µg/m<sup>3</sup>'e kadar düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 78 µg/m<sup>3</sup> ve 229 µg/m<sup>3</sup> tür. Haziran ayında ise minimum NO<sub>x</sub> değeri 20 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Aynı ay için maksimum NO<sub>x</sub> değeri ise 59 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. NO<sub>x</sub> kirliliğinin büyük bir kısmı motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların kullanılmasında NO<sub>x</sub> konsantrasyonunu etkilemektedir. Motorlu taşıtların yoğun olduğu bölgelerde ve kalabalık yerleşim yerlerinde yüksek konsantrasyon değerleri görülmüştür. Özellikle kış aylarında araçların ilk çalışma anında, araç motorunun yeterince ısınmaması ve yakıt cinsine bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonu arttırabilmektedir. Yeni nesil araçlarda katalitik konvertör, enerji verimliliğinin bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak yanmanın yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi verimli yanmayı sağlarken, özellikle atmosferden alınan havanın içindeki azot bileşikleri yüksek oranda okside olmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonunu arttırmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonu ölçümlerinin özellikle sanayi bölgelerinde ve karayollarına yakın noktalarda yüksek olduğu görülürken, sanayi ve karayollarından uzak, ancak tarımsal faaliyetlerin özellikle hayvancılık yapılan yerlere yakın noktalarda da yüksek olduğu görülmüştür. Karabük ilinde emisyon kaynaklarının tamamı bu kirletici konsantrasyonunu arttırmaktadır.





Şekil 4.15. Şubat ve Haziran ayları için NO<sub>x</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

O<sub>3</sub> parametresi incelendiğinde (Şekil 4.16) Şubat ayında ortalama O<sub>3</sub> değeri 27 µg/m<sup>3</sup> iken Haziran ayında bu ortalama 88 µg/m<sup>3</sup>'e yükselmektedir. O<sub>3</sub> parametresi diğer parametrelerden farklı bir eğilim göstermektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 19 ve 43 µg/m<sup>3</sup> tür. Haziran ayında ise minimum konsantrasyonu 55 ve maksimum konsantrasyon değeri 270 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. İkincil kirleticilerden olan O<sub>3</sub>, ısı üretimi amacıyla kullanılan fosil yakıtlardan ve motorlu taşıtların egzozlarından çıkan azot oksitler ile hidrokarbonların atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonları sonucunda oluşmaktadır.

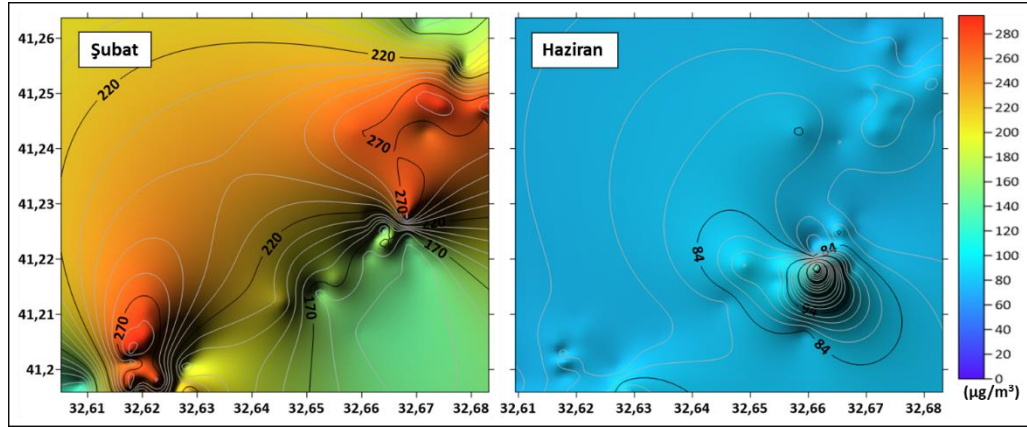


Şekil 4.16. Şubat ve Haziran ayları için O<sub>3</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

Oksijenin daha bol olduğu yaz aylarında güneş ışınlarının etkisiyle O<sub>3</sub> konsantrasyonları daha yüksek iken kış aylarında bu değerler oldukça düşük konsantrasyon değerlerine düşmektedir. Ölçüm yapılan noktalar incelendiğinde diğer

kirleticilerin konsantrasyon artışı ozonun azalmasına, diğer kirleticilerin konsantrasyonunun düşmesi ise ozonun yükselmesine sebep olduğu görülmüştür. Bu kirleticiler arasında özellikle NO<sub>x</sub> kirleticisi ile O<sub>3</sub> arasındaki ilişkileri ortaya koyan çok sayıda bilimsel makale bulunmaktadır [148,149,150].

PM<sub>2,5</sub> parametresi incelendiğinde (Şekil 4.17) Şubat ayında ortalama PM<sub>2,5</sub> değeri 215 µg/m<sup>3</sup> iken Haziran ayında bu ortalama 82 µg/m<sup>3</sup>'e düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 52 ve 490 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Haziran ayında ise minimum PM<sub>2,5</sub> değeri 46 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülürken, maksimum PM<sub>2,5</sub> değeri 192 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Doğal rüzgâr etkilerinin yanında, endüstriyel kırma, ufalama, ezme ve parçalama gibi işlemler, her türlü inşaat faaliyetleri, motorlu taşıtların kullanımı ve fosil yakıtların yanması büyük miktarlarda partiküler maddenin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Özellikle kış aylarında yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde katı yakıtlar olarak adlandırılan kömür, tezek, odun ve tarımsal atıkların yakılması sonucu, PM<sub>2,5</sub> konsantrasyon değerlerinin çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

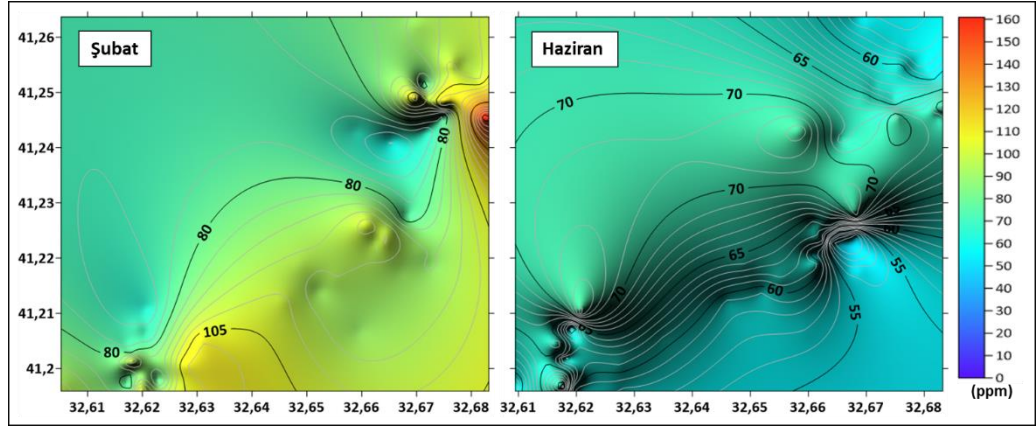


Şekil 4.17. Şubat ve Haziran ayları için PM<sub>2,5</sub> kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

VOC parametresi diğer parametrelerden kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı oldukça farklıdır. Çok düşük sıcaklıkta kaynama noktasının olması, yüksek basınç etkisi yaratması, ve koku etkisi bu kirleticiyi farklı bir noktaya taşımaktadır. Organik bir yapısı bulunmaktadır [151,152]. VOC haritası incelendiğinde (Şekil 4.18) Şubat ayında ortalama VOC değeri 94 ppm iken Haziran ayında bu ortalama değer 61 ppm'e düşmektedir. Şubat ayı için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 55 ve 161 ppm

olarak ölçülmüştür. Haziran ayında ise minimum ve maksimum VOC değerleri sırasıyla 41 ve 129 ppm olarak ölçülmüştür. Yerleşim bölgelerinin yoğun olduğu yerlerde VOC konsantrasyon değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Her türlü yakıtın yanması sonucu yüksek oranda VOC atmosfere salınmaktadır.

Kış mevsiminde Karabük'te kömür tüketimi oldukça fazladır. Isınma amacıyla doğalgaz kullanılmasına rağmen kömür kullanan hane sayısı oldukça fazladır. Kömür kullanımının özellikle PM<sub>2.5</sub> ve SO<sub>2</sub> üzerinde bir etkisi bulunmaktadır. Bölgesel olarak veriler incelendiğinde bu iki kirlilik parametresi katı yakıtlar ve özellikle kömür kullanılan noktalarda daha yüksek konsantrasyon değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.18. Şubat ve Haziran ayları için VOC kirlilik haritalarının karşılaştırılması.

Haritalarda yüksek konsantrasyon noktaları (sivri tepeler) çok dikkat çekicidir. Bu bölgeler yoğun ulaşımın olduğu anayol, sanayi noktalarına yakın ve/veya hane sayılarının çok olduğu bölgelerdir. Her ölçümde bu noktalar en yüksek konsantrasyon değerlerinin ölçüldüğü noktalar olarak görülmüştür. Sürekli emisyonlar nedeniyle, bu noktalarda her zaman kirletici konsantrasyonu diğer ölçüm noktalarına göre daha yüksek ölçülmüştür. Haritalar incelendiğinde Şubat ayında ölçülen O<sub>3</sub> dışındaki tüm parametrelerin konsantrasyonu, Haziran ayında ölçülen değerlerden daha yüksektir. Haritalar dikkate alındığında minimum ve maksimum konsantrasyon değerleri arasındaki farkların parametreler içinde farklı olduğu görülebilmektedir. Aylık ortalama kirlilik konsantrasyon değerleri incelendiğinde, maksimum farklar, sırasıyla PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> parametreleri için 132, 108 ve 61 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> için sırasıyla 16, 33, 29, 24 µg/m<sup>3</sup> ve VOC için 32

ppm'dir. Kış mevsiminde hanelerden kaynaklanan emisyonların kirletici konsantrasyonlarını %50'den fazla değiştirmediği sonucuna varılabilmektedir. Karabük ilinde s¼rekli emisyonlar nedeniyle sanayiler çok etkilidir. Hesaplamalar ortalama değerler kullanılarak yapılmaktadır (Bkz. Ek Açıklamalar C).

B¼lgenin topoğrafyası, kirlilik konsantrasyon dağılımı için oldukça etkindir. Daha y¼ksek konsantrasyonlar genellikle daha y¼ksek rakımlarda ¼l¼lmektedir. Karabük ilinin sanayiye yakın b¼lgeleri, trafiğin yoğun olduğu yollar ve merkezler kirlilik açısından y¼ksek oranda kirlenmiş olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak aykırı değerler serilerden çıkarıldıktan sonra ortalama değerlere g¼re, en y¼ksek konsantrasyon değeri PM<sub>2,5</sub> parametresi için 293 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. şubat ayı için ortalama konsantrasyon 210 µg/m<sup>3</sup> civarındadır, bu da bazı noktalardaki PM<sub>2,5</sub> konsantrasyon değerlerinin diğer noktalara g¼re çok d¼ř¼k olduğu anlamına gelmektedir. şehrin g¼neyinin daha alçak bir konumda olması sebebiyle, r¼zg¼r hızının 3 m/s'den fazla olduğu g¼nlerde, kuzey ve kuzeydoğu b¼lgesine g¼re daha temiz olduğu tespit edilmiştir. R¼zg¼r genellikle atmosfer kirliliğini şehrin kuzeydoğusuna taşımaktadır. Bu akım hattı giderek artan bir kotta olup, sınırları Safranbolu ilçe merkezinde son bulmaktadır.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava kirliliği, endüstriyel ve nüfuslu büyük şehirlerde büyük bir sorundur. Hava kirliliğinin yüksek bir yüzdesi sanayiden kaynaklansa da, diğer kaynaklar da kirliliğin oluşmasında çok etkili olabilmektedir. Tüm kaynakların kirlilik üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için şehrin tamamında atmosferik kirlilik ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Şehirde kurulan kirlilik ölçüm istasyonları hava kalitesinin kontrolü açısından oldukça önemlidir. Bu ölçüm istasyonlarında birçok parametrenin (kirleticisi) ölçümü sürekli olarak yapılabilmektedir. Karabük ilinde 4 ana istasyon bulunmaktadır. Safranbolu ilçesinde sadece bir istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlar Karabük ilinin hava kirliliği haritasını oluşturmak için yeterli değildir.

Karabük ilinin hava kirliliği haritasının oluşturulabilmesi için, Karabük ilinin birçok noktasında kirliliğin ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için taşınabilir bir hava kirliliği ölçüm cihazı tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu cihaz arduino tabanlı bir hava kirliliği kontrol sistemidir. SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2,5</sub> ve VOC parametrelerini ölçebilmektedir. Ölçüm cihazı, ölçüm yapılan yerin koordinatlarını bulmak için GPS kullanılarak uydulara bağlanan mobil bir sistemdir. Hava kirliliği parametrelerinin konsantrasyonunu, başka herhangi bir ek ekipmana ihtiyaç duymadan, istenilen bölgede ölçmek bu ekipman ile mümkün olmuştur. Ölçülen değerler SD karta kaydedilmektedir. Atmosfer sıcaklıkları (°C), nem (%) ve basınç (Pa) gibi meteorolojik parametreler de otomatik olarak ölçülmektedir. Gerekirse, rüzgâr hızını ölçmek için ekipmanlara portatif bir anemometre de bağlanabilmektedir. Toplanan bu veriler kullanılarak her bölge için detaylı kirlilik haritaları hazırlanabilmektedir. Rüzgârın, atmosfer basıncının ve atmosferik sıcaklıkların kirlilik dağılımı üzerindeki etkileri de dikkate alınmış ve incelenmiştir. Safranbolu ilçesine kirleticilerin taşınmasında hızı 3 m/s'nin üzerinde olan kuzey ve kuzeydoğu kuzeydoğu rüzgarları oldukça etkilidir. Kirlilik taşınımı sebebiyle Safranbolu'daki bazı yerleşim yerlerinde, yer seviyesindeki kirleticisi konsantrasyonları daha yüksek çıkmaktadır. Özellikle bu bölgelerde sadece hanelerin yer alması taşınım etkisini de ortaya koymaktadır.

Rakım, atmosfer sıcaklığı, atmosfer basıncı ve rüzgâr, hava kirliliğinin dağılımı için hassas parametrelerdir. Karabük ilinde ölçüm noktalarının çoğu farklı kirlilik kaynaklarından etkilenmektedir. Bu, dağılım diyagramlarından açıkça görülebilmektedir.

Yollardan, endüstrilerden ve evlerden uzaktaki izole ölçüm noktaları için, kirlilik parametreleri arasındaki korelasyonun tespit edildiği regresyon ilişkileri elde edilmektedir. Bu, yüksek bir  $R^2$  değeri ile ifade edilebilmektedir. Parametreler arasında doğrusal, polinom (2. ve 3. derece) ve logaritmik dahil her türlü bağıntı elde edilebilmektedir. Analizler ve haritalamalar için kirleticilerin günlük ve aylık ortalama konsantrasyonları kullanılmıştır. Ortalamalar, ortalama (geometrik, harmonik, kök, çeyrekler arası, Winsorized), medyan, orta aralık, çarpıklık ve basıklık analizleri ile belirlenmektedir. Bu istatistiksel analizler, veri kümelerindeki birçok aykırı değeri çıkardıktan sonra kabul edilebilir bir ortalama değer vermektedir.

Kış aylarında hava kirliliği önemli ölçüde artmaktadır. Ancak  $O_3$  parametresi diğer kirleticilere göre farklı bir eğilim göstermektedir. Bu parametrenin konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde artmaktadır. Atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonların artan hızı nedeniyle  $O_3$  konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Esas olarak karayolu taşımacılığında kaynaklanan yakıtların verimsiz yanmasından kaynaklanan VOC, güneş ışığının yüksek atmosferik sıcaklıkları altında fotokimyasal reaksiyonlarla ozon konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Bu artış bahar haritalarında rahatlıkla görülebilmektedir.

Tüm parametrelerin ortalama konsantrasyon aralığı aşağıdaki gibi bulunmuştur: Örneğin,  $CH_4$  konsantrasyonu  $64 \mu g/m^3$  ile  $111 \mu g/m^3$  arasında değişmektedir.  $PM_{2,5}$  konsantrasyon aralığı  $127 \mu g/m^3$  ile  $295 \mu g/m^3$  arasındadır. En küçük aralık  $O_3$  konsantrasyonları için belirlenmiştir. Aralık yalnızca  $19 \mu g/m^3$  ile  $36 \mu g/m^3$  arasındadır.

Çalışmada eş zamanlı ölçüm sayıları üretilen alet sayısı ile sınırlı kalmayacak şekilde arttırılarak, 24 saatlik ölçümler ile, 50 noktada sürekli olarak tekrarlanabilir.

