

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANA BİLİM DALI**



**KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL
DEĞİŞİMİ VE COĞRAFİ KOŞULLARLA İLİŞKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gamze ACAK

Danışman

Doç. Dr. Harun Reşit BAĞCI

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Gamze ACAK tarafından, **Doç. Dr. Harun Reşit BAĞCI** danışmanlığında hazırlanan “**KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ VE COĞRAFI KOŞULLARLA İLİŞKİSİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 13.4.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Kemalettin ŞAHİN Coğrafya Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Danışman Üye	Doç. Dr. Harun Reşit BAĞCI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Coğrafya Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi İlder Kutlu HATİPOĞLU Gümüşhane Üniversitesi Coğrafya Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☒

Hayır ☐

13 /01 / 2023
Gamze ACAK

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ VE COĞRAFİ KOŞULLARLA İLİŞKİSİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 13.01.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 16

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

13 /01 / 2023
Doç. Dr. Harun Reşit BAĞCI

ÖZET

KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ VE COĞRAFİ KOŞULLARLA İLİŞKİSİ

Gamze ACAK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Coğrafya Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Nisan/2023

Danışman: Doç. Dr. Harun Reşit BAĞCI

19. yy'da ki Sanayi Devrimiyle tüm dünyada şehirleşmenin, fosil yakıt kullanımının, motorlu araç sayısının artması, atmosferde; metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve kükürtdioksit (SO_2) gibi kirleticilerin konsantrasyonun artmasına neden olmuş, bu durum solunan havanın kalitesini düşürmüştür. Bu çalışmada Kayseri şehrinde hava kirliliğinin etkileri, zamansal değişimi ve coğrafi koşullarla ilişkisi değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında Kocasinan ve Melikgazi ilçelerindeki Hürriyet, Organize Sanayi Bölgesi (OSB) ve Trafik hava kalitesi ölçüm istasyonlarının; 2008-2021 yılları arasını kapsayan verilerinden faydalanılarak şehirde; hava kirliliğinin zamansal (aylara ve yıllara göre) ve mekansal değişiminin ve bu değişim üzerinde etkili olan faktörlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak; şehirdeki 3 istasyonun aylık ortalama kükürtdioksit (SO_2) ve partikül madde (PM_{10}) verileri analiz edilmiştir. Bunun yanı sıra Kayseri, 7. Bölge Meteoroloji Müdürlüğüne ait meteorolojik parametreler ile atmosferik kirleticiler ilişkilendirilmiştir. Zaman serilerindeki trendin varlığını ve büyüklüğünü tespit edebilmek için non-parametrik testlerden Mann-Kendall kullanılmıştır. Araştırma sahasında SO_2 ve PM_{10} değerleri Hürriyet istasyonunda en yüksek, OSB istasyonunda ise en düşüktür. Hürriyet istasyonunda yerleşme ve trafiğin daha yoğun olmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Kayseri'de yıllık ortalama sıcaklığa ve kış sıcaklıklarına bağlı olarak yılın bir bölümünde ısınma kaynaklı fosil yakıt tüketimi artmaktadır. Araştırma sahasında 2008-2021 yılları arasında, doğalgaz kullanımının artması, yasal düzenlemeler ve kış sıcaklıklarının yükselmesine bağlı olarak PM_{10} ve SO_2 düzeyleri düşmüştür. Ancak ortalamalar halen WHO sınırlarının üzerindedir. Hava kirliliğini en az seviyeye indirmek için doğalgaz kullanımının yaygınlaştırılması, gerekli yasal düzenlemelerin yapılması ve toplumun bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler: Hava kirliliği, Partikül madde (PM_{10}), Kükürtdioksit (SO_2), Kayseri.

ABSTRACT

TEMPORARY CHANGE OF AIR POLLUTION IN KAYSERİ AND ITS RELATIONSHIP WITH GEOGRAPHICAL CONDITIONS

Gamze ACAK

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Geography

Master, April,/2023

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Harun Reşit Bağcı

With the Industrial Revolution in the 19th century, urbanization, the use of fossil fuels and the increase in the number of motor vehicles all over the world; This caused an increase in the concentration of pollutants such as methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and sulfur dioxide (SO₂), which reduced the quality of the inhaled air. In this study, the effects of air pollution in the city of Kayseri, its temporal variation and its relationship with geographical conditions were evaluated. Within the scope of the research, Hürriyet, Organized Industrial Zone (OIZ) and Traffic air quality measurement stations in Kocasinan and Melikgazi districts; Using the data covering the years 2008-2021, in the city; It is aimed to evaluate the temporal (months and years) change of air pollution and the factors affecting this change. For this purpose; monthly average sulfur dioxide (SO₂) and particulate matter (PM₁₀) data of 3 stations in the city were analyzed. In addition, meteorological parameters belonging to the 7th Regional Meteorology Directorate of Kayseri and atmospheric pollutants were associated. Mann-Kendall, one of the non-parametric tests, was used to determine the presence and magnitude of the trend in the time series. In the research area, SO₂ and PM₁₀ values are highest at Hürriyet station and lowest at OSB station. It is thought that this situation is caused by the settlement and the denser traffic at the Hürriyet station. Depending on the annual average temperature and winter temperatures in Kayseri, fossil fuel consumption due to heating increases in a part of the year. PM₁₀ and SO₂ levels decreased in the research area between 2008-2021 due to the increase in natural gas use, legal regulations and increase in winter temperatures. However, the averages are still above the WHO limits. In order to minimize air pollution, it is necessary to expand the use of natural gas, to make necessary legal arrangements and to raise awareness of the society.

Keywords: Air Pollution, Particle Matter (PM₁₀), Sulfur Dioxide (SO₂), Kayseri

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

“KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ VE COĞRAFİ KOŞULLARLA İLİŞKİSİ” başlıklı bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü dahilinde yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında Kayseri şehrinde hava kirliliğinin etkileri, zamansal ve mekansal değişimi ve coğrafi koşullarla ilişkisi değerlendirilmiştir

Çalışmanın birinci bölümünde araştırmanın konusu, amacı ve önemi, araştırmanın problemi, araştırma sahasının yeri ve sınırları ile önceki çalışmalar yer almaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde hava kirliliğine ile alakalı kavramsal çerçeve bölümü hazırlanmıştır. Üçüncü bölümde araştırmada kullanılan verilerin elde edilmesi ve kullanılan yöntemlerin ayrıntılı şekilde açıklandığı veriler ve yöntemler kısmı yer almaktadır. Dördüncü bölümde çalışma sahasının coğrafi özelliklerine değinilmiştir. Son olarak beşinci bölümde hava kirliliğinin zamansal değişimi, coğrafi koşullarla ilişkisi ve mekansal dağılımını ortaya koyan analizlere yer verilmiştir. Hava kirliliğini tüm yönleriyle ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma 120 sayfadan oluşmaktadır ve bünyesinde harita, grafik ve fotoğraflardan oluşan 53 adet görsel ile 30 adet tablo bulunmaktadır.

Çalışmanın konusu ve kapsamı itibarıyla bundan sonraki Kayseri şehrindeki hava kirliliği hakkında bir farkındalık oluşturacağı ve literatüre ve yöreye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının ilk aşamasından son aşamasına kadar olan süreçte bana desteklerini üzerimden hiç eksik etmeyen kıymetli danışmanım Doç. Dr. Harun Reşit BAĞCI'ya, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Coğrafya Bölümünün tüm hocalarına, değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Kemalettin Şahin'e, Dr. Öğr. Üyesi İlter Kutlu HATİPOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜRGÖZE'ye, desteklerinden ötürü Serdar DEMİR'e, bu süreçte maddi manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme ve son olarak her düştüğümde beni ayağa kaldıran, sabırla bana katlanan ve motivasyonumu her daim yüksek tutan yol arkadaşım Muhammed Mustafa ÖZDEL'e, teşekkürlerimi sunarım.

Gamze ACAK

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	4
1.2. Araştırmanın Problemi	5
1.3. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları	6
1.4. Literatür Özeti.....	6
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	12
2.1. Atmosfer ve Hava Kirliliği	12
2.2. Kirletici Maddeler	12
2.2.1. Gaz Kirleticiler.....	13
2.2.2. Partikül Kirleticiler	14
2.3. Hava Kirliliğinin Etkileri	15
2.3.1. Halk Sağlığına Etkileri.....	15
2.3.2. Bitki ve Hayvanlar Üzerindeki Etkisi	16
2.3.3. Cansız Varlıklar Üzerindeki Etkisi	17
2.4. Hava Kirliliği ile Mücadele.....	17
2.4.1. Ulusal Mücadele	19
2.4.2. Hava Kalitesi İndeksi (HKİ)	20
3. VERİ VE YÖNTEMLER.....	22
3.1. Veri	22
3.2. Yöntemler	22
3.2.1. Mann-Kendall Trend Testi.....	24
3.2.2. Çoklu Regresyon Testi.....	25
3.2.3. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi.....	25
3.2.4. Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi (Weighted Overlay)	26
4. KAYSERİ ŞEHRİNİN COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ.....	28
4.1. Doğal Ortam Özellikleri.....	28

4.1.1. Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikler.....	28
4.1.2. İklim Sınıflandırmaları.....	37
4.1.3. Toprak ve Bitki Örtüsü	37
4.1.4. Arazi Kullanımı	39
4.2. Beşeri ve Ekonomik Özellikler	43
4.2.1. Nüfus Özellikleri.....	43
4.2.2. Yerleşme Özellikleri	44
4.2.3. Ekonomik Faaliyetler.....	47
5. KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ VE COĞRAFİ KOŞULLARLA İLİŞKİSİ	51
5.1. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliği.....	51
5.1.1. Hürriyet İstasyonu Kirletici Konsantrasyon Değerleri	53
5.1.2. OSB İstasyonu Kirletici Konsantrasyon Değerleri	58
5.1.3. Trafik İstasyonu Kirletici Konsantrasyon Değerleri	62
5.2. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Coğrafi Koşullarla İlişkisi	65
5.2.1. İklim Koşullarıyla İlişkisi	65
5.3. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Zamansal Değişimi	79
5.3.1. Regresyon Analizi.....	79
5.3.2. Mann-Kendall Analizi.....	86
5.3.3. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Trend Analizi	88
5.4. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Dağılımı	90
5.4.1. Yerleşme	91
5.4.2. Sanayi.....	92
5.4.3. Ulaşım.....	94
5.4.4. Tarım.....	95
5.4.5. Yükselti.....	95
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	101
ÖZ GEÇMİŞ.....	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	:Avrupa Birliği
CH ₄	:Metan
CBS	:Coğrafi Bilgi Sistemleri
CO ₂	:Karbondioksit
CO	:Karbonmonoksit
ÇŞİB	:Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
EPA	:ABD Çevre Koruma Ajansı
HKDY	:Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi
HKKY	:Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği
HKİ	:Hava Kalitesi İndeksi
hPa	:Hectopascal
H ₂ S	:Hidrojen Sülfür
H ₂ SO ₄	:Sülfürikasit
km ²	:Kilometrekare
SO ₂	:Kükürtdioksit
m	:Metre
mm	:Milimetre
N	:Azot
NO	:Azotoksit
N ₂ O	:Diazotmonoksit
O	:Oksijen
O ₃	:Ozon
OMÜ	:Ondokuz Mayıs Üniversitesi
OSB	:Organize Sanayi Bölgesi
PM	:Partikül Madde
RHSM	:Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı
TÜİK	:Türkiye İstatistik Kurumu
WHO	:Dünya Sağlık Örgütü
WMO	:Dünya Meteoroloji Örgütü
°C	:Derece Santigrat
µg/m ³	:Mikrogram metreküp