Kesikli ölçümlerin alınması bu çalışmanın en zayıf noktası olarak görülmektedir; ancak 50 noktada alınan ölçümlerin, haftaiçi ve haftasonu için, trafiğin yoğun olduğu veya sakin olduğu saatler için, gündüz ve gece saatlerine göre ayrı planlanması ile çalışmanın kalitesinin arttırılacağı düşünülmüştür. Her noktadaki ölçüm, her ay için minimum 3 maksimum 8 saati tamamlayacak şekilde ölçümlerin alınması çalışmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmıştır.

Bunun yanında özellikle 2 noktada sürekli ölçüm alınmıştır. Bu iki noktadaki ölçüm değerleri ile diğer ölçümü yapılan noktalardaki kirlilik verileri karşılaştırılarak verilerin artış ve azalış eğilimleri de her nokta için incelenmiştir. İstatistiksel analizler ile seri güvenilirliği arttırılarak, haritalarda kullanılacak olan ortalama değerlere ulaşılmıştır. Karabük iline ait kirlilik veri tabanı kapsamlı ve meteorolojik verileri de içeren bir veri tabanıdır. Kirlilik haritalaması, Karabük ili için ilk defa yapılmıştır. Çalışma bu kapsamda en detaylı çalışma olup, özgün bir çalışma niteliği taşımaktadır.

Çalışma eş zamanlı çoklu parametre ölçümüne dayanması sebebiyle sadece Ülkemizde değil, uluslararası bilim alanında da ilk olma özelliği taşımaktadır. Çoklu ölçümler olarak nitelendirilen bu bazda çalışmalar yapılarak, kirlilik haritaları oluşturulmamıştır. Söz konusu çalışma sonuçları, bilimsellik, çevresel boyut ve ekonomik olarak, Ülkemize büyük bir katma değer sağlayacaktır. Çalışma kapsamı Karabük ili için sınırlandırılmıştır. Yöntem, hava kirletici konsantrasyonlarının net olarak tespiti için her şehre ve ilçeye uygulanabilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Saxena, P. and Naik, V., “Air pollution: Sources, impacts and controls”, *CAB International*, London, 198-201 (2019).
2. Ayres, J., Maynard, R. and Richards, R., “Air pollution and health”, *Imperial College Press*, London, 9-14 (2006).
3. Almalawi, A., Alsolami, F., Khan, A.I., Alkathlan, A., Fahad, A., Irshad, K., Qaiyum, S. and Alfakeeh, A.S., “An IoT based system for magnify air pollution monitoring and prognosis using hybrid artificial intelligence technique”, *Environmental Research*, 206: 1-9 (2022).
4. Kanaroglou, P.S., Jerrett, M., Morrison, J., Beckerman, B., Arain, M.A., Gilbert, N.L. and Brook, J.R., “Establishing an air pollution monitoring network for intra-urban population exposure assessment: A location-allocation approach”, *Atmos. Environ.*, 39: 2399-2409 (2005).
5. Xie, X., Semanjski, I., Gautama, S., Tsiligianni, E., Deligiannis, N., Rajan, R.T., Pasveer, F. and Philips, W., “A review of urban air pollution monitoring and exposure assessment methods”, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 6(12): 1-21 (2017).
6. Celikkaya, N., Fullerton, M. and Fullerton, B., “Use of low-cost air quality monitoring devices for assessment of road transport related emissions”, *Transportation Research Procedia*, 41: 762-781 (2019).
7. Cavaliere, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, F., Gioli, B., Gualtieri, G., Martelli, F., Matese, A., Toscano, P., Vagnoli, C. and Zaldei, A., “Development of low-cost air quality stations for next generation monitoring networks: calibration and validation of PM2.5 and PM10 sensors”, *Sensors*, 18(9): 1-20 (2018).
8. Castell, N., Dauge, F.R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Broday, D. and Bartonova, A., “Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?”, *Environment International*, 99: 293-302 (2017).
9. Cho, E.M., Jeon, H.J., Yoon, D.K., Park, S.H., Hong, H.J., Choi, K.Y., Cho, H.W., Cheon, H.C. and Lee, C.M., “Reliability of low-cost, sensor-based fine dust measurement devices for monitoring atmospheric particulate matter concentrations”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16: 1-10 (2019).
10. Adekoya, O.B., Olabode, J.K. and Rafi, S.K., “Renewable energy consumption, carbon emissions and human development: Empirical comparison of the trajectories of world regions”, *Renewable Energy*, 179: 1836-1848 (2021).



11. Jiang, S., Tan, X., Hu, P., Wang, Y., Shi, L., Ma, Z. and Lu, G., “Air pollution and economic growth under local government competition: Evidence from China, 2007-2016”, *Journal of Cleaner Production*, 334: 1-12 (2022).
12. Kirimhan, S., “Hava kirliliği ve kontrolü”, *Turhan Kitabevi*, Ankara, 1-3 (2006).
13. Liu, H., Li, J., Sun, Y., Wang, Y. and Zhao, H., “Estimation method of carbon emissions in the embodied phase of low carbon building”, *Advances in Civil Engineering*, 2020: 1-9 (2020).
14. IPCC, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K., “2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories”, *Institute for Global Environmental Strategies*, Hayama (2006).
15. IPCC, “Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability”, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva (2001).
16. Srivastava, R.K., Sarkar, S. and Beig, G., “Correlation of various gaseous pollutants with meteorological parameter (temperature, relative humidity and rainfall)”, *Global Journal of Science Frontier Research*, 14(6): 56-65 (2014).
17. Lazaridis, M., “First principles of meteorology and air pollution”, *Springer*, London, 69-109 (2011).
18. Guo, Q., Wu, D., Yu, C., Wang, T., Ji, M. and Wang, X., “Impacts of meteorological parameters on the occurrence of air pollution episodes in the Sichuan Basin”, *Journal of Environmental Sciences*, 114: 308-321 (2022).
19. Li, R., Wang, Z., Cui, L., Fu, H., Zhang, L., Kong, L., Chen, W. and Chen, J., “Air pollution characteristics in China during 2015-2016: Spatiotemporal variations and key meteorological factors”, *Science of The Total Environment*, 648: 902-915 (2019).
20. Gautam, D. and Bolia, N.B., “Air pollution: Impact and interventions”, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13: 209-223 (2020).
21. Stern, A.C., “Air pollution and its effects”, *Elsevier*, New York, 1-21 (1968).
22. Jeffry, L., Ong, M.Y., Nomanbhay, S., Mofijur, M., Mubashir, M. and Show, P.L., “Greenhouse gases utilization: A review”, *Fuel*, 301: 1-12 (2021).
23. Vallero, D., “Fundamentals of air pollution”, *Elsevier Yayınları*, London, 52-87 (2008).
24. Agache, I., Sampath, V., Aguilera, J., Akdis, C.A., Akdis, M., Barry, M., Bouagnon, A., Chinthrajah, S., Collins, W., Dulitzki, C., Erny, B., Gomez, J., Goshua, A., Jutel,

- M., Kizer, K.W., Kline, O. LaBeaud, A.D., Pali- Schöll, I., Perrett, K.P., Peters, R.L., Plaza, M.P., Prunicki, M., Sack, T., Salas, R.N., Sindher, S.B., Sokolow, S.H., Thiel, C., Veidis, E., Wray, B.D., Traidl-Hoffmann, C., Witt, C. and Nadeau, K.C., “Climate change and global health: A call to more research and more action”, *Allergy*, 77(5): 1389-1407 (2022).
25. Pugnaire, F.I., Morillo, J.A., Penuelas, J., Reich, P.B., Bardgett, R.D., Gaxiola, A., Wardle, D.A. and van der Putten, W.H., “Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems”, *Ecology*, 5(11): 1-11 (2019).
  26. IPCC, Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M., “Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change”, *Cambridge University Press*, New York, (2013).
  27. Kinney, P.L., “Interactions of climate change, air pollution, and human health”, *Current Environmental Health Reports*, 5: 179-186 (2018).
  28. Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner D.B. and Stern, A.C., “Fundamentals of air pollution”, *Academic Press*, California, 22-47 (1994).
  29. Li, R., Fu, H., Cui, L., Li, J., Wu, Y., Meng, Y., Wang, Y. and Chen, J., “The spatiotemporal variation and key factors of SO<sub>2</sub> in 336 cities across China”, *Journal of Cleaner Production*, 210 602-611 (2019).
  30. Szyba, M. and Mikulik, J., “Energy production from biodegradable waste as an example of the circular economy”, *Energies*, 15: 1-16 (2022).
  31. Amato, F., Laib, M., Guignard, F. and Kanevski, M., “Analysis of air pollution time series using complexity-invariant distance and information measures”, *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 547(2): 1-9 (2020).
  32. Tarek, M. F. Bin, Asaduzzaman, M. and Patwary, M., “Spatio-temporal analysis of large air pollution data”, *ICECE 2018 - 10th International Conference on Electrical and Computer Engineering*, 221-224 (2019).
  33. Song, H., Zhuo, H., Fu, S. and Ren, L., “Air pollution characteristics, health risks, and source analysis in Shanxi Province, China”, *Environmental Geochemistry and Health*, 43(1): 391-405 (2021).
  34. Khan, M., Irfan, M.A.A. and Ullah, N., “Measurement of traffic-related air pollution in Peshawar, Pakistan - a pilot study”, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 15(4): 1-15 (2021).

35. Smit, R. and Kingston, P., “Measuring on-road vehicle emissions with multiple instruments including remote sensing”, *Atmosphere*, 10(9): 1-17 (2019).
36. Pochwała, S., Gardecki, A., Lewandowski, P., Somogyi, V. and Anweiler, S., “Developing of low-cost air pollution sensor-measurements with the unmanned aerial vehicles in Poland”, *Sensors*, 20(12): 1-17 (2020).
37. Zhou, F., Liu, J., Zhu, H., Yang, X. and Fan, Y., “A real-time measurement-modeling system for ship air pollution emission factors”, *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6): 1-11 (2022).
38. İnternet: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Hava kalitesi - istasyon veri indirme”, [https://sim.csb.gov.tr/STN/STN\\_Report/StationDataDownloadNew](https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew) (2022).
39. Can, A., “Scatter plot matrix analysis of air pollutants”, *14th International Combustion Symposium*, 1-6 (2018).
40. Yılmaz, Z. and Karagözoğlu, M. B., “Statistical analysis of the temporal change of PM10 levels in the city of Sivas (Turkey)”, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 1635-1646 (2022).
41. Kunt, F., Ayturan, Z. C., Yümün, F., Karagönen, İ., Semerci, M. and Akgün, M., “Measurement and evaluation of particulate matter and atmospheric heavy metal pollution in Konya Province, Turkey”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(10): 1-22 (2021).
42. Köse, S., “Measurement and modelling of particulate matter emissions from harbor activities at a port area: A case study of Trabzon, Turkey”, *Journal of ETA Maritime Science*, 8(4): 286-301 (2020).
43. İçöz, E., Malik, F. M. and İçöz, K., “High spatial resolution IoT based air PM measurement system”, *Environmental and Ecological Statistics*, 28(4): 779-792 (2021).
44. Soon, W., Baliunas, S.L., Robinson, A.B. and Robinson, Z.W., “Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide”, *Climate Res.*, 13: 149-64 (1999).
45. İncecik, S., Hava kirliliği, *Teknik Üniversite Matbaası*, İstanbul (1994).
46. Saxena, P. and Naik V., “Air pollution: Sources, impacts and controls”, *CAB International*, London, 11-12 (2019).

47. Internet: World Health Organization, “Environmental health criteria 13: Carbon monoxide”, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336055/9241540737-eng.pdf> (2022).
48. IPCC, “Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change”, *Cambridge University Press*, United Kingdom, (2007).
49. Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N., “Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change”, *John Wiley & Sons, Inc.*, New Jersey, 1003-1018 (2006).
50. Singh, E., Tiwari, S. And Agrawal, M., “Effects of elevated ozone on photosynthesis and stomatal conductance of two soybean varieties: a case study to assess impacts of one component of predicted global climate change”, *Plant Biol Stuttg Ger.*, 11: 101-108 (2009).
51. Internet: EPA, “Global mitigation of non-CO2 greenhouse gases: 2010-2030”, [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/mac\\_report\\_2013.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/mac_report_2013.pdf) (2022).
52. Mohd, M.Z., Ong M.Y., Salman, B., Nomanbhay, S., Salleh, S.F. and Chew, K.W., “Simulation studies on microwave-assisted pyrolysis of biomass for bioenergy production with special attention on waveguide number and location”, *Energy*, 190: 1-11 (2020).
53. Shi, C., Wang, S., Ge, X., Deng, S., Chen, B. and Shen, J., “A review of different catalytic systems for dry reforming of methane: Conventional catalysis-alone and plasma-catalytic system,” *Journal of CO2 Utilization*, 46: 1-19 (2021).
54. Khare, M., “Air pollution – monitoring, modelling, health and control”, *InTech*, Croatia, 7 (2012).
55. Cheng, M.M., Jiang, H., JIANGSU, N. and Guo, Z., “Evaluation of long-term tropospheric NO2 columns and the effect of different ecosystem in Yangtze River Delta”, *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1045-1056 (2012).
56. Richmond-Bryant, J., Owen, R.C., Graham, S., Snyder, M., McDow, S. and Oakes, M., “Estimation of on-road NO2 concentrations, NO2/NOX ratios, and related roadway gradients from near-road monitoring data”, *Air Qual Atm Health*, 10: 611-25 (2017).
57. Chen, T.M., Gokhale, J., Shofer, S. and Kuschner, W.G., “Outdoor air pollution: Nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects”, *Am. J. Med. Sci.*, 333(4): 249-256 (2007).

58. Unger, N., Shindell, D.T., Koch, D.M. and Streets, D.G., “Cross influences of ozone and sulfate precursor emissions changes on air quality and climate”, *Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences*, 103:(12) 4377-4380 (2006).
59. Cunningham, B., Cunningham, M.A. and Saigo, B.W., “Environmental science: A global concern (8th ed.)”, *McGraw Hill*, Boston (2005).
60. Seinfeld, H., “Atmospheric chemistry and physics of air pollution”, *Wiley-Interscience*, 21 (4): 943-955 (1986).
61. Kouimtzis, T. and Samara, C., “Airborne particulate matter”, *Springer*, Bayreuth, 4: 2-7 (1995).
62. Poschl, U., “Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects”, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 44: 7520-7540 (2005).
63. Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N., “Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change”, *John Wiley & Sons, Inc.*, New Jersey, 55-61 (2006).
64. Saxena, P. and Naik V., “Air pollution: Sources, impacts and controls”, *CAB International*, London, 8-11 (2019).
65. Petryk, A., “Epidemiology of selected diseases related to air pollution in Krakow”, *Journal of Ecological Engineering*, 19(6): 124-131 (2018).
66. İnternet: World Health Organization, “WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide”, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (2022).
67. Butler, J.D., “Air Pollution Chemistry”, *Academic Pres*, 109-123 (1979).
68. İnternet: United Nations Framework Convention on Climate Change, “Chapter 2: National inventory of greenhouse gases”, <https://unfccc.int/resource/docs/natc/maunc1/chap2/chapter2.htm> (2022).
69. Tian, J., Tan, J., Hu, N., Liu, T., Wang, Y., Zhong, H., Cheng, J. and Zhang, X., “Characteristics analysis for total volatile organic compounds emissions of methanol-diesel fuel”, *Journal of the Energy Institute*, 91(4): 527-533 (2018).
70. Can, A., “Investigation of Turkey’s carbon dioxide problem by numerical modeling”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 1-5 (2006).
71. Eom, J., Hyun, M., Lee, J. and Lee, H., “Increase in household energy consumption due to ambient air pollution”, *Nature Energy*, 5(12): 976-984 (2020).

72. Kırımhan, S., “Hava kirliliği ve kontrolü”, *Turhan Kitabevi*, Ankara, 45-63 (2006).
73. Müezzinoğlu, A. and Williams, M.L., “Industrial air pollution assessment and control”, *Springer-Verlag*, Berlin, 1-8 (1992).
74. Li, J., Hou, L., Wang, L. and Tang, L., “Decoupling analysis between economic growth and air pollution in key regions of air pollution control in China”, *Sustainability*, 13: 1-22 (2021).
75. Barzyk, T. M., Isakov, V., Arunachalam, S., Venkatram, A., Cook, R. and Naess, B., “A near-road modeling system for community-scale assessments of traffic-related air pollution in the United States”, *Environmental Modelling and Software*, 66: 46-56 (2015).
76. Sharma, S.K., Goyal, P. and Tyagi, R.K., “Conversion efficiency of catalytic converter”, *International Journal of Ambient Energy*, 37(5): 507-512 (2016).
77. Zhao, F., Fan, Y. and Zhang, S., “Assessment of efficiency improvement and emission mitigation potentials in China’s petroleum refining industry”, *Journal of Cleaner Production*, 280: 1-16 (2021).
78. Lei, Y., Zhang, Q., He, K.B. and Streets, D.G., “Primary anthropogenic aerosol emission trends for China, 1990–2005”, *Atmos. Chem. Phys.*, 11: 931-954 (2011).
79. Wang, C., Wang, R., Hertwich, E. and Liu, Y., “A technology-based analysis of the water energy-emission nexus of China’s steel industry”, *Resources, Conservation and Recycling*, 124: 116-128 (2017).
80. Khallaf, M.K., “The impact of air pollution on health, economy, environment and agricultural sources”, *InTech*, Rijeka, 239-280 (2011).
81. Can, A., “Investigation of provincial capacity to produce biogas from waste disposal sites in Turkey”, *Energy*, 258: 1-21 (2022).
82. Can, A., “The statistical modeling of potential biogas production capacity from solid waste disposal sites in Turkey”, *Journal of Cleaner Production*, 243: 1-13 (2020).
83. Scorer, R.S., “Air pollution meteorology”, *Woodhead Publishing*, 1-20 (2002).
84. Danek, T., Weglinska, E. and Zareba, M., “The influence of meteorological factors and terrain on air pollution concentration and migration: A geostatistical case study from Krakow, Poland”, *Scientific Reports*, 12: 1-22 (2022).
85. Niedzwiedz, T., Lupikasza, E.B., Malarzewski, L. and Budzik, T., “Surface-based nocturnal air temperature inversions in southern Poland and their influence on PM10

and PM2.5 concentrations in Upper Silesia”, *Theoretical and Applied Climatology*, 146: 897-919 (2021).

86. Haitao Zhou, H., Yu, Y., Gu, X., Wu, y., Wang, M., Yue, H., Gao, J., Lei, R. and Ge, X., “Characteristics of air pollution and their relationship with meteorological parameters: northern versus southern cities of China”, *Atmosphere*, 11: 1-15 (2020).
87. Latini, G., Grifoni R.C. and Passerini G., “Influence of meteorological parameters on urban and suburban air pollution”, *WIT Press*, 754-760 (2002).
88. Khalesi, B., Reza, M. and Daneshvar, M., “Comprehensive temporal analysis of temperature inversions across urban atmospheric boundary layer of Tehran within 2014-2018”, *Modeling Earth Systems and Environment*, 6: 967-982 (2020).
89. Lazaridis, M., “First principles of meteorology and air pollution”, *Springer*, London, 119-144 (2011).
90. Scorer, R.S., “Air pollution meteorology”, *Woodhead Publishing*, Sawston, 107-144 (2002).
91. Ilic, P., Popovic, Z. and Neskovic Markic, D., “Assessment of meteorological effects and ozone variation in urban area”, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 27(3): 373-385 (2020).
92. Huyen, T.T., Yamaguchi, R., Kurotsuchi, Y., Sekiguchi, K., Dung, N.T., Thuy, N.T.T. and Thuy, L.B., “Characteristics of chemical components in fine particles (PM2.5) and Ultrafine Particles (PM0.1) in Hanoi, Vietnam: A case study in two seasons with different humidity”, *Water Air Soil Pollut.*, 232: 1-21 (2021).
93. Jury, M.R., “Meteorology of air pollution in Los Angeles”, *Atmospheric Pollution Research*, 11(7): 1226-1237 (2020).
94. Lazaridis, M., “First principles of meteorology and air pollution”, *Springer*, London, 14-28 (2011).
95. Hanna, S.R., Briggs, G.A. and Hosker, R.P., “Handbook on atmospheric diffusion”, *National Technical Information Service U.S. Department of Commerce Springfield, Virginia*, 50-89 (1982).
96. Pasquill, F. And Smith, F.B., “Atmospheric diffusion (3rd ed.)”, *Ellis Horwood Ltd.*, 179-220 (1983).
97. Castell, N., Dauge, F.R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Broday, D. and Bartonova, A., “Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air

- quality monitoring and exposure estimates?”, *Environment International*, 99: 293-302, (2017).
98. Yi, W.Y., Lo, K.M., Mak, T., Leung, K.S., Leung, Y. and Meng, M.L., “A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems”, *Sensors*, 15, 31392–31427 (2015).
  99. Borrego, C., Costa, A.M., Ginja, J., Amorim, M., Coutinho, M., Karatzas, K., Sioumis, Th., Katsifarakis, N., Konstantinidis, K., De Vito, S., Esposito, E., Smith, P., Andre, N., Gerard, P., Francis, L.A., Castell, N., Schneider, P., Viana, M., Minguillon, M.C., Reimringer, W., Otjes, R.P., Sicard, O., Pohle, R., Elen, B., Suriano, D., Pfister, V., Prato, M., Dipinto, S. and Penza, M., “Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise”, *Atmospheric Environment*, 147: 246-263 (2016).
  100. Sa, J.P., Conceição, M., Alvim-Ferraz, M., Martins, F.G. and Sousa, S.I.V., “Application of the low-cost sensing technology for indoor air quality monitoring: A review”, *Environmental Technology and Innovation*, 28: 1-27 (2022).
  101. Internet: Graywolf Sensing Solutions, “Toxic multi-gas meters, monitors”, <https://graywolfsensing.com/multi-toxic-gas-meter-monitor/> (2022).
  102. Tsujita, W., Ishida, H. and Moriizumi, T., “Dynamic gas sensor network for air pollution monitoring and its auto-calibration”, *Sensors*, 56-59 (2004).
  103. Morawska, L., Thai, P.K., Liu, X., Asumadu-Sakyi, A., Ayoko, G., Bartonova, A., Bedini, A., Chai, F., Christensen, B., Dunbabin, M., Gao, J., Hagler, GSW., Jayaratne, R., Kumar, P., Lau, A.K.H., Louie, P.K., Mazaheri, M., Ning, Z., Motta, N., Mullins, B., Rahman, M.M., Ristovski, Z., Shafiei, M., Tjondronegoro, D., Westerdahl, D. and Williams, R., “Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?”, *Environ Int.*, 116: 286-299 (2018).
  104. Bandyopadhyay, A., “Selecting particulate and gaseous pollution control device”, *Particulate Science and Technology*, 30: 238-286 (2012).
  105. Cavaliere, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, F., Gioli, B., Gualtieri, G., Martelli, F., Matese, A., Toscano, P., Vagnoli, C. and Zaldei, A., “Development of low-cost air quality stations for next generation monitoring networks: Calibration and validation of PM2.5 and PM10 sensors”, *Sensors*, 18: 1-20 (2018).
  106. Moreno-Rangel, A., Sharpe, T., Musau, F. and McGill, G., “Field evaluation of a low-cost indoor air quality monitor to quantify exposure to pollutants in residential environments”, *J. Sens. Sens. Syst.*, 7: 373-388 (2018).



107. Cao, T. and Thompson, J.E., “Portable, ambient PM2.5 sensor for human and/or animal exposure studies”, *Analytical Letters*, 50 (4): 712-723 (2017). h
108. Wong, M.S., Mok, E., Wang, T. and Yong, Z., “Development of an integrated micro-environmental monitoring system for construction sites”, *Procedia Environmental Sciences*, 36: 207-214 (2016).
109. Li, X. and Abraham, S., “A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications”, *Procedia Computer Science*, 34: 165-171 (2014).
110. Zaldei, A., Camilli, F., De Filippis, T., Di Gennaro, F., Di Lonardo, S., Dini, F., Gioli, B., Gualtieri, G., Matese, A., Nunziati, W., Rocchi, L., Toscano, P. and Vagnoli, C., “An integrated low-cost road traffic and air pollution monitoring platform for next citizen observatories”, *Transportation Research Procedia*, 24: 531-538 (2017).
111. Jo, B. and Khan, R.M.A., “An internet of things system for underground mine air quality pollutant prediction based on azure machine learning”, *Sensors*, 18: 930-950 (2018).
112. McRoberts, M., “Beginning arduino”, *Apress*, New York, 3-6 (2010).
113. Gertz, E. and Justo, P.D., “Environmental monitoring with arduino”, *O’Reilly*, 11-72 (2012).
114. Taşdemir, C., “Arduino”, *Dikeyksen*, İstanbul, 8-15 (2017).
115. Banzi, M., “Getting started with arduino”, *O’Reilly*, Kaliforniya, 41-49 (2009).
116. Noble, J., “Programming interactivity”, *O’Reilly*, Kaliforniya, 53-83 (2009).
117. İnternet: Arduino, “Arduino mega 2560 rev3” <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560> (2023).
118. Maag, B., Zhou, Z. and Thiele, L., "A survey on sensor calibration in air pollution monitoring deployments”, *Internet of Things Journal*, 5(6), 4857-4870 (2018).
119. Penza, M., Suriano, D., Cassano, G., Pfister, V., Amodio, M., Trizio, L., Brattoli, M. and De Gennaro, G., “A case-study of microsensors for landfill air-pollution monitoring applications”, *Urban Climate*, 14(3): 351-369 (2015).
120. Chou, J., “Infrared gas sensors. In hazardous gas monitors-a practical guide to selection, operation and applications”, *McGraw-Hill and SciTech*, 55-72 (1999).

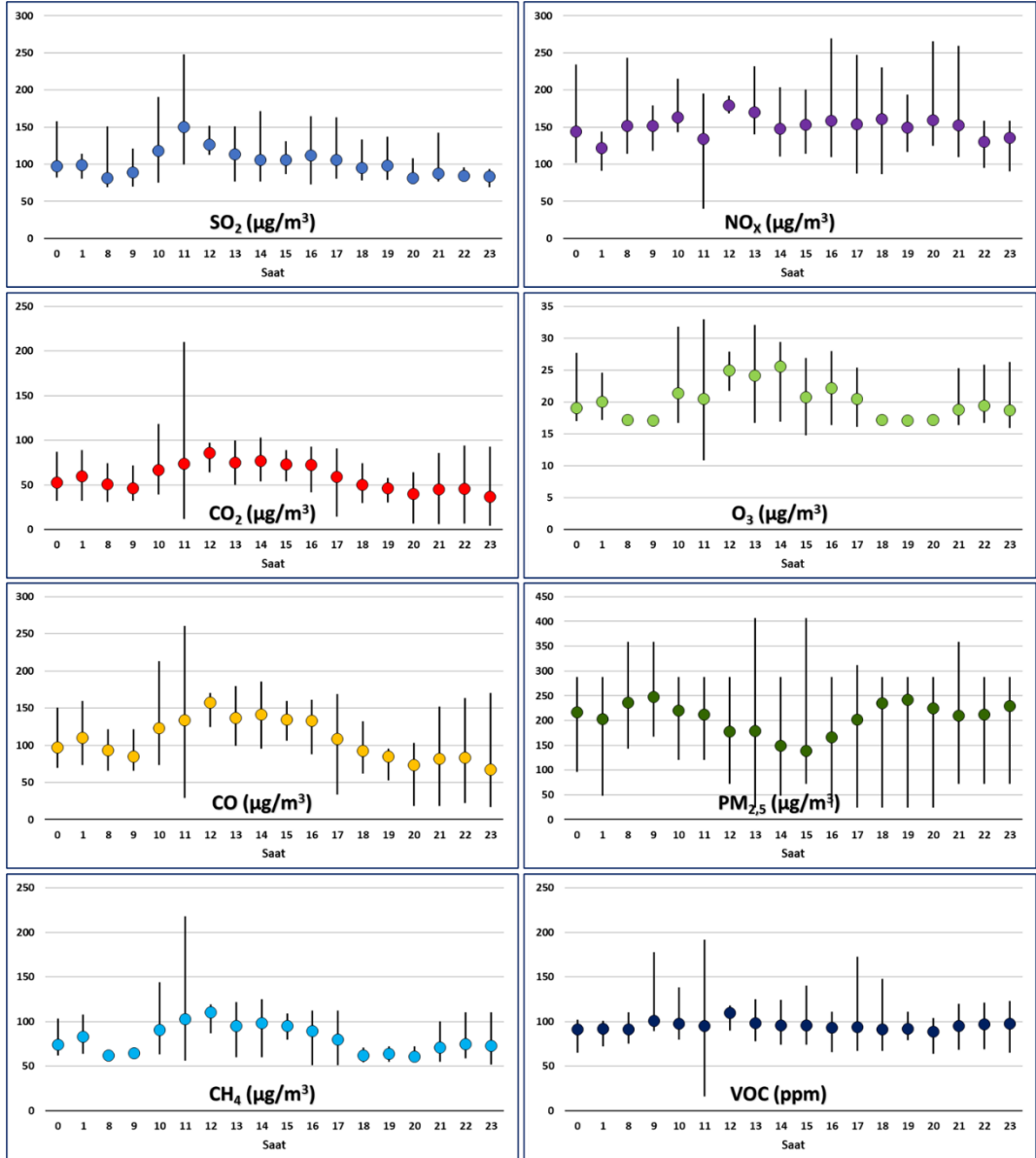
121. Choi, H.J., Roh, Y.M., Lim, Y.W., Lee, Y.J. and Kim, K.Y., “Land-use regression modeling to estimate NO<sub>2</sub> and VOC concentrations in Pohang City, South Korea”, *Atmosphere*, 13(4): 1-12 (2022).
122. Dharmendra Singh, D., Dahiya, M. and Nanda, C., “Geospatial view of air pollution and health risk over north indian region in covid-19 scenario”, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(6): 1145-1162 (2022).
123. Huang, Y., Yan, Q. and Zhang, C., “Spatial-temporal distribution characteristics of PM<sub>2.5</sub> in China in 2016”, *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2: 1-18 (2018).
124. Karim, B. and Shokrinezhad, B., “Spatial variation of ambient PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the industrial city of Arak, Iran: A land-use regression”, *Atmospheric Pollution Research*, 12(12): 1-9 (2021).
125. Chang, F.J., Chang, L.C., Kang, C.C., Wang, Y.S. and Huang, A., “Explore spatio-temporal PM<sub>2.5</sub> features in northern Taiwan using machine learning techniques”, *Science of the Total Environment*, 736: 1-14 (2020).
126. Wang, J., Wang, Z., Deng, M., Zou, H. and Wang, K., “Heterogeneous spatiotemporal copula-based kriging for air pollution prediction”, *Transactions in GIS*, 25(6): 3210-3232 (2021).
127. Belkhiri, L., Tiri, A. and Mouni, L., “Spatial distribution of the groundwater quality using kriging and co-kriging interpolations”, *Groundwater for Sustainable Development*, 11: 1-9 (2020).
128. Prakash, S. and Mukhopadhyay, A.K., “A mixed weibull method for reliability analysis of tricone roller bits in blasthole drilling”, *Journal of Mining Science*, 54(5): 763-772 (2018).
129. Bahonar, E., Chahardowli, M., Ghalenoei, Y. and Simjoo, M., “New correlations to predict oil viscosity using data mining techniques”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208: 1-16 (2022).
130. Lemini, R., Attwood, K., Pecenka, S., Grego, J., Spaulding, A.C., Nurkin, S., Colibaseanu, D.T. and Gabriel, E., “Stage II-III colon cancer: a comparison of survival calculators”, *Journal of Gastrointestinal Oncology*, 9(6): 1091-1098 (2018).
131. Asim, M. and Rao, K.N., “Assessment of heavy metal pollution in Yamuna River, Delhi-NCR, using heavy metal pollution index and GIS”, *Environ Monit Assess*, 193: 1-16 (2021).

132. Ghorbani, Z., Gholizadeh, F., Casali, J., Hao, C., Cavallin, H.E., Van Loon, L.L. and Banerjee, N.R., “Application of multivariate data analysis to biogeochemical exploration at the Twin Lakes Deposit, Monument Bay Gold Project, Manitoba, Canada”, *Chemical Geology*, 593: 1-12 (2022).
133. Darlington, R.D. and Hayes, A.F., “Regression analysis and linear models: concepts, applications and implementation”, *The Guilford Press*, New York, 85-122 (2017).
134. Gomathy, V., Janarthanan, K., F., Al-Turjman, Sitharthan, R., Rajesh, M., Vengatesan, K. and Reshma, T.P., “Investigating the spread of coronavirus disease via edge-ai and air pollution correlation”, *ACM Transactions on Internet Technology*, 21(4): 1-10 (2021).
135. USEPA, “Guidance on the use of models, and other analyses for demonstrating attainment of air quality goals for ozone, PM2.5, and regional haze”, *National Service Center for Envir. Pub.*, (2007).
136. İnternet: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Hava kalitesi - istasyon veri indirme”, [https://sim.csb.gov.tr/STN/STN\\_Report/StationDataDownloadNew](https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew) (2022).
137. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. and Rhind, D.W., “Geographic information system and science”, *John Wiley & Sons*, 18-31 (2001).
138. Goodchild, M.F., “Geographical information science”, *Int. J. Geographical Information Systems*, 6 (1): 31-45 (1992).
139. Harmon, J.E. and Anderson S.J., “The design and implementation of geographic information systems”, *John Wiley & Sons*, 3-10 (2003).
140. Chunga, C.J., Hsiehb, Y.Y. and Linc, H.C., “Fuzzy inference system for modeling the environmental risk map of air pollutants in Taiwan”, *Journal of Environmental Management*, 246: 808-820 (2019).
141. Parveen, N., Siddiqui, L., Sarif, M.N., Islam, M.S., Khanam, N. and Mohibul, S., “Industries in Delhi: air pollution versus respiratory morbidities”, *Process Safety and Environmental Protection*, 152: 495-512 (2021).
142. Xu, S., Zou, B., Xiong, Y., Wan, N., Feng, H., Hu, C. and Lin, Y., “High spatiotemporal resolution mapping of PM2.5 concentrations under a pollution scene assumption”, *Journal of Cleaner Production*, 326: 1-14 (2021).
143. Beauchamp, M., Malherbe, L., Fouquet, C., Letinois, L. and Tognet, F., “A polynomial approximation of the traffic contributions for krigingbased interpolation of urban air quality model”, *Environmental Modelling & Software*, 105: 132-152 (2018).