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Araştırma sahasının yeri ve sınırları.....	6
Şekil 2.1. Ulusal Hava Kalitesi Endeksi.....	21
Şekil 2.2. Ulusal Hava Kalitesi Endeksi Kesme Noktaları.....	21
Şekil 4.1. Çalışma sahasına ait litoloji haritası.....	28
Şekil 4.2. Kayseri Bölge istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık ve aylık ortalama maksimum sıcaklık grafikleri	32
Şekil 4.3. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu aylara göre toplam ve maksimum yağış ortalamaları	33
Şekil 4.4. Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonundan alınan aylık ortalama hava basıncı, maksimum hava basıncı ve minimum hava basıncı değerleri	34
Şekil 4.5. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu Rubinstein formülüne göre yıllık hakim rüzgar yönleri ve frekansları (%).....	35
Şekil 4.6 Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonundan alınan ortalama su buharı basıncı ve ortalama nispi nem değerleri	36
Şekil 4.7. Çalışma sahasında yer alan Kızılırmak Nehri'nin 02.03.2023 tarihli uydu görüntüsü.	40
Şekil 4.8. Çalışma sahası içerisinde yer alan yerleşmelerin uydu görüntüsü.	40
Şekil 4.9.Çalışma sahasında yer alan Organize Sanayi Bölgesinin uydu görüntüsü.	41
Şekil 4.10.Çalışma sahasına ait arazi kullanım haritası.....	42
Şekil 4.11.Kültepe antik kenti	45
Şekil 4.12.Kültepe antik kenti	46
Şekil 4.13. Kayseri kale surları	46
Şekil 4.14.Tarihi Kayseri sokakları ve evleri. Talas, Osmanlı sokağı.....	47
Şekil 4.15.Kayseri Şehri. Talas Ali Dağ.....	47
Şekil 5.1. Hava kalitesi ölçüm istasyonlarını gösteren 28.02.2023 tarihli Google Earth görüntüsü	52
Şekil 5.2.Hürriyet istasyonuna ait uydu görüntüsü	53
Şekil 5.3.Hürriyet istasyonu PM ₁₀ ve SO ₂ değerlerinin 2008-2021 yılları arası değişimi.....	56
Şekil 5.4.Hürriyet istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama PM ₁₀ değerleri.....	57
Şekil 5.5.Hürriyet istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama SO ₂ değerleri.....	57
Şekil 5.6.OSB istasyonuna ait uydu görüntüsü	58
Şekil 5.7. OSB istasyonu PM ₁₀ ve SO ₂ değerlerinin 2008-2021 yılları arası değişimi	60
Şekil 5.8.OSB istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama PM ₁₀ değerleri	61
Şekil 5.9.OSB istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama SO ₂ değerleri	61
Şekil 5.10. Trafik istasyonuna ait uydu görüntüsü	63
Şekil 5.11. Trafik Hava Kalitesi İstasyonu.....	63
Şekil 5.12.Trafik istasyonu PM ₁₀ değerlerinin 2008-2021 yılları arası değişimi	65
Şekil 5.13.Trafik istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama PM ₁₀ değerleri	65
Şekil 5.14.İnversiyon (sıcaklık terselmesi) olayının şematik görünümü.....	67
Şekil 5.15. Kentsel Hava Kirliliği Riski için Enversiyon Şiddeti Tahmini	67
Şekil 5.16. Şehir üzerinde oluşan inversiyon olayı. Erkiyet Camiikebir Mahallesi	68
Şekil 5.17. Şehir üzerinde oluşan inversiyon olayı. Ali Dağı.....	69

Şekil 5.18. Şehir üzerinde oluşan inversiyon olayı. Erkilet Camiikebir Mahallesi	69
Şekil 5.19.Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM ₁₀ ve sıcaklık grafikleri.....	71
Şekil 5.20.Hürriyet ve OSB istasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO ₂ ve sıcaklık grafikleri...	72
Şekil 5.21.Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM ₁₀ ve rüzgar hızı grafikleri.....	74
Şekil 5.22.Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO ₂ ve rüzgar hızı grafikleri	75
Şekil 5.23.Hürriyet, OSB ve Trafik İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM ₁₀ ve basınç değişimi	76
Şekil 5.24. Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO ₂ ve basınç değişimi.....	77
Şekil 5.25.Hürriyet, OSB ve Trafik İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM ₁₀ ve nispi nem değişimi	78
Şekil 5.26.Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO ₂ ve nispi nem değişimi	79
Şekil 5.27. Hürriyet istasyonuna ait PM ₁₀ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri	80
Şekil 5.28.Hürriyet istasyonuna ait SO ₂ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri	81
Şekil 5.29. OSB istasyonuna ait PM ₁₀ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri	83
Şekil 5.30.OSB istasyonuna ait SO ₂ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri.....	84
Şekil 5.31. Trafik istasyonuna ait PM ₁₀ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri	85
Şekil 5.32.Hürriyet İstasyonu PM ₁₀ değerleri MannKendall Mertebe Korelasyon Testi trend analizi	88
Şekil 5.33.Hürriyet İstasyonu SO ₂ değerleri Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Trend Analizi	89
Şekil 5.34. OSB İstasyonu SO ₂ değerleri Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Trend Analizi ...	89
Şekil 5.35.Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu rüzgar hızı değerlerinin Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Trend analizi	90
Şekil 5.36 Hava Kalitesinin Mekansal Dağılışı.....	90
Şekil 5.37.Ağırlıklı Çakıştırma Yönteminde Kullanılan Parametrelerin Sahadaki Durumu	91
Şekil 5.38. Hürriyet Mahallesi	92
Şekil 5.39. Eskişehirbağları.....	92
Şekil 5.40. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi.....	93
Şekil 5.41. Kayseri Yem Fabrikası.....	94
Şekil 5.42. İstasyon Caddesi	94
Şekil 5.43.Hava kalitesi istasyonlarının çevresinde bulunan kirletici kaynak alanları	96

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan verilerin, veri kaynağı ve kullanım amacı.	22
Tablo 3.2. Çalışma sahasında bulunan CORINE arazi örtüsü sınıfları ve hangi başlıklar altında birleştirildiklerini gösteren tablo.	23
Tablo 3.3 Kayseri Şehrinde Kirleticili Kaynaklarına Göre Hava Kalitesinin Mekânsal Dağılışı ve Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) Kullanılarak Analiz Belirlenmesi	27
Tablo 4.1. Kayseri Bölge istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık ve aylık ortalama maksimum sıcaklık değerleri.....	31
Tablo 4.2. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonuna ait aylık ve yıllık toplam yağış ve maksimum yağış ortalamaları	33
Tablo 4.3. Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonunun aylık ve yıllık ortalama, maksimum ve minimum hava basıncı.....	34
Tablo 4.4. Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonu ortalama su buharı basıncı ve ortalama nispi nem değerleri	36
Tablo 4.5. Kayseri Şehri Erinç ve De Mortanne-Gottman Kuraklık Endeksi	37
Tablo 4.6. Kocasinan ve Melikgazi ilçeleri 2008-2022 yılları arası toplam nüfus değerleri.....	43
Tablo 4.7.Kayseri’de bulunan 2020 yılı OSB, Sanayi İşletmeler ve Üretim Alanları.....	49
Tablo 4.8.Kayseri’de 2020 yılında yetiştirilen tarım ürünlerinin ekiliş miktarı ve dağılımı	50
Tablo 4.9.Kayseri’de 2020 yılında ki hayvan varlığı	50
Tablo 5.1. Çalışmada Kullanılan Hava Kalitesi İstasyonları.....	51
Tablo 5.2.Hürriyet İstasyonuna ait genel bilgiler	53
Tablo 5.3.Hürriyet istasyonu aylık ve yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) değerleri ve ortalamaları.....	55
Tablo 5.4.Hürriyet istasyonu aylık ve yıllık SO ₂ (µg/m ³) değerleri ve ortalamaları.....	56
Tablo 5.5. OSB İstasyonuna ait genel bilgiler.....	58
Tablo 5.6.OSB istasyonu aylık ve yıllık PM ₁₀ (µg/m ³) değerleri ve ortalamaları	59
Tablo 5.7.OSB istasyonu aylık ve yıllık SO ₂ (µg/m ³) değerleri ve ortalamaları	60
Tablo 5.8.Trafik İstasyonuna ait genel bilgiler	62
Tablo 5.9.Trafik istasyonu aylık ve yıllık PM ₁₀ değerleri ve ortalamaları	64
Tablo 5.10.Çalışma sahasında yapılan 3 günlük inversiyon tahminleri	68
Tablo 5.11. Hürriyet istasyonu PM ₁₀ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları	81
Tablo 5.12 Hürriyet istasyonu SO ₂ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları	82
Tablo 5.13.OSB istasyonu PM ₁₀ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları	83
Tablo 5.14. OSB istasyonu SO ₂ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları	84
Tablo 5.15.Trafik istasyonu PM ₁₀ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları	86
Tablo 5.16.Hürriyet istasyonu meteorolojik faktörler ile kirleticilerin Mann-Kendall trend analizi....	87
Tablo 5.17.OSB istasyonu meteorolojik faktörler ile kirleticilerin Mann-Kendall trend analizi	87
Tablo 5.18.Trafik istasyonu meteorolojik faktörler ile kirleticilerin Mann-Kendall trend analizi	88

1. GİRİŞ

21. yüzyılda dünya nüfusu ve ihtiyaçlarının artması, sanayi devrimiyle artan fosil yakıt kullanımı, endüstrileşme, şehirleşme, ormanların yok edilmesi, motorlu taşıtlar, yanlış arazi kullanımı gibi faaliyetler doğal kaynakların aşırı ve bilinçsiz tüketimini arttırmıştır. Bunun sonucunda iklim değişikliği, çölleşme, kuraklık, su, toprak ve hava kirliliği gibi pek çok çevre problemi ile karşı karşıya kalınmış, bu problemlerle insan ve diğer canlıların sağlığı ve doğal ekosistemlerin korunamaması gibi tehditler ortaya çıkmıştır (Barry ve Chorley, 2010; Kartal, 2018; Özdel ve Aykır, 2021).

İnsan nüfusu arttıkça doğal ortamlar üzerindeki etkisi de artmaktadır. Sanayi devrimiyle beraber atmosfere yayılmaya başlayan metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), diazotmonoksit (N₂O) gibi gazlar, sera gazı konsantrasyonunu artırmış, küresel ve yerel iklim sisteminde değişiklikler kaydedilmiştir (Türkeş, 2001). Bu değişikliklerle ortaya çıkan sorunlardan biri de canlıları ve ekosistemi tehdit eden hava kirliliği olmuştur (Özbey vd., 2017).

Hava kirliliği; havadaki yabancı maddelerin canlıların sağlığını ve yaşam koşullarını olumsuz etkileyecek veya maddi zararlar meydana getirecek şekilde, çeşitli nedenlerle normalin üzerinde miktar ve yoğunluğa ulaşmasıdır (Akyürek, vd., 2013; Özer, 2013). Bu kirlilik atmosferde meydana gelen doğal süreç ve döngüleri bozarken halk sağlığı üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır (Bayram, vd., 2006). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), yılda üç milyondan fazla kişinin ölüm nedenini hava kirliliğine bağlamaktadır (İskender, vd., 2016; Kırmacı, 2019). İnsan, açlığa 60 gün, susuzluğa ise 6 gün dayanabilir fakat havasızlığa 6 dakika bile dayanamaz (Kırımhan, 2006). Bu durum temiz havanın yaşamsal önemini ortaya koymaktadır (Uçar, 1996; Mills, vd., 2009; Kırmacı, 2019).

19. yüzyılın ortalarında İngiltere’de başlayıp, hızla dünyaya yayılan endüstrileşme hareketi, şehirleşmeyi arttırarak bazı çevresel sorunlara yol açmıştır. Tarla, otlak açmak ve sanayide odunun yakıt olarak kullanılmasıyla ormanlık alanlar hızla tüketilmiş, sonraki süreçte ise özellikle kalitesiz kömür kullanımının artmasına bağlı olarak hava kirliliği ortaya çıkmıştır (Yurdam, 2008). Kömürün 19. yüzyıl’da Avrupa’da fazla kullanılması ve kentleşmenin artması, hava kirliliğinin yoğun hissedilmesine neden olsa da, bu durumun bilimsel tartışmalara konu olması 1800’lü yılları bulmuştur (Duman, 2017). Sanayinin gelişmesiyle ortaya çıkan hava kirliliği,

başlangıçta Amerika ve Avrupa ülkelerinin bazı gelişmiş sanayi bölgelerini ilgilendiren yerel bir sorun olarak dikkati çekerken, zamanla artan nüfus ve çevre problemleri nedeniyle, dünyanın önemli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir (Keser, 2002; Kardeşoğlu, vd., 2011). Londra hava kirliliğinden etkilenen ilk kentlerden biridir. Bundan dolayı Londra, 13. yüzyılın sonlarına doğru bu konuda ilk yasal düzenlemenin yapıldığı kent olmuştur. İnsan ve canlı sağlığına olumsuz etkilerinin tespit edilmesiyle 1273 yılında kömür kullanımı Londra'da krallık tarafından yasaklanmıştır (Çakır Sümer, 2014).

Dünya genelinde hava kirliliği probleminin en büyük kaynağının antropojenik faaliyetler olduğu kabul edilmektedir (Şahin, 1989; Özşahin, vd., 2016). Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki pek çok kentte hızlı büyümeyle birlikte meydana gelen, hızlı nüfus artışı, endüstriyel faaliyetler, fosil yakıtların kullanımı, konutlarda ısınma amaçlı yakıt tüketimi ve motorlu taşıtlardaki artış hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır (Mangır, 2014). Nitekim Dünya Sağlık Örgütü; Atmosferde ki kirletici maddelerde 2030 yılına kadar beş katlık bir artış beklemektedir (WHO, 1992; Bayram, vd., 2006; İskender, vd., 2016).

Endüstri ve kentleşmenin günden güne arttığı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de hava kirliliği ciddi bir sorun haline gelmektedir (Demir, 2015). Türkiye'de hava kirliliğinin en önemli nedenleri 1950'li yıllarda başlayan sanayileşme eğilimleri ve hızlı kentleşmedir. Çünkü Türkiye'de kentleşme oranları ve sanayileşmenin arttığı dönemde hava kirliliğinde de ciddi artışların olduğu gözlenmiştir (Çakır Sümer, 2014). Türkiye'de sanayi kaynaklı hava kirliliği sorunları daha çok endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde kendini göstermektedir. Şehirleşmenin artmasıyla İstanbul, Ankara ve Erzurum da hava kirliliğinin ilk örnekleri görülmüştür (Kırımhan, 2006). Daha sonra bu illeri Kayseri, Malatya, Erzincan, Eskişehir ve Zonguldak gibi kentleri takip etmiş ve bu kentlerdeki hava kirliliği oranları insan ve diğer canlıların sağlığı ile ekosistemi tehdit eder seviyeye ulaşmıştır (Kırımhan, 2006; Çakır Sümer, 2014). Özellikle kış aylarında ısıtma sistemlerinde kullanılan odun, kömür, fuel-oil gibi yakıtlar hava kirliliğinin artmasına neden olmuştur. Türkiye'de doğal gaz kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte kış aylarında yaşanan bu kirlilik nispeten azalmıştır.

1955 yılından itibaren özellikle büyük şehirlerde hava kirliliğini azaltmak için yönetmeliklerde bir takım değişikliklere gidilmiştir. 1986 yılında ise 2872 sayılı Hava

Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği (HKKY) hazırlanmış (Başar vd., 2005) ve Sağlık Bakanlığı tarafından hava kirliliğinin zararlı etkilerini azaltmak veya önlemek için eylem planları hazırlanmıştır (Cavkaytar, vd., 2013; Özşahin, vd., 2016).

Hava kirliliği problemlerinin azaltılması ve hava kalitesinin yükseltilebilmesi için ilk olarak kirliliğe neden olan kaynakların tespiti, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir (Güngör, 2013; Çetintürk ve Gürtepe, 2014). Hava kalitesinin tespiti için tüm dünyada yaygın bir sınıflama sistemi olan Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) kullanılmaktadır. HKİ, ile havadaki kirleticilerin miktar ve yoğunluğuna göre hava kalitesi iyi, orta, kötü ve tehlikeli şeklinde derecelendirilmektedir (ÇSB, 2022).

Türkiye, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) Hava Kalitesi İndeksini; kendi sınır değerlerine ve ulusal mevzuata uyarlayarak Ulusal Hava Kalitesi İndeksini oluşturmuştur. Hava Kalitesi İndeksinde; hava kirliliğini ölçmek için kullanılan 5 temel kirletici (karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂), azot oksit (NO), ozon (O₃) ve partikül maddeler (PM)) üzerinden hava kalitesi değerlendirilmektedir (Robert ve Lambach, 2010).

Kayseri Şehri SO₂ ve PM₁₀ değerleri bakımından Türkiye'de 6. sırada yer almaktadır (Kara Rapor, 2021). Bunun nedeni geçmişte yakıt olarak tüketilen kalitesiz kömür ve fuel-oil'in yüksek miktarda kükürt içermesi nedeniyle SO₂ miktarlarında artıştır (Kartal, 1985). Ayrıca, sanayi, trafik ve durağan meteorolojik koşullar sebebiyle partikül madde (PM) konsantrasyonları da yüksek düzeydedir (Dadaşer Çelik ve Kırmacı, 2011).

Halk sağlığını korumak ve daha bilimsel hava kalitesi çalışmaları yapabilmek için, hava kirliliğinin insan sağlığıyla ilişkilendirilmesi önem taşımaktadır (Davalos, vd., 2017).

Bu çalışmanın amacı; Kayseri şehrinde hava kirliliği ve etkilerinin belirlenmesidir. Kirleticilerin, kirliliğinin coğrafi koşullarla ilişkisinin incelenmesi, yıl içinde hava kalitesindeki değişiminin izlenmesi, Kayseri şehrinde çevresel ve sosyo-ekonomik faktörlerin hava kirliliğine etkileri ve Kayseri şehrinde hava kirliliğinin dağılışını ortaya koymak amaçlanmıştır.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan, “Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Zamansal Değişimi ve Coğrafi Koşullarla İlişkisi” başlıklı bu çalışmada; Araştırma sahası Kayseri şehir merkeziyle, araştırmanın kapsamı ise hava kirliliği ve zamansal değişimi ile sınırlandırılmıştır. Araştırmanın amaçları aşağıdaki gibidir.

- Hava kirliliğinin coğrafi koşullarla ilişkisinin incelenmesi,
- Hava kalitesindeki yıllık değişiminin izlenmesi,
- 2005 yılında başlayan doğalgaz kullanımının bu değişime etkisi,
- Çevresel ve sosyo-ekonomik faaliyetlerin hava kirliliğine etkilerinin belirlenmesi,
- Kirliliğin şehir içindeki dağılımını ortaya koymak amaçlanmıştır.

Kirletici emisyonlar, uluslararası ve ulusal düzeyde düzenli olarak takip edilmesine rağmen, tüm dünyada ve ülkemizde özellikle büyük kentlerde halen kabul edilen sınır değerlerin üzerindedir. Bu durum genel olarak sanayi bölgelerinden, evlerde ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminden ve motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır. Ancak ülkemizde doğal gaza geçişle birlikte hava kirliliğinde gerileme kaydedilmesine rağmen, halen ciddi bir sorun olarak varlığını sürdürmektedir. İç Anadolu Bölgesinde yer alan ve en büyük yerleşmelerden biri olan Kayseri’de hava kirliliği problemi yaşayan kentlerimiz arasındadır. Özellikle son yıllarda göçle birlikte ortaya çıkan nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetler kirliliğin artmasına neden olmuş ve Kayseri şehri 2020 yılında en kirli istasyonlar arasında 6. sırada yerini almıştır (Kara Rapor, 2021). Literatür çalışmalarında Kayseri şehrinde hava kirliliğini konu edinen güncel bir çalışmanın olmaması, var olan çalışmaların farklı disiplinlerde yapılması ve coğrafi bir bakış açısıyla yapılmaması bu konunun ayrıntılı bir şekilde ele alınması gerektiğini düşündürmüştür. Bu çalışmada Kayseri şehrinde hava kirliliğinin güncel verilerle tespiti yapıp yıllar içindeki değişimin trendi ortaya konulmuştur. Ortaya çıkan sonucun coğrafi koşullarla ilişkisi incelenecektir. Bulguların hava kirliliği konusunda farkındalık oluşturacağı, literatüre ve yöreye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Araştırmanın Problemi

20 yüzyıl'da çevre problemleri dünyanın geleceğini tehdit eder durumuna gelmiştir. Bu sorunların ortaya çıkmasında ve doğal dengenin bozulmasında; nüfusun hızla artması, çarpık kentleşme, motorlu taşıtlardaki artış, sanayileşme, yanlış arazi kullanımı gibi beşeri faktörler etkili olmuştur (Garipağaoğlu, 2020). Gerekli özenin gösterilmemesi ve ekolojik dengenin korunamaması dünyayı birçok tehditle karşı karşıya getirmiştir. Söz konusu tehditlerden biri olan hava kirliliği pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir (Kırımhan, 2006; Garipağaoğlu, 2006; Dadaşer Çelik ve Kırmacı, 2011; Bağcı, 2013; Çakır Sümer, 2014; Özşahin, vd., 2016; Şahin, vd., 2016; Özbey, vd., 2017).

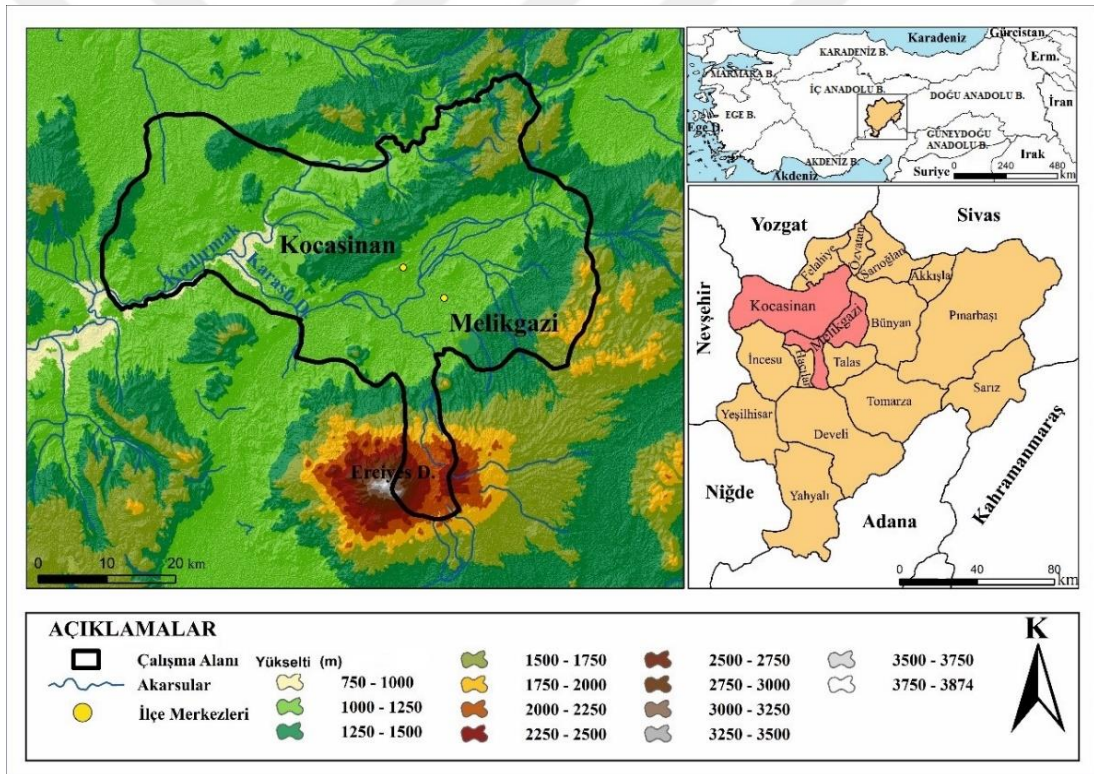
Türkiye'de hava kirliliğinin yoğun hissedildiği alanlardan biri olan Kayseri şehri, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. "Kayseri şehrinde atmosferi olumsuz etkileyecek boyutlarda hava kirliliği söz konusudur. Kirlilik şehirde zamansal ve mekânsal olarak değişiklik göstermektedir" cümlesi bu araştırmanın hipotezini oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında bu hipotezi doğrulamaya yönelik aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır;

Kayseri şehrinde;

- Hava kirliliği ne boyuttadır?
- Hava kirliliğinin kaynakları nelerdir?
- Hava kirliliğinin yıl içindeki değişimi nasıldır?
- Dağılışı gösteren meteoroloji istasyonlarının sıcaklık ve yağış; hava kalitesi istasyonlarının ise kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM₁₀) verilerinin 2008-2020 yılları içerisindeki aylık, yıllık ve ısınma sezonu zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir trend var mıdır? Varsa bu trendin yönü nedir?
- Şehirde hava kalitesi nerelerde daha yüksek, nerelerde daha düşüktür?
- Hava kirliliğinin coğrafi koşullarla ilişkisi var mıdır?