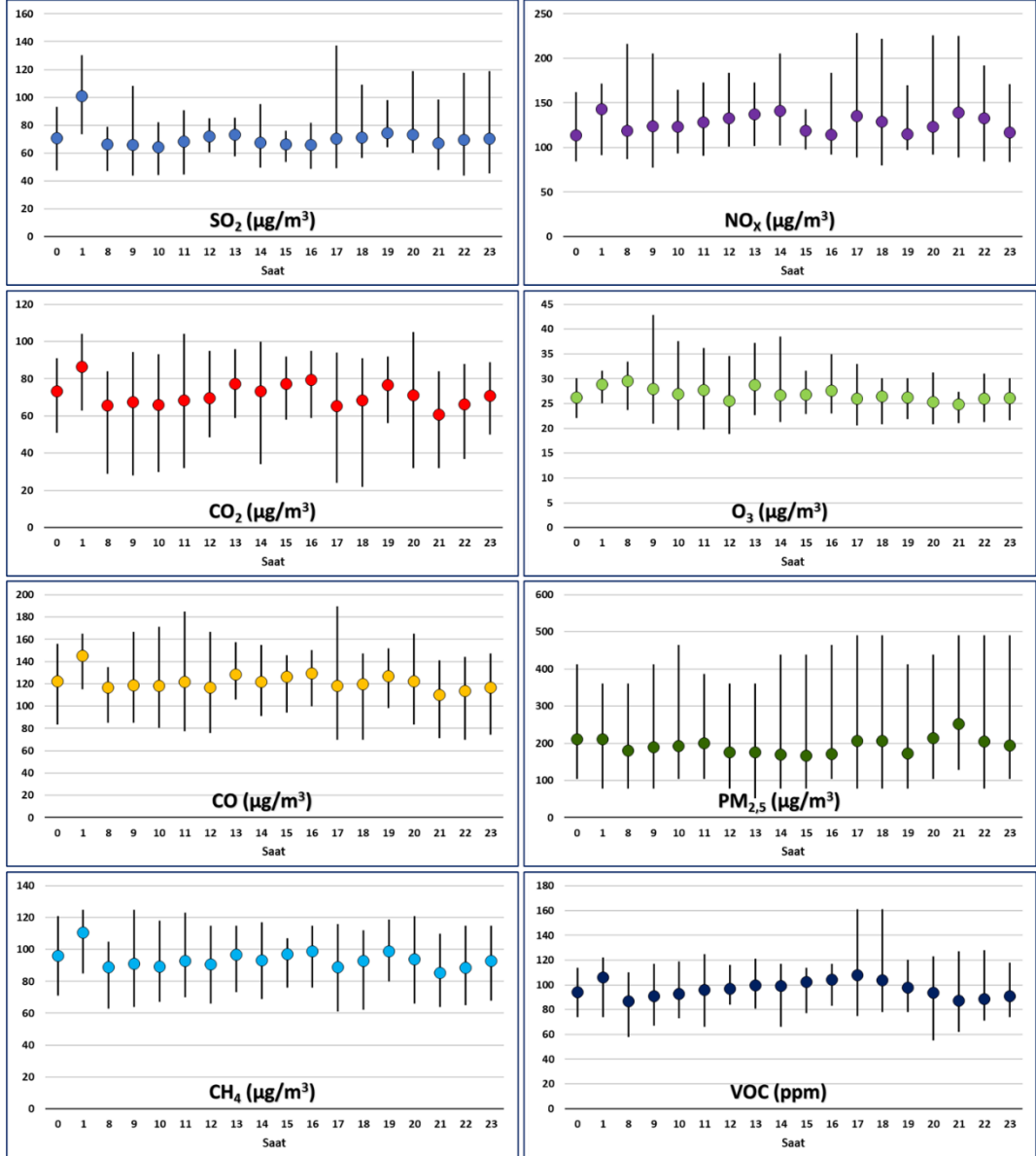
144. Sun, Y., Jin, F., Zheng, Y., Ji, M. and Wang, H., “A new indicator to assess public perception of air pollution based on complaint data”, *Appl. Sci.*, 11(4): 1-17 (2021).
145. Zhou, H., Yu, Y., Gu, X., Wu, Y., Wang, M., Yue, H., Gao, J., Lei, R. and Ge, X., “Characteristics of air pollution and their relationship with meteorological parameters: Northern versus southern cities of China”, *Atmosphere*, 11: 1-15 (2020).
146. Majewski, G., Szelag, B., Mach, T., Rogula-Kozłowska, W., Aniol, E., Bihalowicz, J., Dmochowska, A. and Bihalowicz, J.S., “Predicting the number of days with visibility in a specific range in Warsaw (Poland) based on meteorological and air quality data”, *Front. Environ. Sci.*, 9: 1-9 (2021).
147. Li, Y., Chen, Y., Karimian, H. and Tao, T., “Spatiotemporal analysis of air quality and its relationship with meteorological factors in the Yangtze River Delta”, *Journal of Elementology*, 25(3): 1059-1075 (2020).
148. Nguyen, D.H., Lin, C., Vu, C.T., Cheruiyot, N.K., Nguyen, M.K., Le, T.H., Lukkhasorn, W., Vo, T.D.H. and Bui, X.T., “Tropospheric ozone and NO<sub>x</sub>: A review of worldwide variation and meteorological influences”, *Environmental Technology and Innovation*, 28: 1-13 (2022).
149. Liu, C. And Shi, K., “A review on methodology in O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>-VOC sensitivity study”, *Environmental Pollution*, 291: 1-15 (2021).
150. Sinha, P., Singh, S. and Saroj, P., “Relationship of surface ozone (O<sub>3</sub>) with its precursors and meteorological parameters over New Delhi, India”, *MAUSAM*, 73(4): 819-832 (2022).
151. Qin, G., Gao, S., Fu, Q., Fu, S., Jia, H., Zeng, Q., Fan, L., Ren, H. and Cheng, J., “Investigation of VOC characteristics, source analysis, and chemical conversions in a typical petrochemical area through 1-year monitoring and emission inventory”, *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 51635-51650 (2022).
152. Song, C, Liu, B., Dai, Q., Li, H. and Mao, H., “Temperature dependence and source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) at an urban site on the north China plain”, *Atmospheric Environment*, 207: 167-181 (2019).

**EK AÇIKLAMALAR A.**

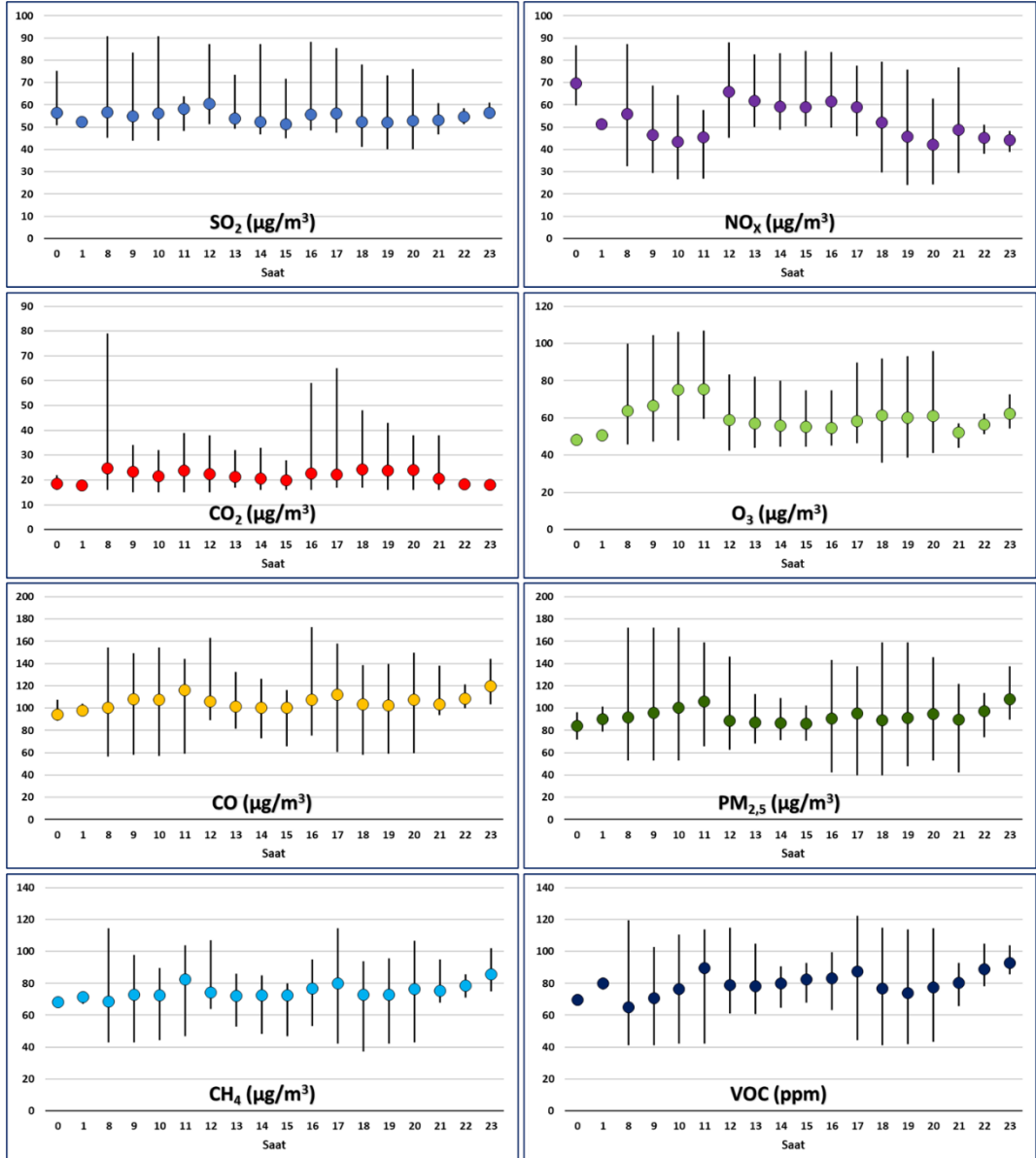
**GÜNLÜK VE SAATLİK KİRLİLİK KONSANTRASYONLARI**



Şekil Ek A.1. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Ocak 2022).

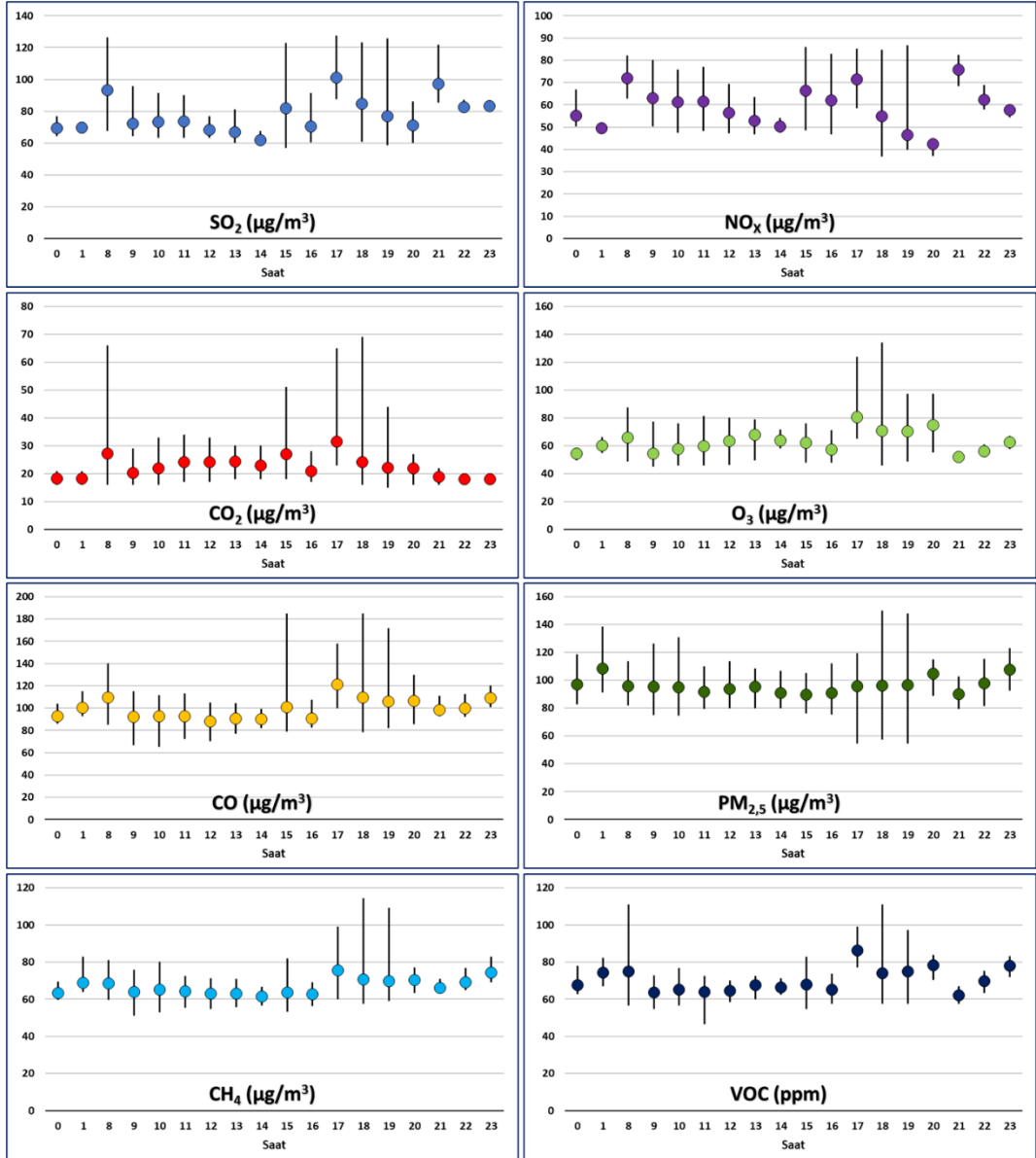


Şekil Ek A.2. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Şubat 2022).