1.3. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları

Çalışma alanı olarak seçilen Kayseri şehri, merkez ilçe statüsündeki Kocasinan ve Melikgazi ilçelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu iki ilçenin çalışma sahası olarak belirlenmesinin temel nedeni; iki merkez ilçe olmaları ve düzenli veri sağlayan hava kalitesi istasyonlarının bu iki ilçe sınırları içerisinde kalmasıdır. Kocasinan ve Melikgazi ilçeleri 38°71' ve 38°72' kuzey enlemleriyle 35°47' ve 35°48' doğu boylamı arasında, İç Anadolu Bölgesinin, Orta Kızılırmak Bölümünde konumlanan Kayseri ili sınırlarında yer almaktadır. Şehir alanının yüzölçümü 1860 km²'dir. İki ilçe de 1988 tarihinde Kayseri'den ayrılarak ilçe statüsü kazanmıştır. Çalışma sahası 994.632 nüfusuyla Kayseri'nin en fazla nüfusuna sahip ilçelerinden oluşmaktadır (TÜİK, 2021).



Şekil 1.1. Araştırma sahasının yeri ve sınırları

1.4. Literatür Özeti

Dünya’da ve Türkiye’de hava kirliliği önemli bir çevre sorunu olarak kabul edilmektedir. Hava kirliliği, hava kalitesi, kirlетici kaynakları, hava kirliliğın etkileri gibi konularda başta Coğrafya, Çevre Mühendisliği, Tıp gibi bilim dalları olmak üzere pek çok disiplinden bilim insanları araştırmalar yapmaktadır. Çalışmanın bu

bölümünde araştırma sahası ve araştırma konusuyla ilgili daha önceden yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Tez çalışması boyunca devam eden literatür araştırmaları kapsamında araştırma sahasıyla ilgili ulaşılan çalışmalardan bazıları şöyledir;

Dadaşer Çelik ve Kırmacı (2011), “Kayseri İli Kent Merkezinde Kükürtdioksit ve Partiküler Madde Değerlerindeki Değişimlerin İncelenmesi: 1990-2007” başlıklı makalelerinde 1990-2007 yılları arasında Kayseri il merkezindeki SO₂ ve PM değerleri değişimlerini incelemişler ve istatistiksel parametrelerle değerlendirmişlerdir.

Bahadır (2011), “Türkiye’de İklim Değişikliğinin İklim Bölgelerine Yansımada Kuzey-Güney Yönlü Sıcaklık ve Yağış Değişim Öngörülleri” adlı makalesinde Türkiye’nin üç ana iklim tipini kapsayacak şekilde kuzey-güney yönlü bir hat boyunca 6 istasyon (Samsun, Amasya, Sivas, Yozgat, Kayseri ve Adana) seçmiş ve bu istasyonlara ait sıcaklık ve yağış verilerindeki trend eğilim analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında tahminleri ortaya koymak için ARIMA (Box-Jenkins) tekniğini kullanmıştır. Çalışma kapsamında Karadeniz iklim bölgesinde kısmi sıcaklık artışı görülürken, Karasal ve Akdeniz iklim bölgelerinde aşırı sıcaklık artışı tespit etmiştir. Yağışta ise Karadeniz iklim bölgesinde artış, Karasal ve Akdeniz iklim bölgelerinde azalma tespit edilmiş ve bu değerler iklim bölgelerine göre öngörülen sıcaklık ve yağış değerleriyle örtüşmekte ve özellikle Akdeniz kıyılarımız ve Kayseri’nin de içinde bulunduğu iç bölgelerde kuraklığın giderek artacağı sonucuna ulaşmıştır.

Karabaş (2012), “Kayseri İli Baz Alınarak Enerji, Gürültü ve Hava Kirliliği Haritalarının CBS Yardımıyla Oluşturulması ve Analizi” başlıklı yüksek lisans çalışmasında Kayseri şehrinde hava kirliliği, gürültü ve doğalgaz enerji haritaları üretilip yorumlanarak Kayseri’deki durumu ortaya koymayı ve çözüm önerileri sunmayı amaçlamıştır. Sonuç olarak Kayseri şehrinde şehirleşme ve nüfusun yoğun olduğu kesimlerde gürültü fazla ve doğalgaz enerji değerleri yüksek çıkarken, hava kirliliği miktarlarında geçmişe göre düşüş tespit edilmiştir.

Apaydın (2014), “Kayseri İli için Alansal Kaynaklı Emisyon Envanteri” başlıklı yüksek lisans tezinde Kayseri ili için Ekim 2011-Eylül 2012 dönemine ait alansal kaynaklı hava kirliliği emisyonlarının hesaplanmasını, envanterlenmesini ve hava kalitesine etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda kükürtdioksit

(SO₂), partikül madde (PM), azot oksit (NO_x) ve karbonmonoksit (CO) gibi kirleticilerin emisyonlarını belirlemiştir.

Kartal (2018), “Ulusalda Yerele Türkiye’de İklim Değişikliği Politikaları ve Uygulamaları: Kayseri Örneği” adlı yüksek lisans tezinde Kayseri şehrinde yerel yönetimlerin iklim değişikliği politikası alanında gerçekleştirdiği çalışmaları incelenmiştir. Çalışmanın verilerini anket kullanarak elde etmiş ve bu verileri SPSS 24.0 kullanarak analiz etmiştir. Araştırma sonucunda Kayseri’nin göç alan bir yerleşim yeri olması ve gün geçtikçe artan nüfusla birlikte endüstrileşme ve trafik gibi nedenlerle hava kirliliği sorununun yaşandığı bir şehir haline geldiği ortaya konulmuştur. Alan araştırması çerçevesinde iklim değişikliği ile mücadele konusunda en çok çalışma yapan belediyenin Kayseri Büyükşehir Belediyesi olduğu tespit edilmiş, ilçe belediyeleri arasında ise iklim değişikliği problemine yönelik en çok faaliyet yürüten belediyelerin sırasıyla Melikgazi ve Kocasinan Belediyeleri olduğu tespit edilmiştir.

Arslan (2019), “Kapadokya Bölgesi’nin Yaz Ayları Buharlaştırma Verileri İçin Trend Analizi” başlıklı makalesinde Kapadokya Bölgesi’nin yaz ayları buharlaştırma verileri için trend analizi gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Çalışma için Kapadokya Bölgesi’ndeki 5 farklı ilin meteoroloji istasyonlarının aylık toplam buharlaştırma değerlerini kullanmış, yöntem olarak ise Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testi uygulamıştır. Niğde, Kayseri ve Kırşehir meteoroloji istasyonları için %99 güven aralığında anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir.

Araştırma konusuyla ilgili literatürde yer alan başlıca çalışmalar şöyledir;

Garipağaoğlu (2003), “Türkiye’de Hava Kirliliğinin Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı” başlıklı çalışmasında Türkiye’de hava kirliliğinin halen devam ettiğini ve buna da konutlarda kullanılan ısıtma, sanayi faaliyetleri ve motorlu taşıtların neden olduğunu belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında 1990-2000 yılları arasındaki kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) verileri kullanılmıştır. Türkiye şehirlerinin ve buna bağlı olarak coğrafi bölgelerin birbirinden farklı beşeri ve doğal faktörlerin etkisinde kaldığı için hava kalitesi açısından da farklı özellikler gösterdiğini, SO₂ ve PM verilerini esas alarak ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda hava kirliliği açısından en yoğun bölge olan Marmara Bölgesini İç Anadolu ve

Karadeniz takip etmektedir. Hava kirliliğinin en düşük olduğu bölge ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi olarak tespit edilmiştir.

Garipağaoğlu (2008), “Türkiye Şehirlerinin Hava Kalitesinin Zamanla Değişimine Bağlı Bir Sınıflandırma” başlıklı çalışmasında 1990-2008 yılları arasında kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) miktarları esas alınarak Türkiye şehirlerini değerlendirmiştir. Kükürtdioksit ve partikül madde konsantrasyonları özellikle yanma döneminde (ekim, kasım, aralık, ocak, şubat ve mart arası) yükseldiği için sıcak dönemdeki değerler bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışma sonucunda Türkiye şehirlerinin hava kalitesinde 1995 yılından itibaren ciddi bir düzelmeye ulaşıldığını ve bu düzelmeye nedenini ise doğalgaz kullanımının artışı ile ilgili olduğunu vurgulamıştır.

Kopar ve Zengin (2009), “Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekânsal Değişiminin Belirlenmesi” adlı çalışmasında Erzurum kentinin 1990-2008 yılları arasındaki kükürtdioksit ve partikül madde miktarının analizini yapmış ve değerlendirmiştir. Ayrıca SO₂ ve PM ölçüm değerlerine ait mekânsal analiz haritaları oluşturulmuştur. Sonuç olarak belirlenen tarih aralığında kükürtdioksit ve partikül madde miktarında doğalgaz kullanımının artışı ve yasal tedbirlere bağlı olarak belli oranlarda azalış tespit etmiştir.

Miller vd., (2010), Windsor, Ontario'da (Kanada) 2008 ve 2009 yıllarında sınırı aşan hava kirliliğini modelleyerek mevsimsel ve yıllar arası değişimleri incelemiştir. Bunun için ince partikül madde (PM_{2.5}) ve azot dioksit (NO₂) verilerini kullanmıştır.

Patel, vd. (2011), New York City’de doğumdan itibaren 5 yaş arasındaki çocuklarla yapılan deneylerde, yerleşim yeri yakınlığı, trafik yoğunluğu ve sabit hava kirliliği kaynakları ile hırıltı, astım ve immünoglobulin (Ig) E arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Genelleştirilmiş tahmin denklemleri ve lojistik regresyon kullanılarak analiz etmişler ve çalışma sonucunda belirtilen hastalıklar ile sabit hava kirliliği kaynaklarına yakınlık arasında pozitif ilişkiler gözlemlemişlerdir.

Bağcı (2013), “Çöl Tozlarının Elazığ, Diyarbakır, Adıyaman ve Şanlıurfa İllerinde İnsan ve Bitki Üzerindeki Etkileri” başlıklı yüksek lisans çalışmasında Elazığ, Diyarbakır, Adıyaman ve Şanlıurfa illerinde etkili olan çöl tozlarının insan sağlığı üzerindeki etkileri, hangi hastalıkları tetiklediği, bitkilerin yetiştirme sürecindeki

olumlu veya olumsuz etkileri gözlem ve deneylerle belirlemiş, neden - sonuç ilişkisiyle değerlendirmiştir.

Mangır (2014), “İstanbul'da 2010 Yılına Ait Hava Kirliliği Envanterinin Halk Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezinde 2010 yılı için İstanbul'da hava kirliliğinin azaltılması için bir emisyon envanterinin hazırlanmasını amaçlamıştır. Bu amaçla trafik, endüstri ve evsel ısınma kaynaklı kirletici miktarı belirlenmiş ve halk sağlığı açısından değerlendirilmiştir.

Walton vd. (2015), Londra'da 2010 yılında ince partikül madde (PM_{2.5}) ve azot dioksit (NO₂) konsantrasyonlarının neden olduğu ölüm oranını incelemişlerdir. Yöntem olarak Londra Atmosferik Emisyon Envanterine (LAEI) dayalı Londra Hava Kalitesi Modelleme araç setini kullanarak modelleme yapmışlardır. Sonuç olarak uzun süreli maruz kalma durumunda PM_{2.5} miktarının NO₂'ye oranla daha fazla ölüme neden olduğu ve bu kirleticilerin büyük oranda motorlu taşıtlardan kaynaklandığını ortaya koymuşlardır.

Özşahin, vd. (2016), “Keşan'da (Edirne) Hava Kirliliği” başlıklı çalışmalarında 2013-2015 yılları arasında yapılan ölçümlerde kükürtdioksit (SO₂), partikül madde (PM₁₀), azot oksit (NO_x), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), ozon (O₃) verilerinden faydalanmışlardır. Sonuç olarak Keşan'da hava kirliliğine neden olan kirletici yoğunluğunun özellikle yanma döneminde artış gösterdiğini; özellikle kalitesiz ve fosil yakıt kullanılan ısıtma sistemlerinden kaynaklanan kükürtdioksit (SO₂) oranının sınır değerlerin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer kirletici gazlar sınır değerlerin altında kalsa da yine de kirlenmenin şiddetini ve süresini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Şahin, vd. (2016), “Havza'da (Samsun) Hava Kirliliği Algısı” başlıklı çalışmada Havza ilçe merkezinde halkın hava kirliliği algısını ortaya koymayı amaçlamışlardır. Bu amaçla ilk olarak ilçe merkezinin topografik ve meteorolojik özelliklerini ortaya koymuş, 2014 yılında ilçe merkezinde yaşayan halkın kirlilik algısını belirlemek için anket uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan uygulama sonucunda Havza ilçe merkezinde yaşanan hava kirliliğinin özellikle kış aylarında yaşanmasının sebebinin ısınma nedeniyle kullanılan kömür olduğunu ve aynı zamanda ilçenin içinden geçen Samsun – Ankara karayolunun da kirliliğe etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Duman (2017), “Bursa Kenti’nin Hava Kalitesini Etkileyen Coğrafi Faktörler ve Kirleticilerin Zaman İçerisindeki Değişimi” başlıklı yüksek lisans tezinde Bursa Kenti için hava kirliliğine neden olan fiziki ve beşeri faktörleri incelemiş ve bunların zaman içindeki değişimini ortaya koymuştur. 1960-2016 yılları arasında kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) konsantrasyonları esas alınarak Bursa Kentinin hava kalitesi incelemiştir. Çalışma sonucunda Bursa kentinin konumunun ve artan konut ve motorlu taşıt sayısının hava kalitesini olumsuz etkilediğini tespit edilmiştir.

Anenberg, vd. (2019), “2010 ve 2015 Yıllarında Ulaştırma Sektörü Emisyonlarının Hava Kirliliğine İlişkili Sağlık Etkilerinin Küresel Bir Anlık Görüntüsü” başlıklı çalışmalarında 2010 ve 2015 yıllarında ulaşım sektörü emisyonlarından kaynaklanan PM_{2.5} ve ozon kirleticilerinin neden olduğu sağlık etkilerinin küresel boyutunu incelemiş ve tahminde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda 2015 yılında ulaşım kaynaklı hava kirliliği ölümlerinin en yüksek olduğu kentsel alanların Avrupa’da olduğu tespit edilmiştir.

Kırmacı (2019), “Kahramanmaraş İli İçin Hava Kalitesinin Analizi ve Modellenmesi” başlıklı yüksek lisans tezinde Kahramanmaraş ilinin 1990-2015 yıllarına ait hava kalitesindeki değişimi kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) verilerini kullanarak istatistiksel analizlerle belirlemiş, ısınma, endüstri ve trafik kaynaklı emisyon envanteri ile kirletici kaynakları incelemiştir. Aynı zamanda hava kirliliği miktarı ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler yapay sinir ağlarıyla modellenmiştir. Çalışma sonucunda ilk aşamada incelenen SO₂ ve PM verileri sonucunda özellikle yanma döneminde (ekim - mart) hava kirliliğinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Kirleticilerin meteorolojik parametrelerle ilişkisine bakıldığında, kirletici parametreler ile aylık ortalama sıcaklık arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir; Yapılan emisyon envanterlemesi sonucunda ise Partikül maddenin (PM) büyük oranda ısınma, kükürtdioksitin (SO₂) ise sanayi kaynaklı olduğu ortaya konulmuştur.

Çevik (2019), “Çorum Organize Sanayi Bölgesinin Doğal Çevreye ve İnsana Etkisi” başlıklı yüksek lisans çalışmasında Çorum’da organize sanayi bölgesinin neden olduğu problemler ve çevreye etkilerini incelemiştir. Bulgularda Çorum Organize Sanayi Bölgesinin kurulduğu alan ve yakın çevresinde hava, toprak ve su kirliliği gibi çevre sorunlarının olduğu tespit edilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Atmosfer ve Hava Kirliliği

Dünyanın etrafını çepeçevre saran gaz kütesine atmosfer denir. Atmosferi oluşturan gazlar (azot, oksijen, argon, karbondioksit vd. gazlar) normal şartlarda canlı, cansız varlıklara ve ekosisteme zarar vermez. Bu gazların normal koşullarda bileşimi % 78 azot (N), % 21 oksijen (O), % 1'de diğer gazlar şeklindedir ve doğal bir kaynak olan havayı oluşturur (Duman, 2017). Atmosferde ki hava dinamik bir yapıdadır. İçerisinde barındırdığı katı, sıvı ve gaz maddeler sürekli değişim ve hareket halindedir. Temiz ve kuru hava bileşimlerinin büyük bir kısmı atmosferin en alt katmanı olan troposfer içerisinde bulunmaktadır (Muslu, 2000; Duman, 2017). Atmosfer içinde %21 oranında bulunan oksijen (O) hayatın gelişimini ve sürekliliğini sağlar. Canlıların yaşam sürecindeki en önemli faktörlerden biridir. Bir insan gün içinde yaklaşık 2,5 litre su, 1.5 kilogram besin ve 10-20 m³ havaya gereksinim duyar (Özer, 2013). Türkeş, 2001'de havayı, “yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir anda yaşanan atmosferik olaylar ve atmosferdeki değişebilen süreçler,” şeklinde tanımlamıştır.

Hava Kirliliği; atmosferde çeşitli şekillerde bulunan kirleticilerin; halk sağlığına, canlı hayatına ve doğal çevreye zarar verecek, yaşam kalitesini olumsuz etkileyecek miktara ve yoğunluğa erişmesi olarak tanımlanabilir (EMEP/EEA, 2009). Bayram vd. (2006), ise hava kirliliğini; soluduğumuz havada bulunan kirleticilerin (kükürtdioksit (SO₂), partikül madde (PM), nitrojen oksit (NO_x), ozon (O₃) ekosistem ve canlı sağlığı üzerinde, çevre ve canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olacak düzeylere ulaşmasıdır, şeklinde tanımlamıştır.

2.2. Kirletici Maddeler

Kirletici maddeler, atmosferin doğal bileşiminde olmayan ya da atmosferin doğal bileşiminde olup da normalin üzerinde düzeylere çıkan maddelerdir. Kirleticiler çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilir. İlk olarak kirleticiler, sabit bir çıkış noktasından atmosfere doğrudan bırakılan birinci derece (primer) kirleticiler ile atmosferdeki kimyasal tepkimeler sonucunda ortaya çıkan ikinci derece (sekonder) kirleticiler olarak ikiye ayrılır (İlkılıç ve Behçet, 2006; Coşkun, 2011; Duman, 2017).

Birincil kirleticiler (primer); atmosfere doğrudan bırakılan kirleticilerdir. Canlılara ve çevreye zarar verecek düzeye ulaşmışlardır, doğrudan kirliliğe neden

olurlar (Garipağaoğlu, 2015; Duman, 2017). Bu tür kirleticilere; kükürtdioksit (SO_2), hidrojen sülfür (H_2S), azotoksit (NO), azotdioksit (NO_2), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2) ve partikül maddeler (PM) örnek verilebilir (Bayat, 2011; Güngör, 2013).

İkincil kirleticiler (sekonder) ise; yayılımı doğrudan gerçekleşmez. Fakat doğrudan yayılan kirleticilerin atmosferde çeşitli reaksiyonlara uğrayarak ortaya çıkmasıyla oluşurlar. Doğrudan yayılan kirleticiler atmosferde bulunan su buharı sayesinde tepkimeye ve etkileşime girerler (Duman, 2017). Ozon, PAN, aldehitler bu kirletici sınıfına dâhildir (Güngör, 2013).

Bir diğer sınıflandırmada ise kirleticiler; gaz (kükürtdioksit (SO_2), azot oksit (NO_x), hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2)) ve parçacık halindeki (partikül madde) kirleticiler olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.2.1. Gaz Kirleticiler

2.2.1.1. Karbonmonoksit (CO)

Birincil hava kirleticilerden olan karbonmonoksit, renksiz, tatsız, kokusuz olması nedeniyle ortamda varlığı fark edilmeyen yanıcı ve zehirli bir gazdır. Karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucunda ortaya çıkar. Fosil yakıtların kullanılması, motorlu taşıtlar, ısıtma sistemleri, orman yangınları gibi nedenlerden dolayı atmosfere büyük oranda karbonmonoksit gazı yayılır (Aydınlar vd., 2009).

2.2.1.2. Karbondioksit (CO_2)

Karbondioksit gazı havada az miktarda (%0–0.03) bulunur. Buna rağmen miktarı ve değişkenliği nedeniyle yaşamsal öneme sahiptir. Havadaki karbondioksitin, karalar üzerindeki miktarı denizlerdeki miktarından fazladır. Karalarda ise şehirlerin yoğunluk gösterdiği alanlarda bu oran daha da artar. Bunun nedeni şehirlerde yaşayan insan sayısının fazla olması ve fabrika, motorlu taşıt ve ev bacalarından çıkan karbondioksit oranının yüksek olmasıdır (İlkılıç ve Behçet, 2006).

2.2.1.3. Kükürtdioksit (SO_2)

Hava kirletici emisyonlarından en yaygın olanı kükürtdioksittir. Yanıcı olmayan renksiz, kokulu ve boğucu bir gazdır. Yapay kaynaklardan çıkan kükürtdioksitlerin, %80'ninden fazlasının endüstriyel faaliyetler sonucu meydana geldiği düşünülmektedir, atmosferde kalıcılığının yaklaşık 40 gün olduğu düşünülmektedir

(Kırmacı, 2019). Kükürtoksitlerin su ile birleşerek sülfürik asit (H_2SO_4) şeklinde yağmur suyuna karışması asit yağmuruna neden olur (Güngör, 2013). Bu yağmurlar, açık yapı ve eserlerde kimyasal aşınmaya neden olarak ülke ekonomisine zarar verir ve sera etkisiyle sıcaklığın artmasına neden olur.

2.2.1.4. Metan (CH_4)

Metan gazı, organik atıkların ayrışmasıyla meydana gelmektedir. Metan genellikle beşeri faaliyetlerden kaynaklanır. Atmosfere yayılan hidrokarbon kirliliğinin çoğunu metan gazı oluşturmaktadır. Metan gazı doğal olarak ise, biyolojik faaliyetlerle atmosfere yayılmaktadır (RSHM, 2010; Kırmacı, 2019).

2.2.1.5. Azot Oksitler (NO_x)

Atmosferin %78'ini azot (N_2) oluşturur. Azot renksiz, kokusuz ve zehirsiz bir gazdır. Enerji santrallerinden ve motorlu taşıtların egzoz borularından yüksek sıcaklık ve basınç altında çıkan azot, oksijen ile tepkimeye girerek azot oksit (NO_x), azot monoksit (NO) ve azot dioksitin (NO_2) oluşmasına neden olur. Azot oksitler havada bulunan önemli kirleticilerden biridir. Asit yağmurlarına neden olur ve insan sağlığına zararlıdır. Solunması durumunda kalp, akciğer rahatsızlıklarına ve solunum yolu hastalıklarına yol açar (Aydınlar, vd., 2009).