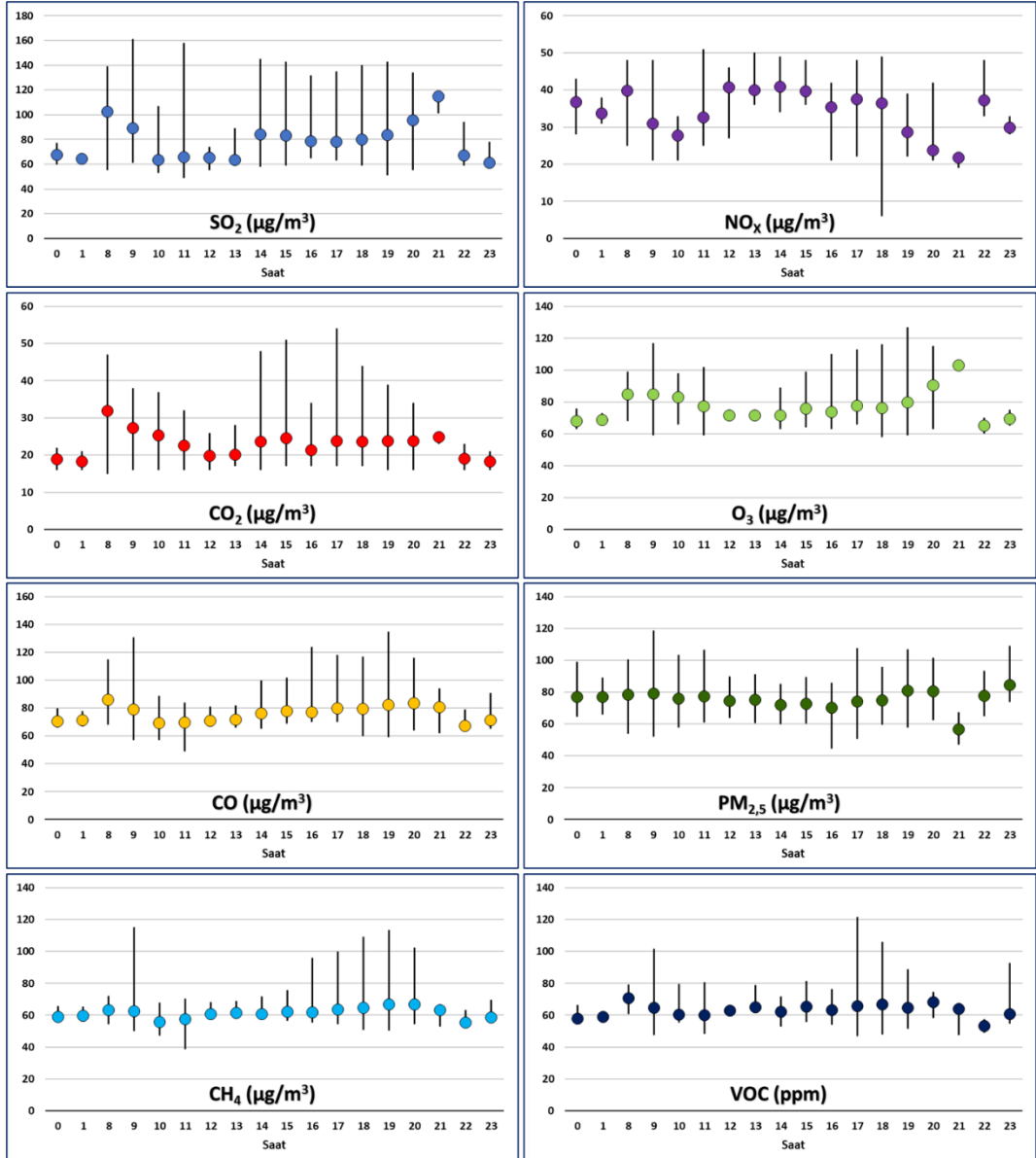


Şekil Ek A.3. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Mart 2022).

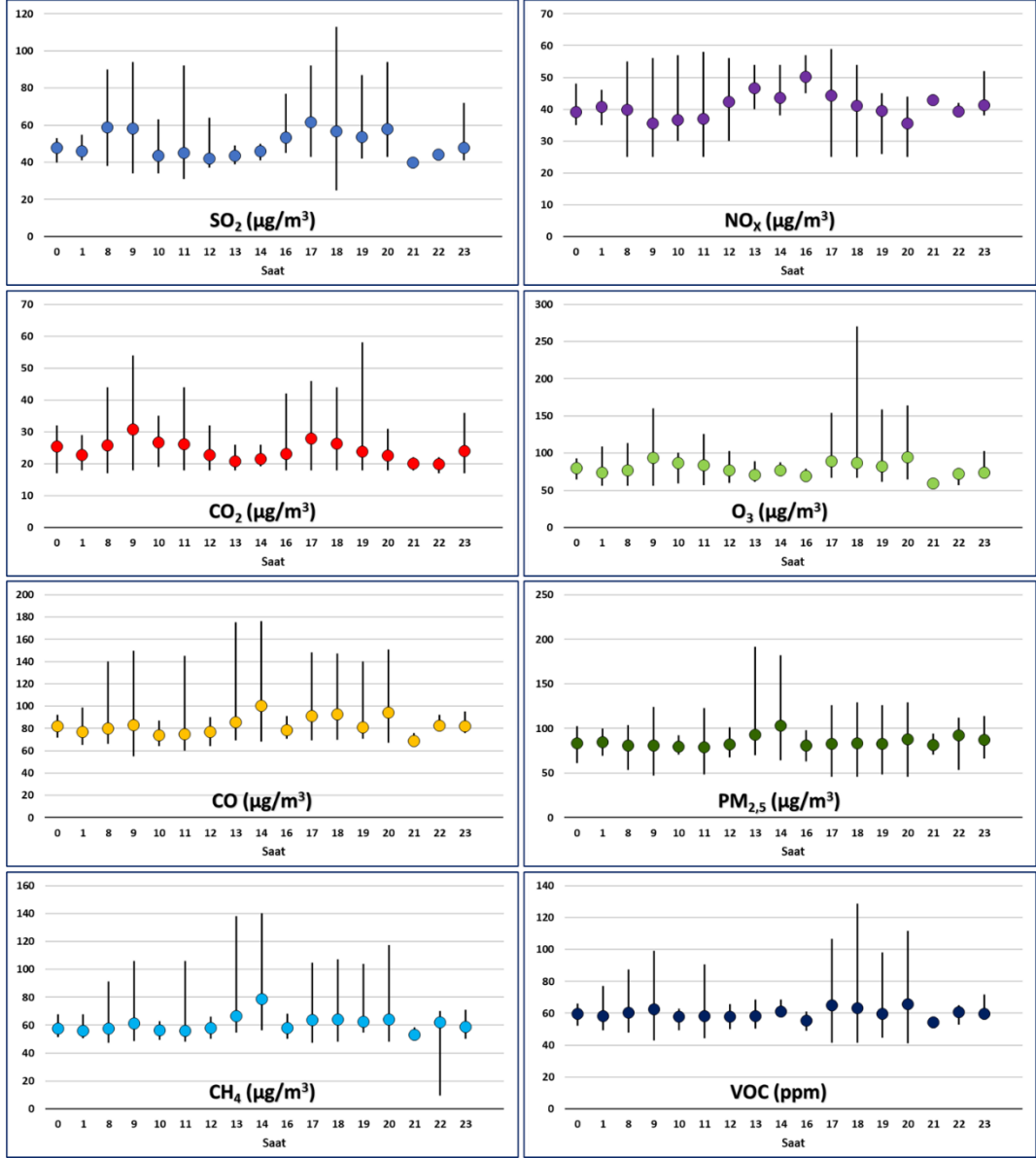




Şekil Ek A.4. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Nisan 2022).



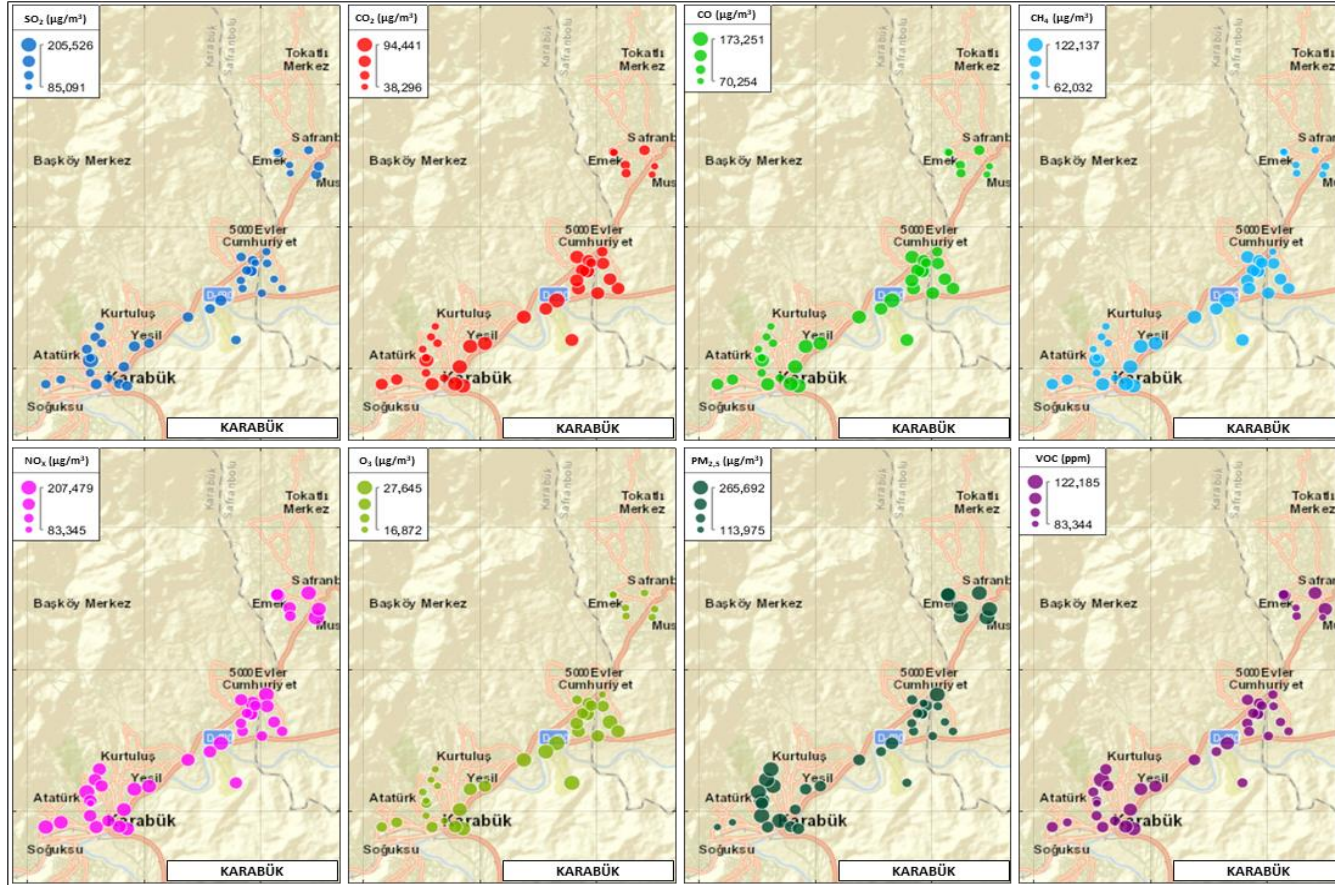
Şekil Ek A.5. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Mayıs 2022).



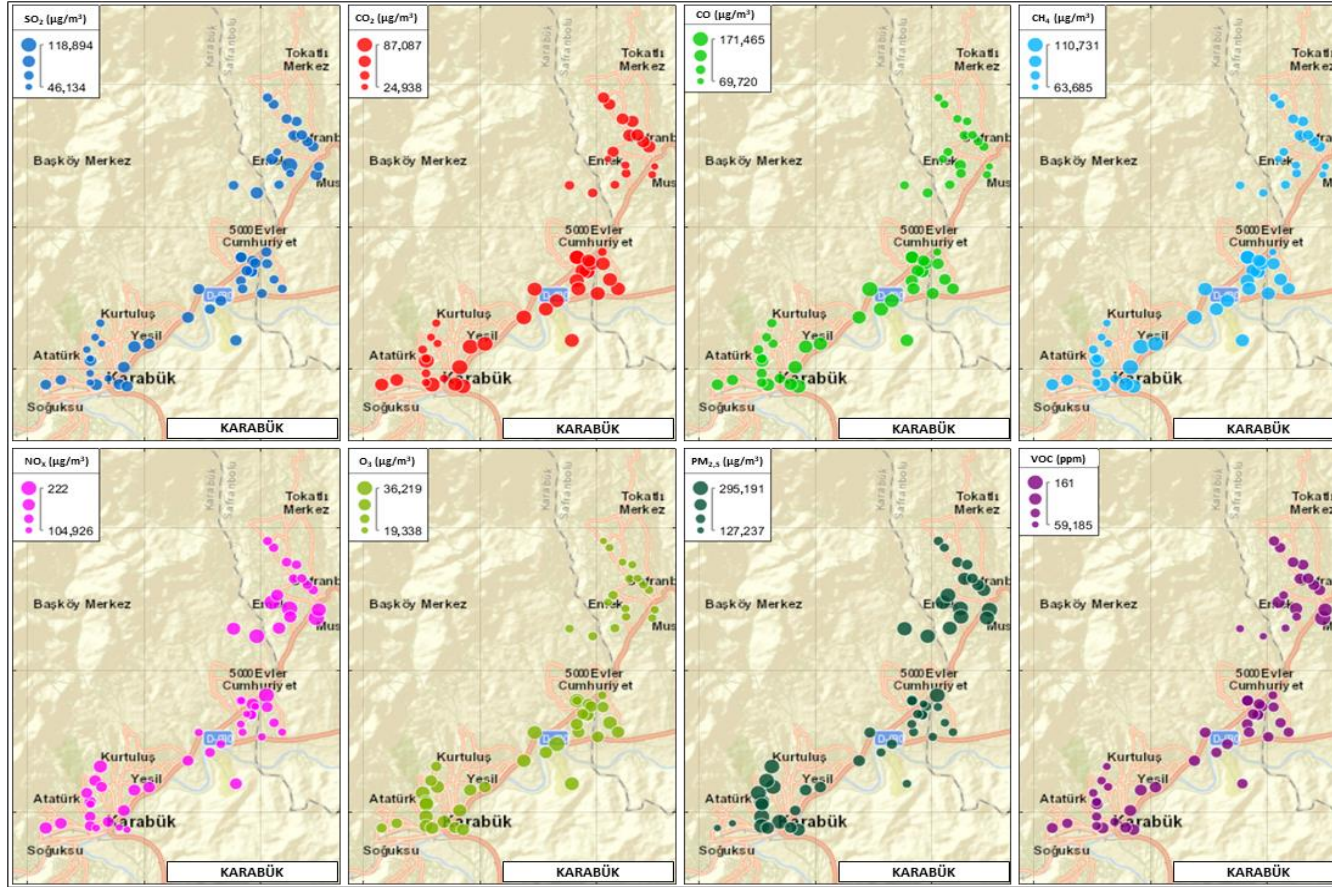
Şekil Ek A.6. Kirlilik parametrelerinin günlük ve saatlik konsantrasyonları (Haziran 2022).