2.2.1.6. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar; kömür, petrol, doğal gaz, benzin gibi fosil yakıtların yanması ve endüstriyel faaliyetler sonucunda meydana gelmektedir. Motorlu araçlarda kullanılan petrolün, tam olarak yanmaması sonucunda hidrokarbonlar atmosfere salınır. Hidrokarbonlar tek başına zehirli değildir. Ancak başka kimyasal maddelerle reaksiyona girdiğinde, insan vücuduna zararlı etkileri olabilir (İncecik, 1994).

2.2.2. Partikül Kirleticiler

2.2.2.1. Toz Emisyonlar (PM)

Hava kirliliğinde etkin rol oynayan bir diğer kirleticisi partikül maddelerdir. Partikül maddeler salınımının olduğu ortamda yahut taşındığı yerde, normal şartlarda sıvı veya katı taneciklerin atmosferde asılı durmasıyla oluşan ve büyüklüklerine göre çökelebilen parçacıklardır. Bu parçacıklar doğal veya yapay kaynaklı olabilir (Duman, 2017). Bunlar 0,1 ile $100 \mu g/m^3$ arasında değişen boyutlarda ve atmosferde asılı halde bulunurlar. Çok ince yapıda olan bu maddelerin havada süspansiyon oluşturmalarına

aerosol denmektedir. Doğal ve kirlenmeye bağlı yapay sis oluşumlarına neden olan temel etken aerosollerdir.

Partikül maddeler havada çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Toz ve polen gibi 10 mikron ve daha küçük parçacıklar PM₁₀ olarak ifade edilirken, 2,5 mikron ve daha küçük parçacıklar PM_{2,5} olarak ifade edilmektedir.

2.3. Hava Kirliliğinin Etkileri

Hava kirliliğinin kısa ve uzun vadede etkileri olduğu görülür. Kısa vadeli etkilerini insanlar, diğer canlılar, yapılar ve eşyalar üzerinde gösterirken, uzun vadeli etkisini iklim değişikliği üzerinde görürüz (Uçar, 1996; Kırmacı, 2019). Bu etkiler, kirlletici maddelerin cins ve miktarına, kirlletici kaynakları ile ortam özelliklerine ve taşıyıcı faktörlere bağlı olarak değişir. Havaya karışan kirlleticiler canlılar tarafından doğrudan solunum yoluyla veya toprak, su ve bitki gibi çevresel ortamları geçip besin zincirine karışır ve dolaylı yoldan olumsuz etkilerini gösterir (Kırmacı, 2019). Kirlilik, kaynak ve alıcı ortama göre değerlendirildiğinde; kaynak noktasından alıcı ortama gidene kadar canlı ve cansız varlıklar üzerinde etkisini göstermektedir. Bu etki kaynak noktası ve çevresinden uzaklaştıkça azalmaktadır. Fakat meteorolojik koşullara bağlı olarak kaynak noktasından çok uzaklarda da zararlı etkilerini göstermektedir. Bundan dolayı hava kirliliği sadece yerel boyutta değil, küresel boyutta bir çevresel etkiye sahiptir (Kırımhan, 2006). Hava kirliliğinin etkileri şu alt başlıklarla incelenebilir.

- Halk sağlığına etkisi
- Bitkiler ve hayvanlar üzerindeki etkisi
- Eşyalar üzerinde etkisi

2.3.1. Halk Sağlığına Etkileri

İnsanlar hayatlarını devam ettirebilmek için havaya, suya ve besine ihtiyaç duyar. Bu temel yaşam unsurlarının zarar görmesi insan sağlığı için ciddi problem oluşturmuştur. Günlük ve saatlik olarak değişebilen hava şartları ve içerisinde barındırdığı kirlleticiler, soluduğumuz havanın kalitesini etkilemektedir (Bağcı, 2013).

Geçmişten günümüze hava kirliliği insanlarda başta solunum yolu rahatsızlıkları olmak üzere çeşitli sağlık problemlerine yol açmıştır. WHO'ya göre çevresel sağlık sorunlarından en büyüğünü oluşturmaktadır. Son yıllarda başta solunum yolu hastalıkları olmak üzere birçok hastalık doğrudan veya dolaylı olarak hava kalitesinin

düşüklüğüne bağlanmaktadır (Bağcı, 2013). Ağız ve burun yoluyla vücuda alınan kirletici maddeler, solunum yolları ve diğer organlar üzerinde hastalığa neden olan etkiler bırakmaktadır (Kırımhan, 2006). Özellikle hava kirliliğinin yüksek olduğu dönemlerde solunum yolu hastalıklarına bağlı olarak hastaneye başvurularda artış tespit edilmiştir (RSHM, 2010). Kirletici maddelerin insan sağlığı ve solunum yolları üzerindeki etkilerini tespit edebilmek ve daha iyi anlayabilmek için solunum sisteminin incelenmesi gerekmektedir.

Kirlilik ilk olarak vücudun hava ile temas eden kısımlarında başlamakta, solunum yolu başta olmak üzere tüm organları ve mental sağlığını etkilemektedir (Kırımhan, 2006). Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri ve neden olduğu hastalıklar akciğer kanseri, kalp hastalıkları, bronşit, nefes darlığı, gözlerde yanma, kaşıntı ve sulanma, romatizma, özellikle hamile kadınlarda daha fazla görülen kan zehirlenmesi, tozların vücutta birikiminden kaynaklı vücut direncinin zayıflaması, iştahsızlık, öfke, ruhsal bozukluklar olarak sıralanabilir (Kırımhan, 2006; RSHM, 2010; Kırmacı, 2019).

Bugüne kadar yapılan birçok bilimsel çalışmada kalp ve solunum yolu rahatsızlıkları nedeniyle hastanelere başvuru ile partikül maddeden kaynaklanan hava kirliliği seviyesi arasında bağlantılar olduğu tespit edilmiştir (Pope vd., 2002; WHO, 2011; Mangır, 2014).

2.3.2. Bitki ve Hayvanlar Üzerindeki Etkisi

Hava kirliliğinin bitki ve hayvanlar üzerinde olumsuz ekonomik ve ekolojik etkileri vardır. Hem tarımsal faaliyetler hem de yaban hayatında küresel boyutta biyolojik çeşitliliğin azalmasında üzerinde hava kirliliğinin etkisi vardır. Hava kirliliğinin yanı sıra; sera gazlarına bağlı olarak meydana gelen iklim değişikliği, ozon tabakasının incilmesi ile yeryüzüne gelen zararlı ışınların artması, kirletici gazların ve parçacıkların doğrudan etkileri ve asit yağmurları, yaban hayatı ve beşeri olarak gerçekleşen bitkisel ve hayvansal üretimi olumsuz anlamda etkilemektedir (Kırımhan, 2006). Hava kirliliğine bağlı bitkilerin yaprak dokuları zarar görür, yaprakların rengi değişerek yeşilliği kaybolur. Bitki büyümesi yavaşlar (Karpuzcu, 2007; Kırmacı, 2019; Şengün ve Kıranşan, 2012). Doğrudan yüksek hava kirliliğine maruz kalmış hayvanlarda ölümlere neden olurken, özellikle yem bitkilerinin bünyesine yerleşen

ağır metaller (arsenik, kurşun, metal) hayvanlarda kronik zehirlenmelere neden olmaktadır.

2.3.3. Cansız Varlıklar Üzerindeki Etkisi

Hava kirliliğinin yoğun olarak yaşandığı alanlarda havada bulunan kirleticiler beşeri yapı ve unsurlara zarar vererek estetik yapıyı bozar ve ekonomik kayıplara sebep olur. Özellikle havadaki nem miktarının artması ile kükürt veya azotoksitlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan asit yağışlarının etkisiyle birçok sanat eseri, tarihi ve kültürel yapılar kirlenmekte, üzerinde lekeler meydana gelmekte ve görsel açıdan zarar görmektedir. Kükürtdioksitin eşyalar üzerinde çürümeye neden olduğu bilinmektedir. Metal yapılarda ise paslanma olmaktadır. Kirletici gaz ve parçacıklara bağlı olarak yerleşmelerdeki binalar kirlenmekte, otomobil boya ları yıpranmakta, yapı malzemeleri dayanıklılıklarını kaybetmektedir (Kırımhan, vd., 1985; Kırımhan, 2006; Kırmacı, 2019).

2.4. Hava Kirliliği ile Mücadele

Çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, ilk olarak yerel ölçekte fark edilmiş, zamanla bölgesel ve küresel boyutlara ulaşarak dünya gündeminde yerini almış, yerel, ulusal ve uluslararası ölçekte düzenlemelerle zararlı etkileri önlenmeye çalışılmıştır. Bu önlemler ilk aşamada hava kirliliğinin tehlikeli düzeylere ulaştığı gelişmiş ülkelerde alınmaya başlanmış, temiz bir hava için yasalar çıkarılmış, örgütler kurulmuş ve eğitimler verilerek bilinçlendirme faaliyetleri yapılmıştır.

Türkiye’de ise hava kirliliği sanayi ve şehirleşmenin yoğunlaştığı dönemde yani 20. yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkmış, özellikle ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımının arttığı kış mevsiminde ciddi problemlere neden olmuştur. Yaşanan bu problemler hava kirliliğini önlemeye yönelik yeni yasal düzenlemelerin yapılmasını gerekli kılmıştır.

Dünya da ve Türkiye’de kullanılan, ülkelerin kendi politikalarına göre kirlilik standartlarını belirleyen sınır değerler vardır. Havadaki kirletici maddeler bu sınır değerlerini aştığı takdirde canlı ve cansız varlıklar için tehlike oluşturmaktadır.

Sanayinin gelişmesiyle beraber Batı Avrupa’da çevresel problemler kendini göstermeye başlamış, özellikle sanayide yakıt olarak kullanılan odunun yerini kömürün almasıyla hava kirliliği problemi ortaya çıkmıştır. Londra 13. yüzyılın sonuna doğru hava kirliliğinden etkilenen ve bu konuda yasal düzenleme ve

uygulamaların yapıldığı ilk kent olmuştur. Bu konuda yapılan ilk düzenleme ise sağlık üzerine zararlı etkilerinden dolayı kömür kullanımının 1273 tarihinde krallık tarafından yasaklanmasıdır.

Hava kirliliği, sanayileşmeyle birlikte 19. yüzyılda etkisini daha fazla göstermiştir. Hava kirliliğini kontrol etmek amacıyla İngiltere’de 1936 yılında Kamu Sağlığı Yasası çıkarılmıştır. Nitekim 1952 yılında Londra şehrinde fosil yakıt kullanımının artması ve şehirde yüksek basınç alanının oluşması, kirli havanın dağılmasını engelleyip şehir üzerinde çökerek “Öldüren Sis” olayının yaşanmasına sebep olmuştur. Beş yıl boyunca etkisini gösteren kirlilik yaklaşık 4.000 bin kişinin ölümüyle sonuçlanmıştır. Bu duruma çözüm getirmek amacıyla İngiltere’de 1956 yılında temelleri Kamu Sağlığı Yasasında atılan “Temiz Hava Yasası” kabul edilerek 1993 yılına kadar yürürlükte kalmıştır (Parker, 1961; Çakır Sümer, 2014; Hava Kirliliği Raporu, 2017).

Hava kirliliğini kontrol etmeye yönelik bir diğer yasal düzenleme ise Amerika’da yapılmıştır. Los Angeles ve California eyaletlerinde görülen hava kirliliği ABD’nin dikkatini çekmiş ve 1949 yılında ilk defa “Ulusal Hava Kirliliği Sempozyumu” gerçekleştirilmiştir. 1955 yılına gelindiğinde ise Hava Kirliliği Kontrol Yasası, 1963’te Temiz Hava Yasası kabul edilmiştir.

Bu gelişmeyle beraber Avrupa ülkeleri başta olmak üzere birçok ülkede hava kirliliğini önlemeye yönelik yasalar çıkarılmıştır bunlardan bazıları şu şekildedir:

- 1963 yılında Bulgaristan’da “Hava Su ve Toprağın Kirlenmesini Önleme Yasası”,
- 1964 yılında Belçika’da “Temiz Hava Yasası”,
- 1968 yılında Japonya’da “Hava Kirliliği Kontrol Yasası”,
- 1981 yılında Hindistan’da “Hava Kirliliğini Önleme ve Kontrol Yasası”,
- 1990 yılında İrlanda’nın Dublin kentinde kömür yakılmasının yasaklanması (HEAL, 2015),
- 1996 yılında Avrupa Birliği’nde ilk “Hava Kalitesi Belirlemesi ve Yönetimi” Direktifinin kabul edilmesi.

2.4.1. Ulusal Mücadele

Hava kirliliği problemi daha çok sanayisi gelişmiş ülkelerde ve sanayi şehirlerinde görülmektedir. Türkiye için, durum farklı olmamakla birlikte hava kirliliği sorunu ilk olarak sanayi ve ticaret alanında gelişmiş olan İstanbul'da görülmeye başlanmıştır. II. Mehmet döneminde Haliç'e kurulan tersaneyle birlikte İstanbul bir ticaret kenti olarak gelişmeye başlamıştır. 19. yüzyıla gelindiğinde ise kurulan fabrikaların sayısı giderek artmış, o dönemde hava kirliliği henüz bir sorun olarak görülmediğinden fabrikalar yerleşim yerlerinin yakınına kurulmuştur. Hem deniz ulaşımına bağlı olarak gemilerin ürettiği duman, hem de fabrika bacalarından çevreye yayılan kirlilik zamanla hava kirliliği problemini ortaya çıkarmıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra İstanbul'un havasının hissedilir derecede değişmesi, şikâyetlerin artmasına ve sorunu çözmeye yönelik yasal ve sosyal anlamda çalışmaların başlatılmasını gerekli kılmıştır (Dıġıroġlu, 2008; Çakır Sümer, 2014). Bu sorunu çözmek amacıyla ülkemizde çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır.

İlk olarak “bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamak” amacıyla 11.08.1983 tarihli ve 18132 sayılı Resmi Gazete 'de Çevre Kanunu yayınlanmıştır.

1986 yılında ise;

Her türlü faaliyet sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamak

amacını taşıyan “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir.

Hava kalitesini korumaya dair çıkarılan bir diğer yönetmelik ise 2005 yılında eski adıyla Çevre ve Orman Bakanlığı'nın çıkarmış olduğu “Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü” Yönetmeliği ve aynı tarihte “Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik” olmuştur.

2006 yılında “Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” çıkarılmıştır.

1980 yılından 2005'e kadar ülkemizde hava kalitesi ölçümleri Sağlık Bakanlığınca yarı otomatik ölçüm cihazları tarafından tespit edilmekte idi. 2005 yılından sonra ise Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından kurulan ve tam otomatik Hava Kalitesi İstasyonları tarafından hava kalitesi tespiti yapılmaktadır.

6 Haziran 2008 tarihinde ülkemizde, “Hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamak” amacıyla hava kalitesinin kontrolüne ilişkin esasların Avrupa Birliği (AB) çevre mevzuatıyla birebir uyumlu olan “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY)” yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Türkiye Avrupa Birliği sınır değerlerini kendisi için hedef edinmiş, 2024 yılına kadar bu değerlere kademeli bir şekilde ulaşmayı planlamıştır (havakalitesi.ibb.gov.tr.) ve hava kalitesi konusunda bütün yetki ve kararlar Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına verilmiştir.

2.4.2. Hava Kalitesi İndeksi (HKİ)

Hava kirliliğinin halk sağlığına doğrudan ve dolaylı zararlı etkilerinin olması nedeniyle hava kalitesini denetleyen kurumların kamuoyunu bilgilendirmesi ve bilinçlendirmesi gerekmektedir. Bu amaçla kirliliğin boyutlarının ve ölçüm sonuçlarının daha iyi kavranabilmesi için anlaşılır ifade, terim ve semboller kullanılmalıdır.

Belirli bir alandaki havanın kalitesini ifade etmek için Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) kullanılır. HKİ değerleri belirli aşamalara göre sınıflandırılmış, bu aşamalar belirli renklerle sembolize edilerek limit değerlere göre iyi, orta, hassas, sağlıklı, tehlikeli şeklinde derecelendirilmiştir (HKİ, 2021). Yapılan ölçümlerde yüksek seviyelerin çıkması durumunda insanlarda ve diğer canlılarda ciddi sağlık sorunlarına neden olacağı belirtilir. Hava Kalitesi İndeksinde belirtilen aşamalar ve renkler ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilir.

Ülkemizde kullanılan Ulusal Hava Kalitesi Endeksi, ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından oluşturulan EPA Hava Kalitesi endeksinden uyarlanarak Türkiye'nin ulusal mevzuatı ve sınır değerlerine göre oluşturulmuştur. 5 ana kirlletici kullanılarak hava

kalitesi hesaplanmaktadır. Bu kirleticiler partikül maddeler (PM₁₀), karbonmonoksit (CO₂), kükürtdioksit (SO₂), azotdioksit (NO₂) ve ozondur(O₃) (CSB, 2022).

Hava Kalitesi İndeksi (AQI) değerler	Sağlık Endişe Seviyeleri	Renkler	Anlamı
Hava Kalitesi İndeksi bu aralıkta olduğunda	hava kalitesi koşulları..	bu renkler ile sembolize edilir.	ve renkler bu anlama gelir.
0 – 50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi memnun edici ve hava kirliliği az riskli veya hiç risk teşkil etmiyor.
51 – 100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat alışılmadık şekilde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıdaki insanlar için bazı kirleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir.
101 – 150	Hassas	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151 – 200	Sağlıksız	Kırmızı	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir. Hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201 – 300	Kötü	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenme olasılığı yüksektir.
301 – 500	Tehlikeli	Kahverengi	Sağlık alarmı: Herkes daha ciddi sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

Şekil 2.1. Ulusal Hava Kalitesi Endeksi (CSB, 2022).

İndeks	HKİ	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO(µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
		1 sa. Ort.	1 sa. Ort.	8 sa. Ort.	8 sa. Ort.	24 sa. Ort.
İyi	0 – 50	0 - 100	0 - 100	0 - 5500	0 - 120	0 – 50
Orta	51 – 100	101 -250	101- 200	5501-10000	121 - 160	51 - 100
Hassas	101 – 150	251 – 500	201 – 500	10001-16000	161-180	101-260
Sağlıksız	151 – 200	501-850	501 – 1000	16001-24000	181-240	261-400
Kötü	201 – 300	851 – 1100	1001 -2000	24001-32000	241-700	401-520
Tehlikeli	301 - 500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

Şekil 2.2. Ulusal Hava Kalitesi Endeksi Kesme Noktaları (CSB, 2022)

3. VERİ VE YÖNTEMLER

3.1. Veri

Araştırmanın temel verilerini Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın resmi internet sitesi Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağından elde edilen Kayseri şehrine ait Hürriyet, OSB ve Trafik istasyon ölçümlerinden elde edilen 2008-2021 yıllarına ait PM₁₀ ve SO₂ değerleri oluşturmaktadır. Günlük ölçümlerini düzenli yapmaları ve çalışma alanı sınırları içerisinde olması bu istasyonların seçilmesinde temel faktördür. Çalışmada kullanılan diğer veriler Tablo 3.1'de detaylı olarak belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan verilerin, veri kaynağı ve kullanım amacı.

No	Veri Adı	Veri Kaynağı	Kullanım Amacı
1	2008-2021 meteorolojik veriler (sıcaklık, basınç, rüzgar hızı, nispi nem)	MGM 7. Bölge Müdürlüğü	Kirletici parametreler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak
2	2008-2021 yıllarına ait Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonlarına ait PM ₁₀ ve SO ₂ verileri	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın resmi internet sitesi Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (http://sim.csb.gov.tr/)	Kayseri hava kirliliği miktarını ortaya koymak
3	Kayseri 2020-2021 nüfus verileri	TUİK	Sosyoekonomik yapının açıklanması
4	Google Earth Uydu Görüntüleri (2022)	Google Earth Pro	Çalışma sahası ve hava kalitesi istasyonlarının konumlarını belirtmek
5	CORİNE arazi örtüsü verileri (1990-2020)	CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu)	Çalışma sahasının arazi kullanım durumundaki değişimi ortaya koymak

3.2. Yöntemler

Çalışmanın ilk aşamasında tez konusu ile alakalı olan “hava kirliliği, iklim, halk sağlığı, hava kalitesi” gibi anahtar kelimeleri kullanarak yerli ve yabancı kaynaklar taranmış, coğrafya ve diğer bilim dalları tarafından yapılan makaleler, tezler, kitaplar, raporlar incelenerek kapsamlı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan veriler 2008-2020 dönemi için aylık ortalama kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) değerleridir ve bu değerler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının resmi internet sitesinden (www.havaizleme.gov.tr) elde edilmiştir. 2007 yılına kadar hava kalitesi ölçümleri sağlık bakanlığı bünyesinde yapılırken, 2007'den itibaren ÇŞİDB tarafından gerçekleştirilen hava kirliliği ölçüm sonuçları baz alınmaktadır. Ölçüm yöntemleri ve

istasyon konumlarındaki değişiklikten dolayı veri seti homojenliğini yitirmiş ve önceki yıllara ait verilere ulaşamamıştır.

Günlük olarak alınan veriler aylık, yıllık ve ısınma dönemi ortalamaları Excel veri tabanında hesaplanmış, düzenlenmiş ve analiz edilebilir hale getirilmiştir. Eksik veriler ham verileri korumak amacıyla tamamlanmamıştır.

Arazi kullanımını ortaya koymak için CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) arazi örtüsü verileri kullanılmıştır. 1990 ve 2020 yıllarına ait arazi örtüsü verileri T.C Tarım ve Orman Bakanlıından temin edilerek ArcGIS programında haritalanmıştır.

CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) sisteminde 44 genel 12 adet de Türkiye'ye özgü olmak üzere toplam 56 sınıf arazi örtüsü bulunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda bu arazi örtüsü sınıflarından sadece 24 tanesinin çalışma sahasında var olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın amacına yönelik bu arazi örtüleri kendi içerisinde sadeleştirilerek 6 sınıfa indirilmiştir. Hangi arazi örtüsü sınıflarının hangi başlıklar altında toplandığı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Çalışma sahasında bulunan CORINE arazi örtüsü sınıfları ve hangi başlıklar altında birleştirildiklerini gösteren tablo.

No	Kodu	İsmi	Birleştirilmiş
1	111	Sürekli Şehir Yapısı	YERLEŞME VE SANAYİ ALANLARI
2	112	Kesikli Şehir Yapısı	
3	121	Endüstriyel ve Ticari Birimler	
4	122	Karayolu, Demiryolu ve İlgili Alanlar	
5	124	Havaalanı	
6	131	Maden Çıkarım Sahaları	
7	133	İnşaat Alanları	
8	141	Yeşil Şehir Alanları	
9	142	Spor ve Eğlence Alanlar	
10	211	Sulanmayan Ekilebilir Arazi	TARIMSAL ARAZİLER
11	212	Sürekli Sulanan Alanlar	
12	221	Üzüm Bağları	
13	222	Meyve Bahçeleri	
14	242	Karışık Tarım Alanları	
15	311	Geniş Yapraklı Ormanlar	ORMANLAR
16	313	Karışık Ormanlar	
17	321	Doğal Çayırliklar	
18	324	Bitki Değişim Alanları	
19	333	Seyrek Bitki Alanları	
20	411	Karasal Bataklıklar	SULAK ALANLAR VE SU YAPILARI
21	511	Su Kanalları	
22	512	Su Kütleleri	
23	231	Mera Alanları	NERA
24	332	Çıplak Kayalık	KAYALIK ALAN

Çalışmada yer alan haritalar ise Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak hazırlanmıştır

3.2.1. Mann-Kendall Trend Testi

Son yıllarda iklim değişikliği çalışmalarında çoğunlukla parametrik olmayan testler kullanılmaktadır. Bunun sebebi bu verilerin genellikle kısa süreli, içerisinde eksik veri barındıran, kesikli, düzensiz, çarpık dağılıma sahip olması ve parametrik testler gibi lineerlik, bağımsızlık ve normal dağılım gibi kabullere dayanmamasıdır. Çoğunlukla serbest dağılımlı istatistiksel yaklaşımlardır (Büyükyıldız ve Berktaş, 2004).