**EK AÇIKLAMALAR B.**

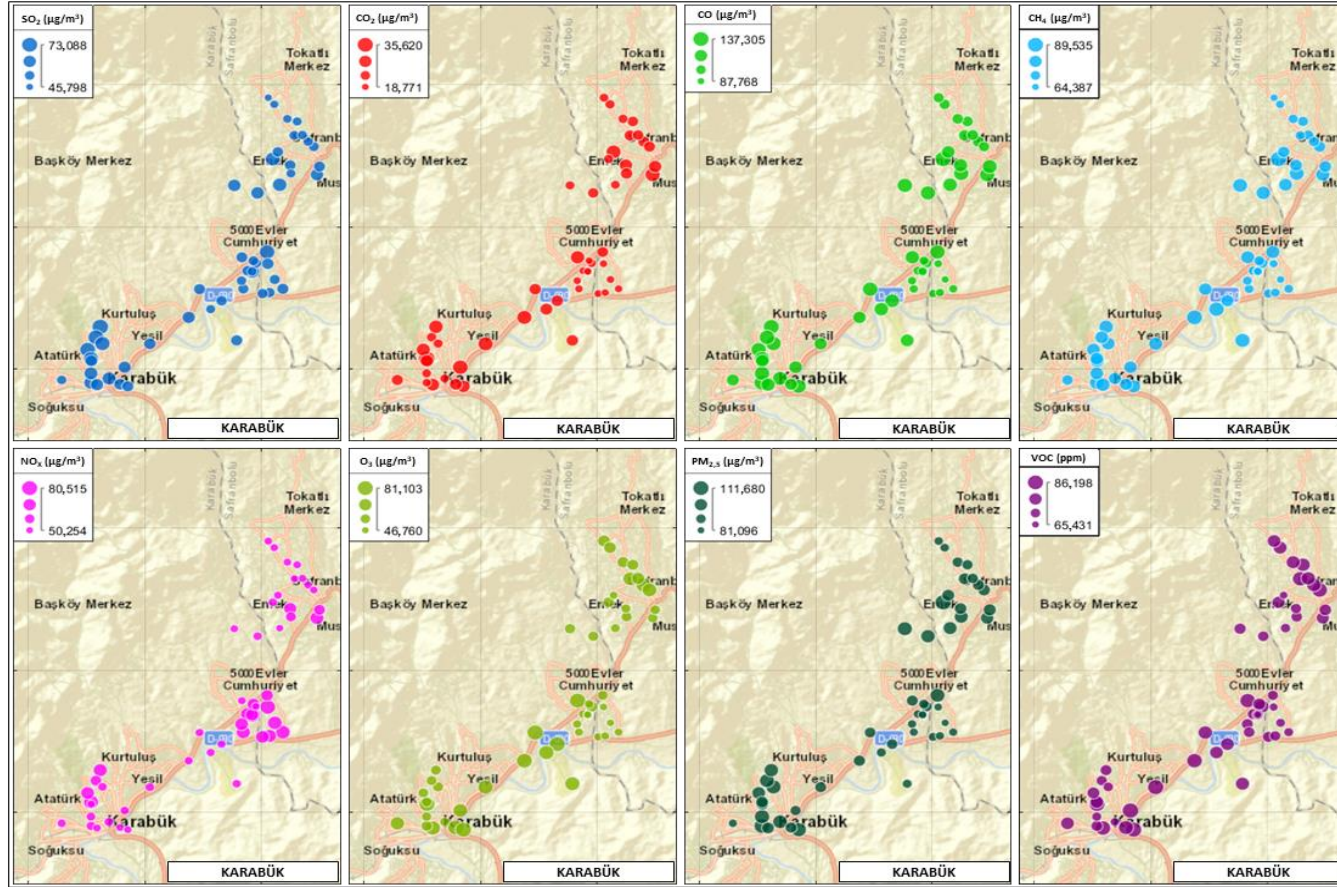
**ÖLÇÜM NOKTALARININ ORTALAMA KİRLİLİK DEĞERLERİ**



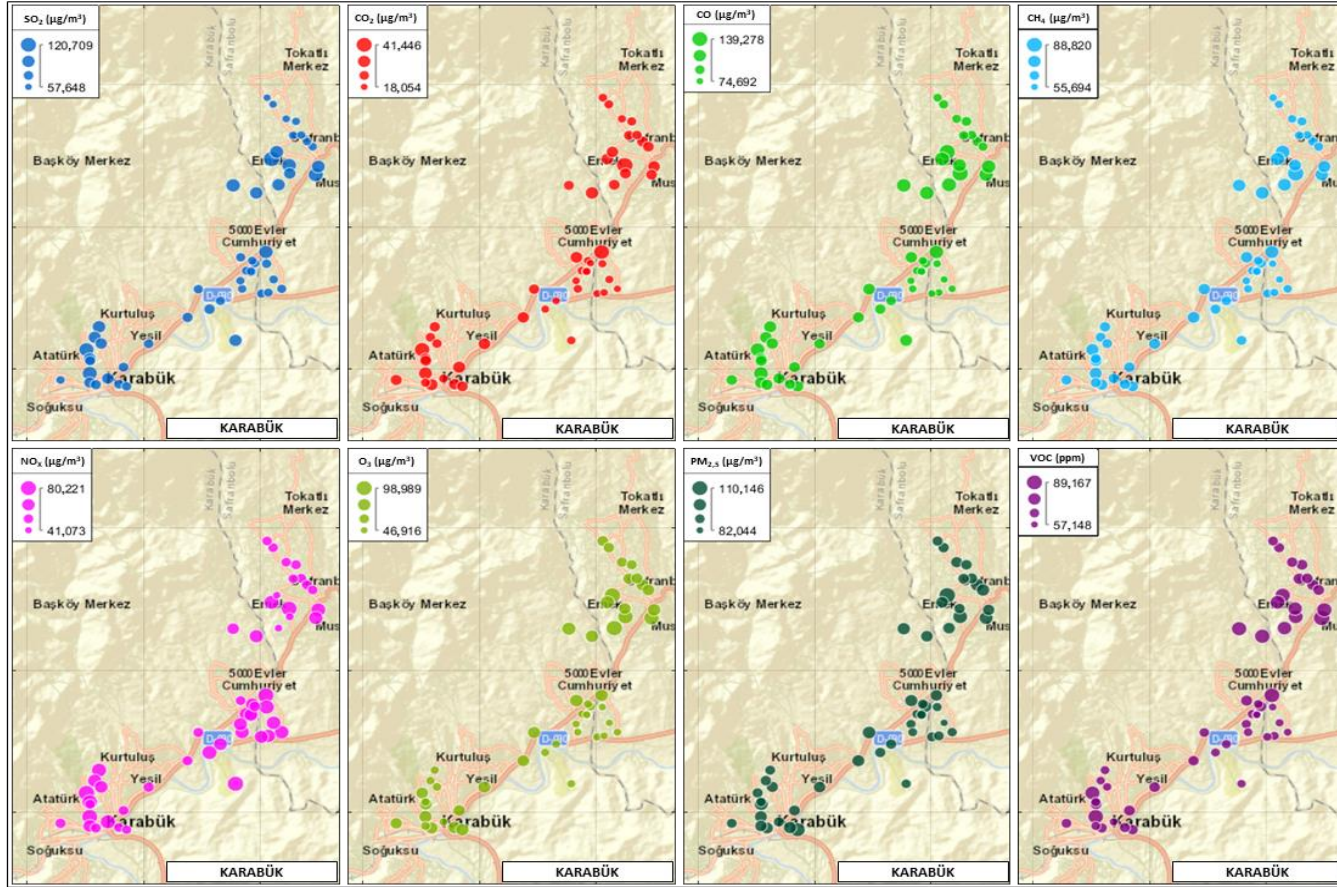
Şekil Ek B.1. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Ocak 2022).



Şekil Ek B.2. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Şubat 2022).

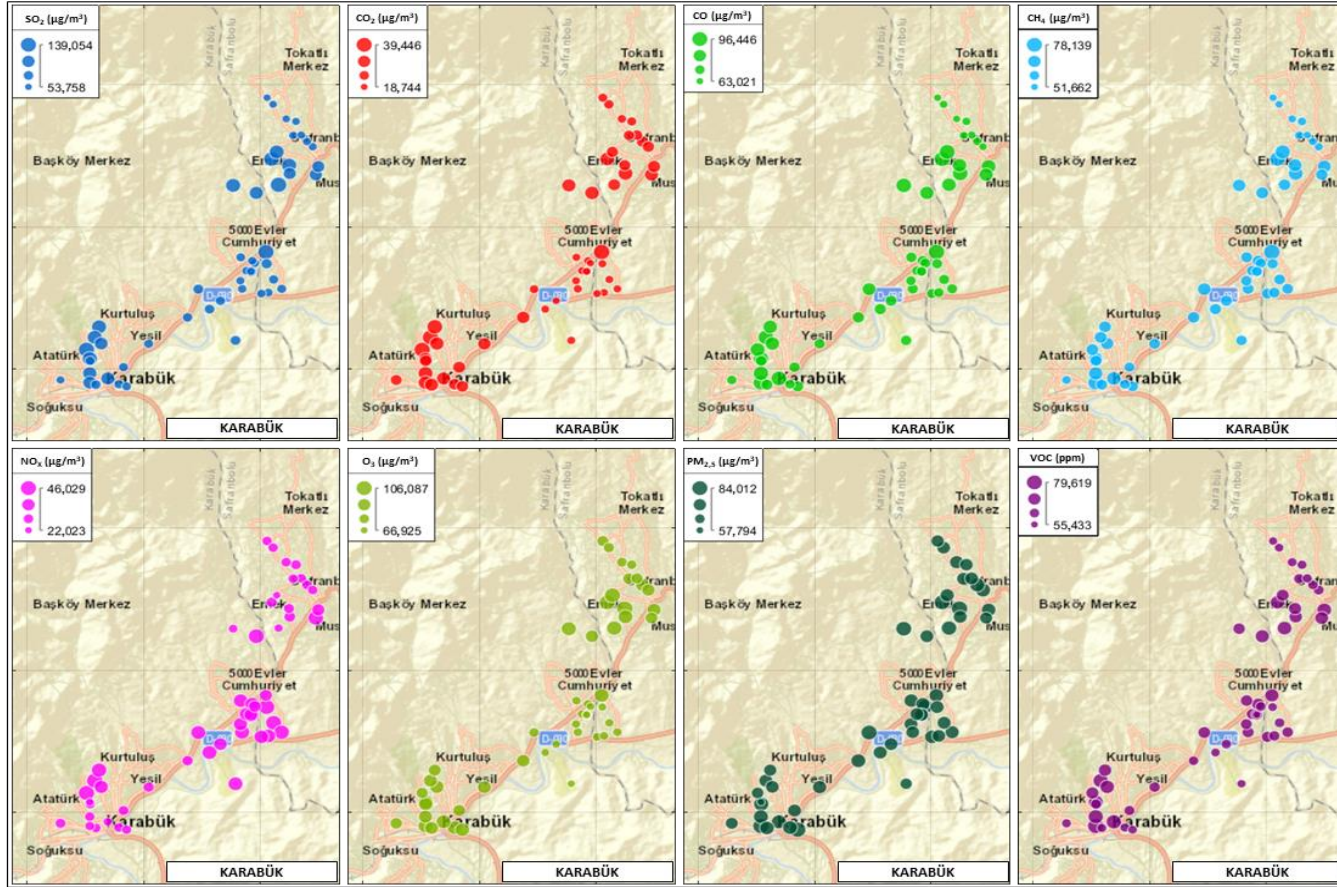


Şekil Ek B.3. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Mart 2022).

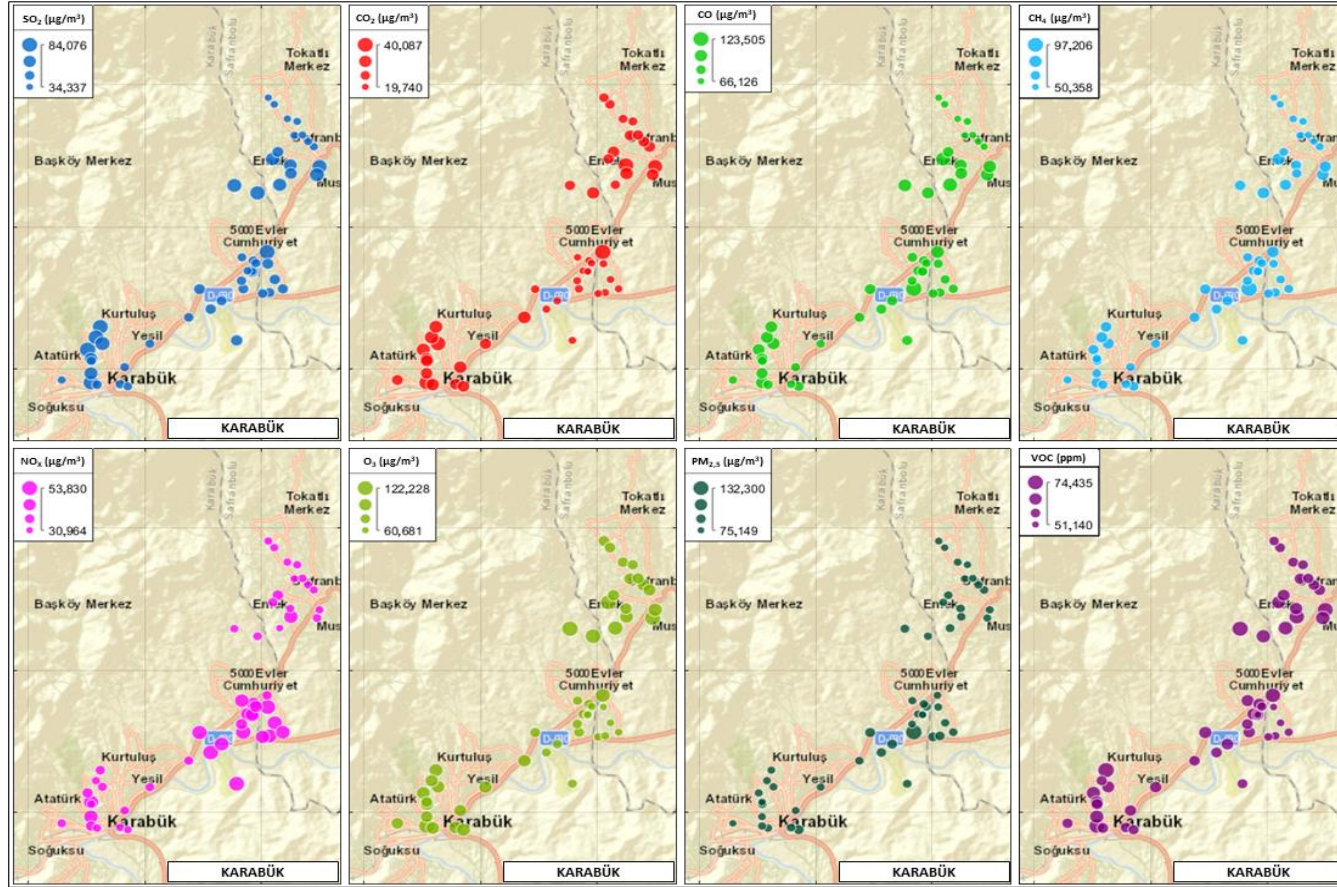


Şekil Ek B.4. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Nisan 2022).





Şekil Ek B.5. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Mayıs 2022).



Şekil Ek B.6. Ölçüm noktalarının ortalama kirlilik değerleri (Haziran 2022).

**EK AÇIKLAMALAR C.**

**İSTATİSTİKSEL ANALİZLER VE SONUÇLARI**

Çizelge Ek C.1. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Ocak 2022).

	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	86,08	38,08	69,86	62,18	97,29	15,78	112,59	83,14
Maksimum Değer	186,40	92,67	170,00	117,41	204,90	28,10	265,02	119,06
Ortalama Değer	108,16	62,52	114,70	83,45	165,11	20,49	202,42	98,40
Medyan	107,17	59,98	110,03	80,02	168,02	18,73	219,74	100,96
Geometrik Ortalama	107,78	61,04	111,97	82,06	164,40	20,13	198,37	98,22
Harmonik Ortalama	107,41	59,59	109,32	80,74	163,66	19,80	193,91	98,04
Kök Kare Ortalama	108,54	64,00	117,41	84,86	165,77	20,86	206,01	98,57
Kırpma Ortalaması (%10)	108,00	62,19	114,09	82,84	165,81	20,32	203,66	98,50
Çeyrekler Arası Ortalama	107,30	61,53	112,88	81,42	167,77	19,46	212,64	99,76
Orta Aralık	136,24	65,38	119,93	89,79	151,10	21,94	188,81	101,10
Winsorized Ortalama	108,13	62,24	114,19	83,03	165,41	20,45	202,20	98,27
Üç Ortalama	107,58	61,36	112,56	81,50	167,49	19,71	210,40	99,48
Varyans	82,87	186,99	629,28	237,93	219,15	15,53	1467,76	33,89
Standart Sapma	9,10	13,67	25,09	15,42	14,80	3,94	38,31	5,82
Çeyrekler Arası Aralık	12,33	24,58	45,10	28,22	16,43	7,23	63,40	8,35
Aralık	100,33	54,59	100,14	55,23	107,61	12,32	152,43	35,92
Ortalama Fark	10,23	15,67	28,75	17,51	16,23	4,34	42,25	6,35
Medyan Mutlak Sapma	5,85	12,06	22,13	13,11	7,96	2,02	18,61	2,24
Ortalama Mutlak Sapma	7,26	11,94	21,90	13,53	11,17	3,31	31,40	4,57
Çeyrek Dağılım	0,06	0,20	0,20	0,17	0,05	0,17	0,16	0,04
Bağıl Ortalama Fark	0,09	0,25	0,25	0,21	0,10	0,21	0,21	0,06
Standart Hata	0,11	0,16	0,30	0,18	0,18	0,05	0,45	0,07
Varyasyon Katsayısı	0,08	0,22	0,22	0,18	0,09	0,19	0,19	0,06
Çarpıklık	0,54	0,26	0,26	0,41	-0,83	0,62	-0,66	-0,49
Basıklık	4,13	1,84	1,84	1,83	3,21	1,83	2,02	2,71

Çizelge Ek C.2. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Şubat 2022).

	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	46,64	25,81	71,45	64,00	103,83	19,37	127,35	59,86
Maksimum Değer	112,84	92,16	170,05	113,30	220,23	35,63	292,85	160,13
Ortalama Değer	66,30	54,28	109,03	81,17	157,38	25,65	217,62	84,32
Medyan	64,43	47,40	101,46	75,82	158,75	24,91	225,01	81,12
Geometrik Ortalama	65,85	51,95	107,00	80,18	156,03	25,38	214,23	83,31
Harmonik Ortalama	65,42	49,83	105,12	79,26	154,65	25,12	210,56	82,36
Kök Kare Ortalama	66,76	56,72	111,16	82,21	158,69	25,92	220,70	85,38
Kırpma Ortalaması (%10)	66,02	53,64	108,03	80,33	157,19	25,57	218,38	83,62
Çeyrekler Arası Ortalama	65,00	50,59	104,50	77,83	158,23	25,32	223,98	82,35
Orta Aralık	79,74	58,98	120,75	88,65	162,03	27,50	210,10	110,00
Winsorized Ortalama	66,17	53,99	108,67	80,60	156,67	25,61	217,41	83,78
Üç Ortalama	65,21	51,75	105,06	78,67	157,99	25,30	221,92	82,43
Varyans	61,46	270,41	469,06	170,66	416,04	13,88	1352,04	179,77
Standart Sapma	7,84	16,44	21,66	13,06	20,40	3,73	36,77	13,41
Çeyrekler Arası Aralık	12,27	30,32	34,23	23,43	24,36	6,83	46,54	22,95
Aralık	66,20	66,35	98,60	49,29	116,40	16,26	165,50	100,26
Ortalama Fark	8,77	18,30	24,21	14,32	22,78	4,26	41,26	14,86
Medyan Mutlak Sapma	5,50	9,05	13,87	7,02	11,92	3,27	20,54	10,31
Ortalama Mutlak Sapma	6,41	13,79	18,01	10,83	15,62	3,27	29,05	11,53
Çeyrek Dağılım	0,09	0,27	0,16	0,14	0,08	0,13	0,11	0,14
Bağıl Ortalama Fark	0,13	0,34	0,22	0,18	0,14	0,17	0,19	0,18
Standart Hata	0,08	0,18	0,23	0,14	0,22	0,04	0,39	0,14
Varyasyon Katsayısı	0,12	0,30	0,20	0,16	0,13	0,15	0,17	0,16
Çarpıklık	0,63	0,59	0,65	0,75	0,02	0,27	-0,52	0,73
Basıklık	2,96	1,99	2,22	2,26	3,05	1,75	2,36	3,40

Çizelge Ek C.3. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Mart 2022).

	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	45,98	18,75	87,95	64,58	50,50	46,25	81,23	66,02
Maksimum Değer	72,91	34,62	136,25	88,71	79,60	80,96	110,63	87,12
Ortalama Değer	59,41	25,83	120,40	78,52	57,35	64,17	94,91	76,68
Medyan	59,42	25,67	123,59	79,17	55,60	63,12	95,86	76,41
Geometrik Ortalama	59,24	25,64	119,98	78,40	57,06	63,69	94,75	76,59
Harmonik Ortalama	59,07	25,44	119,54	78,28	56,79	63,20	94,60	76,50
Kök Kare Ortalama	59,58	26,02	120,78	78,64	57,66	64,66	95,05	76,78
Kırpma Ortalaması (%10)	59,37	25,81	121,18	78,66	56,94	64,16	94,97	76,62
Çeyrekler Arası Ortalama	59,19	25,72	123,08	79,00	55,92	63,48	95,74	76,50
Orta Aralık	59,44	26,69	112,10	76,65	65,05	63,61	95,93	76,57
Winsorized Ortalama	59,40	25,83	120,80	78,61	57,09	64,29	94,81	76,60
Üç Ortalama	59,25	25,72	122,92	78,90	56,19	63,68	95,50	76,58
Varyans	20,28	10,02	92,94	18,51	35,04	62,52	28,12	14,17
Standart Sapma	4,50	3,17	9,64	4,30	5,92	7,91	5,30	3,76
Çeyrekler Arası Aralık	6,34	4,94	11,15	5,57	8,94	9,43	6,11	3,68
Aralık	26,93	15,87	48,29	24,13	29,10	34,71	29,39	21,10
Ortalama Fark	5,07	3,63	10,22	4,80	6,50	8,87	5,92	4,10
Medyan Mutlak Sapma	3,25	2,47	5,06	2,63	3,81	4,45	2,73	1,78
Ortalama Mutlak Sapma	3,59	2,66	7,22	3,38	4,77	6,00	4,12	2,68
Çeyrek Dağılım	0,05	0,10	0,05	0,04	0,08	0,07	0,03	0,02
Bağıl Ortalama Fark	0,09	0,14	0,08	0,06	0,11	0,14	0,06	0,05
Standart Hata	0,05	0,03	0,10	0,04	0,06	0,08	0,06	0,04
Varyasyon Katsayısı	0,08	0,12	0,08	0,05	0,10	0,12	0,06	0,05
Çarpıklık	0,17	0,11	-1,19	-0,54	0,87	0,21	-0,42	0,24
Basıklık	2,98	2,18	3,57	3,14	2,74	2,54	2,61	3,51

Çizelge Ek C.4. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Nisan 2022).

	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	55,83	18,09	74,51	55,72	41,35	45,98	82,39	57,54
Maksimum Değer	118,55	40,50	139,01	88,57	79,25	98,29	109,90	88,80
Ortalama Değer	82,94	25,27	105,28	68,06	59,68	69,04	93,18	69,84
Medyan	83,31	25,78	107,09	68,07	56,96	70,82	93,10	69,50
Geometrik Ortalama	82,46	25,04	104,72	67,91	59,19	68,26	93,13	69,55
Harmonik Ortalama	81,96	24,81	104,14	67,76	58,72	67,44	93,08	69,27
Kök Kare Ortalama	83,41	25,50	105,81	68,21	60,19	69,77	93,24	70,13
Kırpma Ortalaması (%10)	82,98	25,22	105,53	67,99	59,43	69,11	93,16	69,59
Çeyrekler Arası Ortalama	83,05	25,60	106,52	68,04	57,99	70,47	93,15	69,26
Orta Aralık	87,19	29,29	106,76	72,15	60,30	72,13	96,15	73,17
Winsorized Ortalama	83,00	25,11	105,31	67,95	59,65	68,88	93,16	69,64
Üç Ortalama	83,04	25,51	106,23	68,06	58,40	70,06	93,11	69,40
Varyans	78,56	11,37	112,07	20,68	60,90	101,38	10,01	40,74
Standart Sapma	8,86	3,37	10,59	4,55	7,80	10,07	3,16	6,38
Çeyrekler Arası Aralık	9,97	4,00	11,30	5,16	12,46	12,79	5,19	7,35
Aralık	62,72	22,41	64,51	32,85	37,90	52,31	27,50	31,26
Ortalama Fark	9,82	3,74	11,65	5,04	8,74	11,25	3,61	7,15
Medyan Mutlak Sapma	4,95	1,87	5,33	2,58	4,75	5,96	2,60	3,70
Ortalama Mutlak Sapma	6,74	2,61	8,01	3,42	6,45	7,81	2,67	4,93
Çeyrek Dağılım	0,06	0,08	0,05	0,04	0,10	0,09	0,03	0,05
Bağıl Ortalama Fark	0,12	0,15	0,11	0,07	0,15	0,16	0,04	0,10
Standart Hata	0,09	0,04	0,11	0,05	0,08	0,10	0,03	0,07
Varyasyon Katsayısı	0,11	0,13	0,10	0,07	0,13	0,15	0,03	0,09
Çarpıklık	-0,05	0,01	-0,47	0,22	0,57	-0,36	0,12	0,53
Basıklık	3,60	3,25	3,32	3,40	2,08	2,68	2,58	2,78

Çizelge Ek C.5. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Mayıs 2022).

	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	48,23	18,83	61,38	50,87	22,10	67,03	59,83	56,17
Maksimum Değer	137,03	38,96	95,89	77,51	45,90	105,47	83,55	78,55
Ortalama Değer	90,86	28,56	80,44	62,40	34,24	84,81	75,62	64,45
Medyan	95,47	29,88	82,17	62,00	34,71	86,63	75,54	64,65
Geometrik Ortalama	88,80	28,13	80,17	62,31	33,86	84,44	75,57	64,33
Harmonik Ortalama	86,65	27,66	79,89	62,21	33,47	84,06	75,52	64,22
Kök Kare Ortalama	92,79	28,95	80,71	62,50	34,62	85,17	75,67	64,56
Kırpma Ortalaması (%10)	90,79	28,61	80,61	62,40	34,24	84,95	75,63	64,42
Çeyrekler Arası Ortalama	92,59	29,47	81,44	62,16	34,46	86,50	75,55	64,59
Orta Aralık	92,63	28,90	78,64	64,19	34,00	86,25	71,69	67,36
Winsorized Ortalama	90,53	28,45	80,50	62,43	34,19	84,65	75,65	64,38
Üç Ortalama	91,64	29,22	80,92	62,22	34,42	86,10	75,60	64,54
Varyans	353,47	22,75	42,34	12,12	25,68	60,03	7,73	14,42
Standart Sapma	18,80	4,77	6,51	3,48	5,07	7,75	2,78	3,80
Çeyrekler Arası Aralık	32,25	6,69	10,68	4,63	8,71	8,07	4,04	4,56
Aralık	88,79	20,12	34,51	26,64	23,80	38,44	23,73	22,38
Ortalama Fark	21,38	5,34	7,31	3,79	5,84	8,45	3,18	4,28
Medyan Mutlak Sapma	13,37	2,69	3,95	2,16	4,28	3,35	2,00	2,24
Ortalama Mutlak Sapma	15,72	3,76	5,31	2,69	4,34	5,69	2,29	3,00
Çeyrek Dağılım	0,18	0,12	0,07	0,04	0,13	0,05	0,03	0,04
Bağıl Ortalama Fark	0,24	0,19	0,09	0,06	0,17	0,10	0,04	0,07
Standart Hata	0,20	0,05	0,07	0,04	0,05	0,08	0,03	0,04
Varyasyon Katsayısı	0,21	0,17	0,08	0,06	0,15	0,09	0,04	0,06
Çarpıklık	-0,16	-0,49	-0,50	0,07	-0,08	-0,61	-0,02	0,01
Basıklık	2,02	2,26	2,53	4,40	1,90	2,73	2,52	2,78

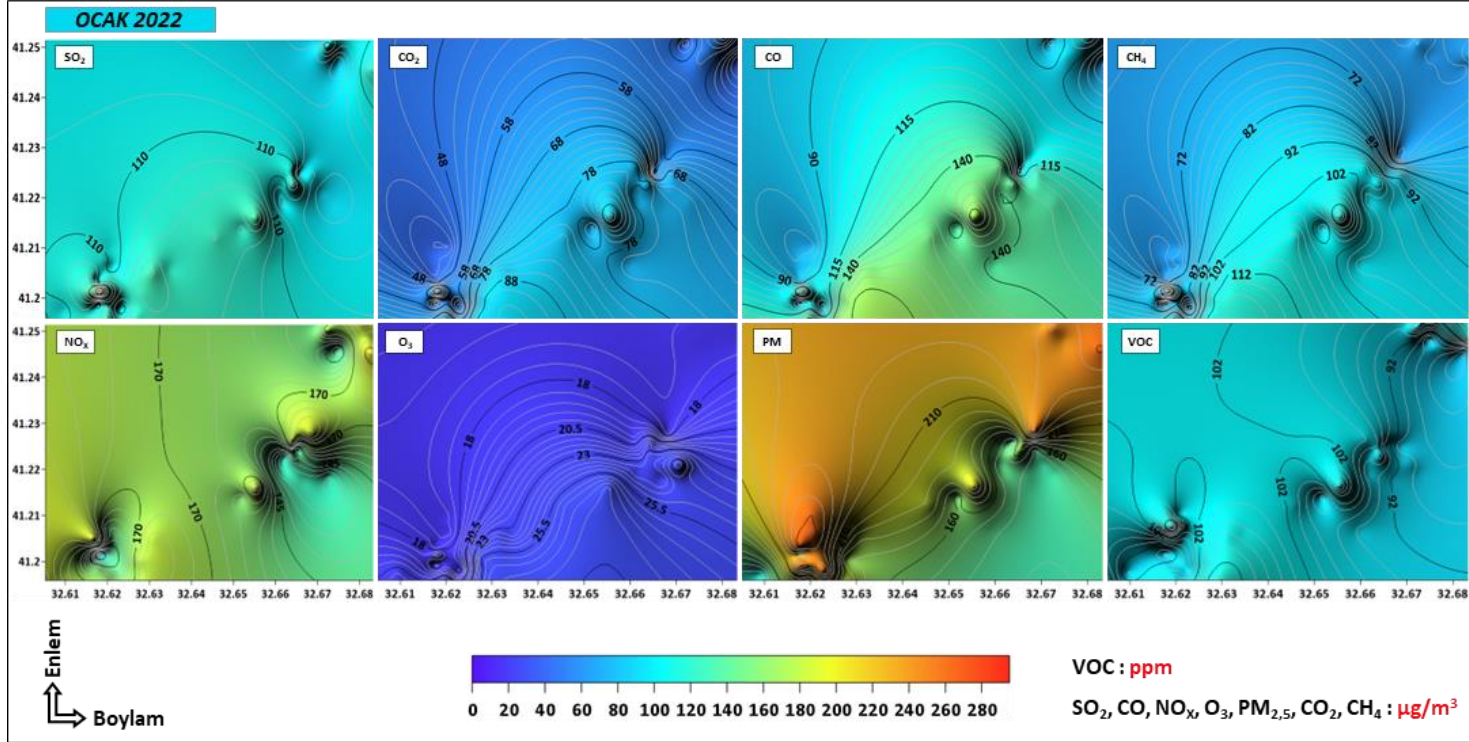


Çizelge Ek C.6. Ortalama kirletici değerleri için yapılan analizler ve sonuçları (Haziran 2022).

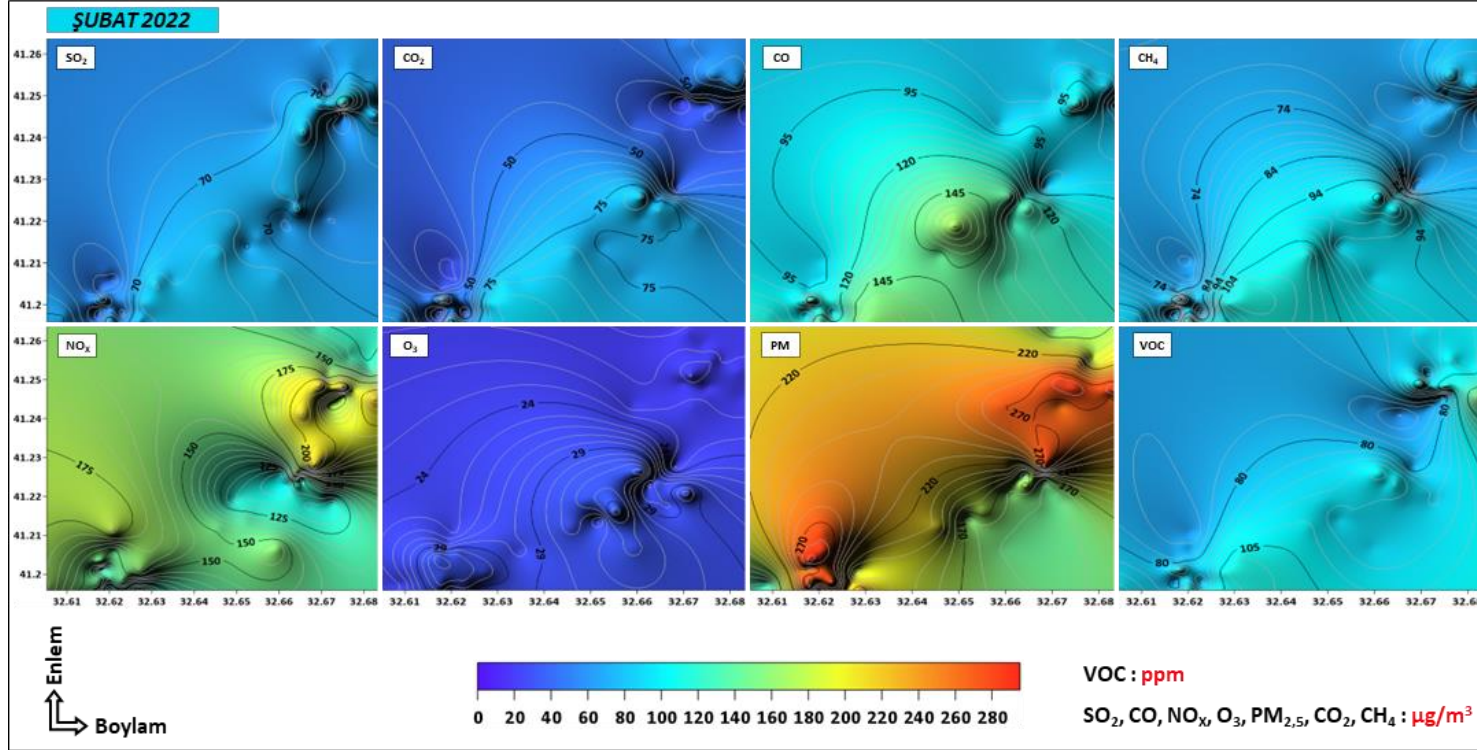
	Ortalama Kirletici Değerleri							
	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	VOC
Minimum Değer	33,35	19,87	64,26	50,26	31,26	58,83	75,15	50,11
Maksimum Değer	83,81	39,43	119,17	93,54	52,92	121,89	128,14	74,34
Ortalama Değer	58,31	26,24	86,53	62,00	38,21	94,76	81,35	65,06
Medyan	59,77	25,74	86,87	61,76	35,68	99,45	80,55	67,51
Geometrik Ortalama	57,36	26,03	86,19	61,86	37,84	93,75	81,26	64,77
Harmonik Ortalama	56,37	25,81	85,84	61,73	37,50	92,66	81,18	64,47
Kök Kare Ortalama	59,21	26,46	86,87	62,14	38,62	95,68	81,46	65,34
Kırpma Ortalaması (%10)	58,42	26,14	86,51	61,93	37,84	95,08	80,86	65,28
Çeyrekler Arası Ortalama	58,66	26,01	86,53	61,73	36,27	97,91	80,65	66,45
Orta Aralık	58,58	29,65	91,71	71,90	42,09	90,36	101,65	62,22
Winsorized Ortalama	58,45	26,13	86,51	61,95	38,10	94,59	80,85	65,11
Üç Ortalama	58,73	26,11	86,31	61,74	36,67	97,06	80,65	66,20
Varyans	105,30	11,37	58,76	17,17	31,02	175,82	16,74	35,90
Standart Sapma	10,26	3,37	7,67	4,14	5,57	13,26	4,09	5,99
Çeyrekler Arası Aralık	15,84	4,55	8,94	4,10	7,22	15,58	3,50	10,70
Aralık	50,46	19,56	54,90	43,28	21,66	63,06	52,99	24,23
Ortalama Fark	11,73	3,81	8,44	4,35	5,88	14,53	3,54	6,68
Medyan Mutlak Sapma	8,27	2,27	4,22	2,04	2,24	5,57	1,71	3,55
Ortalama Mutlak Sapma	8,58	2,71	5,82	2,97	4,14	10,07	2,40	5,04
Çeyrek Dağılım	0,14	0,09	0,05	0,03	0,10	0,08	0,02	0,08
Bağıl Ortalama Fark	0,20	0,15	0,10	0,07	0,15	0,15	0,04	0,10
Standart Hata	0,11	0,04	0,08	0,04	0,06	0,14	0,04	0,06
Varyasyon Katsayısı	0,18	0,13	0,09	0,07	0,15	0,14	0,05	0,09
Çarpıklık	-0,16	0,35	0,08	0,73	1,03	-0,66	4,07	-0,59
Basıklık	2,28	2,73	3,73	6,97	2,64	2,58	29,82	1,91

**EK AÇIKLAMALAR D.**

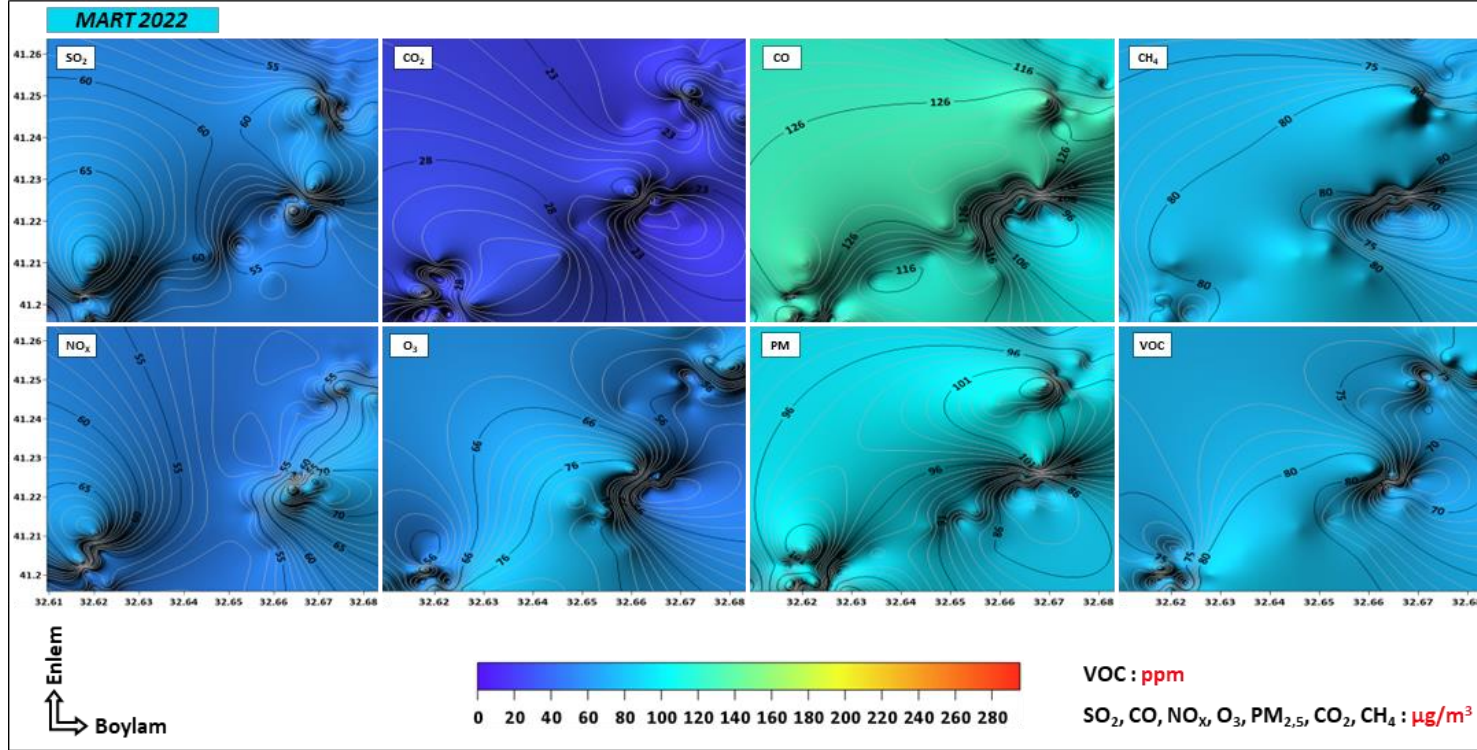
**KİRLİLİK HARİTALARI**



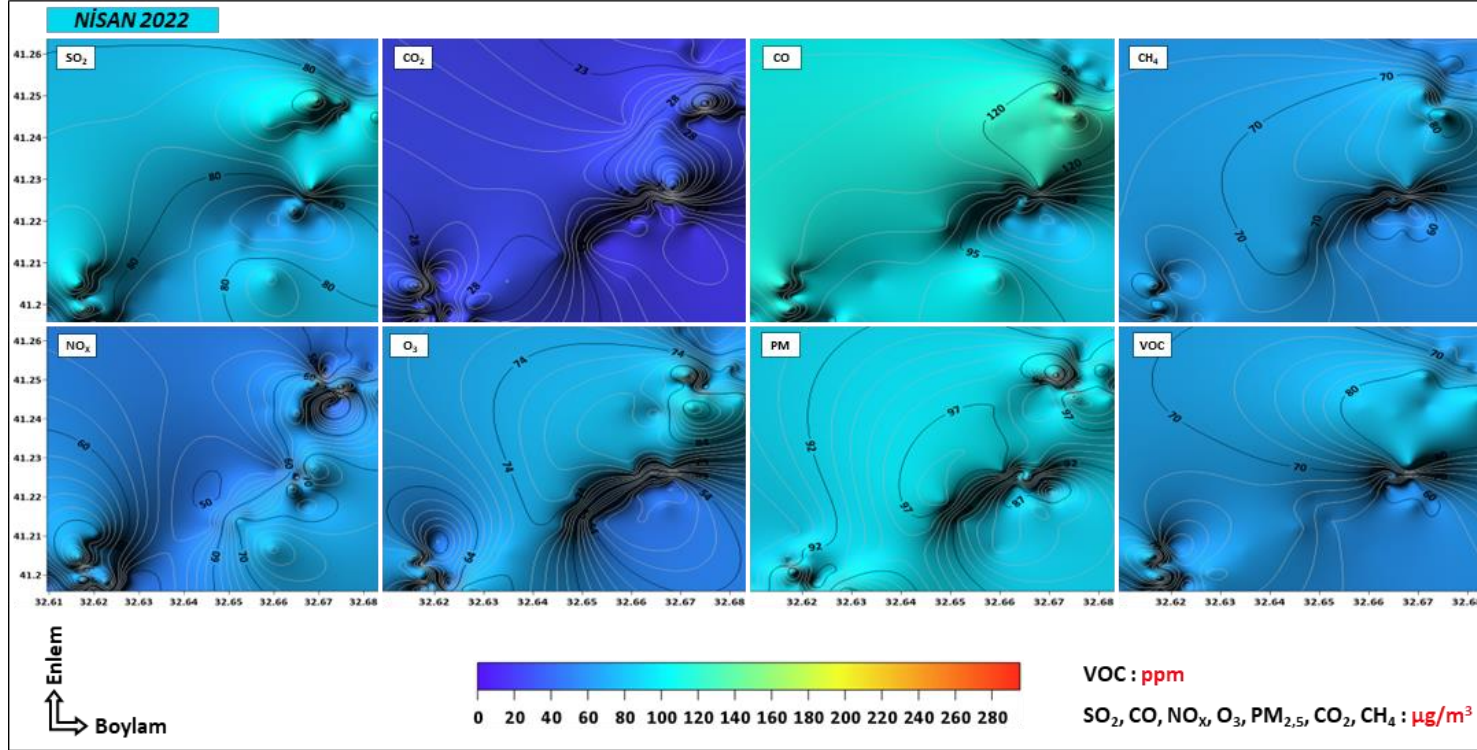
Şekil Ek D.1. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Ocak 2022).



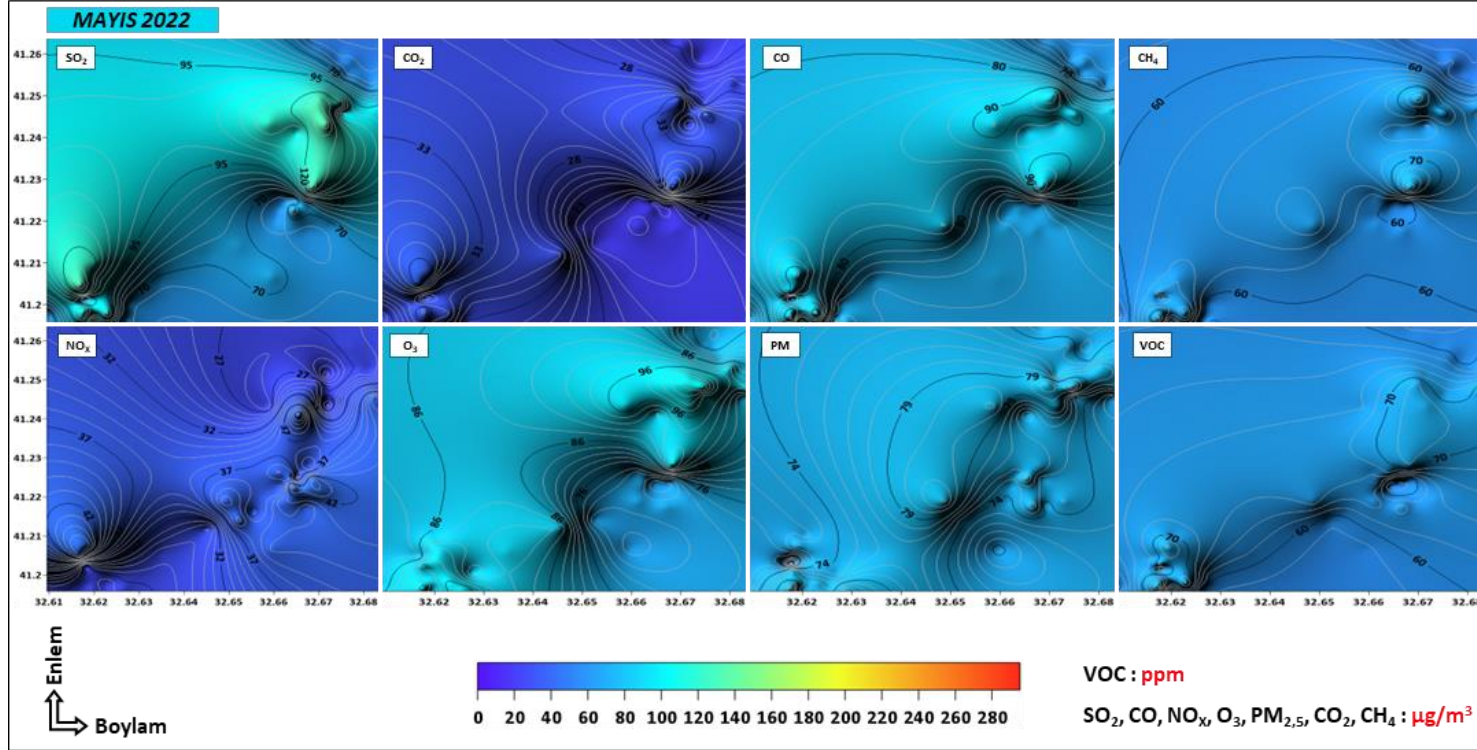
Şekil Ek D.2. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Şubat 2022).



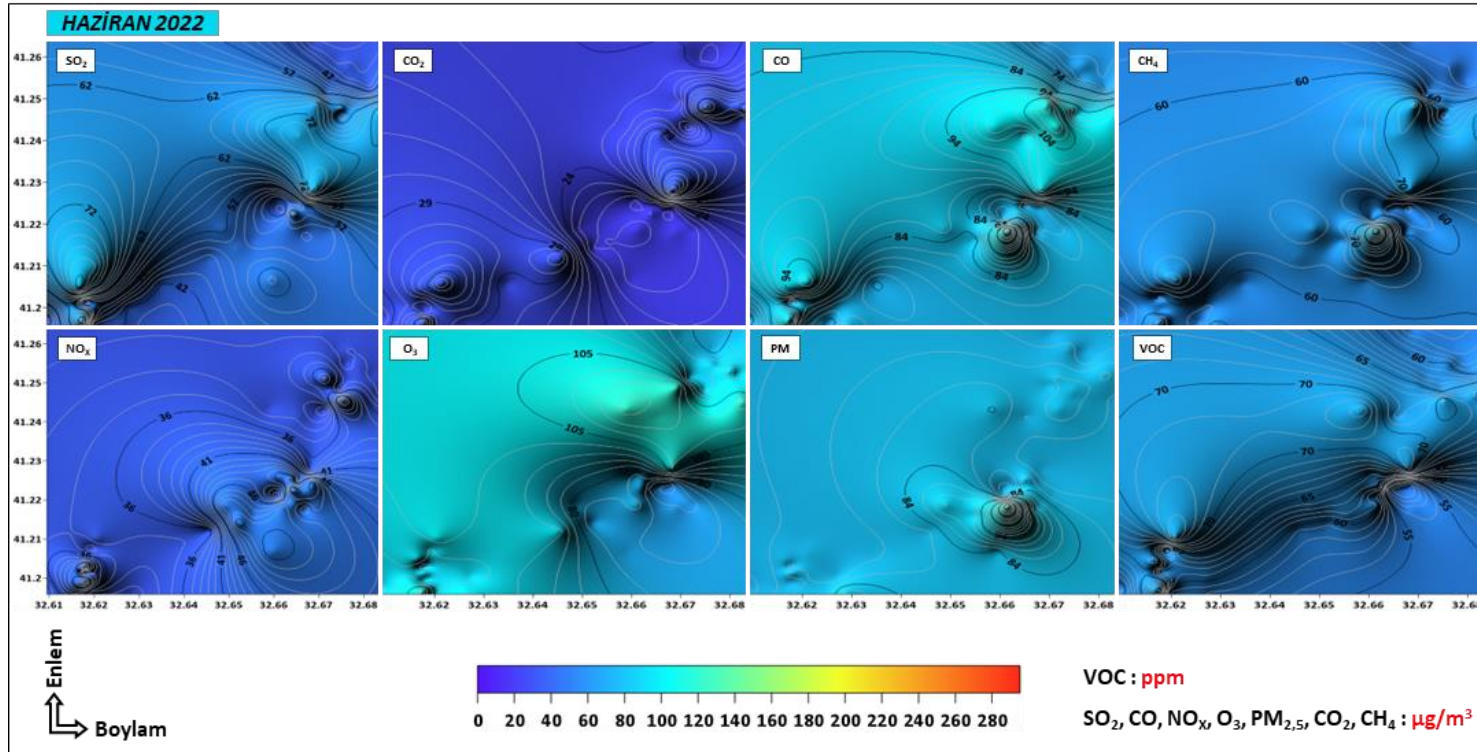
Şekil Ek D.3. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Mart 2022).



Şekil Ek D.4. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Nisan 2022).



Şekil Ek D.5. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Mayıs 2022).



Şekil Ek D.6. CBS teknikleri ve Kriging yöntemleri ile elde edilen kirlilik haritaları (Haziran 2022).



## ÖZGEÇMİŞ

Hasan ÖZSOY ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı; 2007 yılında Plevne Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi – Kimya Bölümü'nde Lisans Programı'na başlayıp 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi – Kimya Bölümü'nde başladığı Yüksek Lisans Programı'nı 2016 yılında Karabük Üniversitesi – Kimya Bölümü'nde tamamladı. Karabük Üniversitesi – Makine Mühendisliği Bölümü'nde Doktora imtihanında başarılı olarak, 2016-2017 döneminde Bilimsel Hazırlık Programı'nı tamamlayıp, 2017 yılında Doktora Programı'na devam etmeye hak kazanarak çalışmalara başladı.