Mann-Kendall testi (Yu, 1993) parametrik olmayan testler arasında yer alır ve Kendall's Tau olarak literatürde yer alan testin revize edilen özel bir uygulamasıdır. Meteorolojik ve klimatolojik verilerin zaman serisindeki trendlerinin belirlenmesinde sıklıkla başvuru, aynı zamanda Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) de kullanılmasını önerdiği bir yöntemdir. (Yu, 1993; Partal, 2002; Özdel, 2020).

Mann-Kendall trend testinde zamana göre dizilmiş $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ gözlemleri, H_0 hipotezine göre zamandan bağımsız benzer değişkenler gösteren rasgele değişkenlerdir. H_1 hipotezine göre ise $(i \neq j)$ olmak üzere tüm $(i, j \leq n)$ için dizideki x_i ve x_j değerlerinin dağılımları benzer değildir. Bu durumda dizide lineer bir trend bulunmaktadır (Özdel, 2020).

Çalışmada uygulanan Mann-Kendall Testi, Salmi vd., (2002), tarafından hazırlanan ve araştırmacıların kullanımına sunulan "MAKESENS" yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mann-Kendall testinin ilk aşamasında trend istatistiği olan S, formül (3.1) deki gibi hesaplanır.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (3.1)$$

Formül (3.1)'de; n, veri uzunluğuna;

Trend istatistiği olan S'nin $n \geq 8$ olması halinde; ortalama ve varyans ile yaklaşık olarak normal bir dağılım gösterirken, S'nin $n \geq 30$ olması halinde z-testi, t-testine yaklaşır ve sgn işaret fonksiyonunun x_j ve x_i karşılaştırması formül (3.2)'deki gibi yapılır.

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1; (x_j - x_i) > 0 \\ 0; (x_j - x_i) = 0 \\ -1; (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

S değerinin varyansı formül (3.3) kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}} \quad (3.3)$$

Standartlaştırılmış test istatistiği z ise formül (3.4) ile hesaplanabilir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; S > 0 \\ 0; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; S < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

3.2.2. Çoklu Regresyon Testi

Birden fazla değişkeni olan modeller çoklu regresyon modeli olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada çoklu regresyon modeli oluşturulurken bağımsız değişken olarak ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı, ortalama basınç ve ortalama nispi nem kullanılmıştır. Bağımlı değişkenler ise PM₁₀ ve SO₂'dir. Meteorolojik parametreler ile kirlenici parametreler arasındaki ilişkiyi, var olan ilişkinin yönünü ve anlamlılık düzeyini tespit etmek için çoklu regresyon ve korelasyon analizinden faydalanılmıştır. Bu analiz açık kaynaklı bir istatistik yazılımı olan R yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi

Oldukça yaygın kullanılan Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testi, parametrik olmayan bir testtir. Klimatolojik zaman serilerinde anlamlı bir trendin tespit edilmesini ve tespit edilen trendlerin başlangıç zamanının bulunması amacıyla kullanılır (Özdel, 2020; Şimşek vd., 2013; Türkeş, 2013).

Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testinin trendi "t" denklemi (3.6) ile,

$$t = \sum_n^i n_i \quad (3.6)$$

dağılımın ortalaması $E(t)$,

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (3.7)$$

varyansı $\text{var}(t)$,

$$\text{var}(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (3.8)$$

testin anlamlılığının bulunması ise,

$$u(t) = \frac{(t - E(t))}{\sqrt{\text{var}(t)}} \quad (3.9)$$

denklemleri kullanılarak tespit edilir (Sneyers, 1990).

Bu çalışmada Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi, trendi tespit edilen serilerdeki trendlerin başlangıç tarihinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin bir noktada kesişip daha sonra birbirinden uzaklaşmaları, incelenen zaman serisinde bir eğilimin olduğunu göstermekteyken, iki eğrinin kesiştiği nokta ise serideki trendin başlangıç zamanını göstermektedir. Ancak $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin sürekli olarak birbiri ile kesişip ayrılmaları ise seride anlamlı bir trendin bulunmadığını göstermektedir (Toros, 1993).

Bir bölgedeki hava kirliliğinin boyutunu ortaya koyabilmek için hava kirliliğinin yıllar içerisindeki değişimini ortaya koymak gereklidir. Bu sebeple çalışmada 2008-2021 yılları arasındaki günlük partikül madde (PM_{10}) ve kükürtdioksit (SO_2) değerleri referans alınarak aylık ortalamalar belirlenmiş ve analizler bu ortalamalar üzerinden yapılmıştır. Sonuç olarak “Kayseri Şehrinde Hava Kirliliği ve Etkileri” ortaya konulmuş, geleceğe dair planlamalar ve öneriler yapılarak tez çalışması tamamlanmıştır.

3.2.4. Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi (Weighted Overlay)

Araştırma sahasındaki hava kirliliğinin mekânsal dağılımını tespit edebilmek için uygunluk ve risk analizlerinde tercih edilen ve çok kriterli yaklaşımlardan biri olan Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi (Weighted Overlay) kullanılmıştır (Bağcı vd., 2022; Coşkun ve Ortaç 2022). Kullanılan bu teknikte çalışma sahasına ait kirletici kaynaklara göre belirli katmanlar oluşturulmuş ve sahaya göre ağırlık değerleri verilmiştir. Bu

ağırlıkların toplamalarının 100'e eşitlenmiştir. Daha sonra her katman kendi içinde etki değerine göre 1-5 arasında puanlanıp üst üste çakıştırılarak bir sonuç haritası elde edilmiştir. (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Kayseri Şehrinde Kirletici Kaynaklarına Göre Hava Kalitesinin Mekânsal Dağılışının Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) Kullanılarak Analiz Belirlenmesi

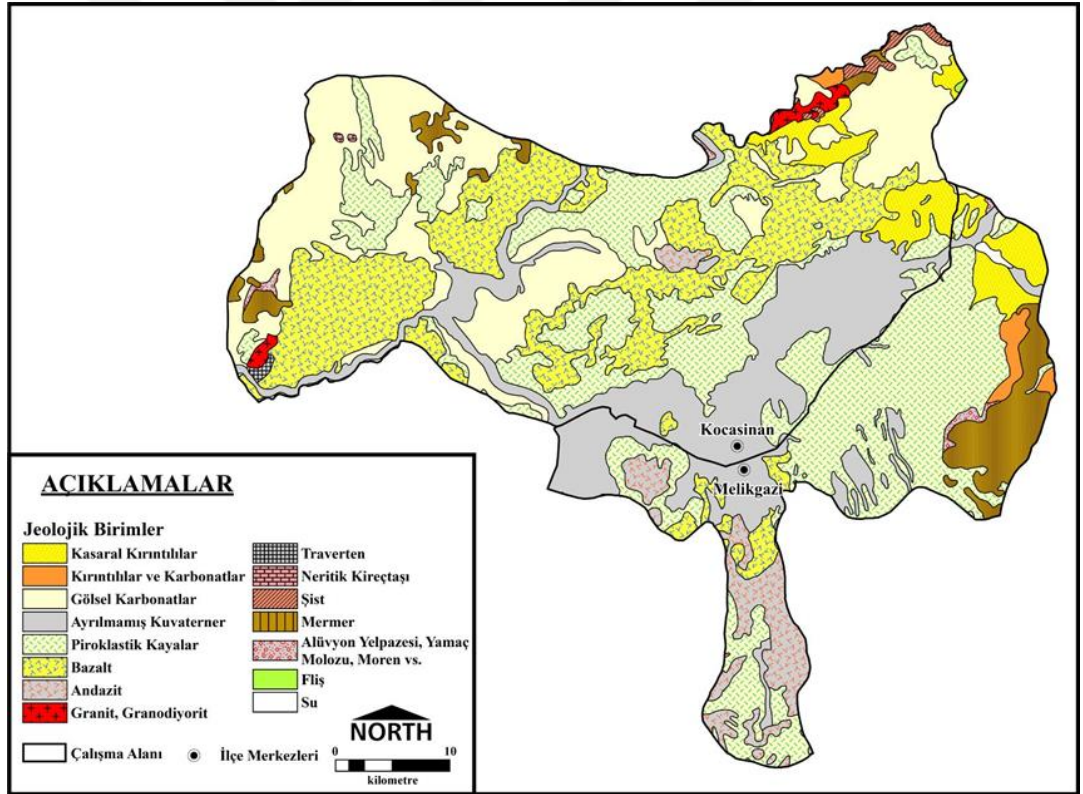
Kayseri Şehrinde Kirletici Kaynaklarına Göre Hava Kalitesinin Mekânsal Dağılışının Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) Kullanılarak Analiz Belirlenmesi				
No	Parametreler	Alt Parametreler	Ağırlık Değeri (%)	Etki Değeri
1.	Sanayi	0 – 200 m	30	5
		201 – 400 m		4
		401 – 600 m		3
		601 – 800 m		2
		801 – 1.000 m		1
2.	Yerleşme	0 – 200 m	20	5
		201 – 400 m		4
		401 – 600 m		3
		601 – 800 m		2
		801 – 1.000 m		1
3.	Ulaşım	0 – 200 m	20	5
		201 – 400 m		4
		401 – 600 m		3
		601 – 800 m		2
		801 – 1.000 m		1
4.	Rüzgâr Yönü	K	15	5
		KD		5
		KB		2
		G		1
		GD		1
		GB		1
		D		5
		B		2
5.	Yükselti (m)	950 – 1.250 m	10	5
		1.251 – 1.500 m		4
		1.501 – 1.750 m		3
		1.751 – 2.000 m		2
		2.001 – 2.250 m		1
6.	Tarım Alanları	0 – 200 m	5	5
		201 – 400 m		4
		401 – 600 m		3
		601 – 800 m		2
		801 – 1.000 m		1

4. KAYSERİ ŞEHRİNİN COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

4.1. Doğal Ortam Özellikleri

4.1.1. Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikler

Sahanın jeolojik özelliklerine bakıldığında Kocasinan ve Melikgazi ilçe merkezleri ve çalışma sahasının diğer kesimlerinde bulunan akarsu yatakları ayrılmamış Kuaterner birimlerinden oluşmaktadır. Sahanın güney kesimlerinde ise volkanik Erciyes Dağı yer almaktadır. Bu çevrede çoğunlukla andezit, bazaltik ve piroklastik kayalar kendini göstermiştir. Güneydoğuya gidildikçe piroklastik kayalar ve karasal kırıntılar yoğunluktadır. Çalışma sahasının kuzey kesiminde bulunan Kocasinan ilçesinde ise çoğunlukla piroklastik kayalar ve bazalt kütleleri yoğunluk göstermiştir. Ayrıca çalışma alanında yer yer gölsel karbonatlar dağılış göstermektedir (Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. Çalışma sahasına ait litoloji haritası (MTA Genel Müdürlüğü 1/500.000 ölçekli paftalardan düzenlenerek oluşturulmuştur.)

Çalışma sahasında yer alan Erciyes Dağı 3.916 metre yükseltisiyle İç Anadolunun en yüksek dağıdır. Bunu yanısıra kuzeydoğudan güneybatıya doğru uzanan sıradağlar silsilesi mevcuttur. Bunların en önemlisini Toroslar'ın İç Anadoluya sarkan kolu oluşturur (İRAP, 2021). Çalışma sahası içerisinde yer alan Kayseri şehri

genel olarak volkanik ve tüflü arazi yapısına sahiptir. Çalışma alanının kuzeyinde ve güneyinde dağlık ve tepelik alanlar bulunurken, kuzeydoğu güneybatı uzantılı, düşük eğimli ve tarıma elverişli bir ova üzerinde şehir kurulmuştur ve nüfus bu alanda yoğunlaşmıştır (Kaya ve Toroğlu, 2015). Kayseri il merkezi ve yakın çevresi Kuvaterner volkanizması sonucunda kuzeydoğu ve güneybatı doğrultusunda oluşan bir graben alanı içerisinde kurulmuştur. Bu graben alanının güneyinde Gesi, Mimarşinan, Talas, Ali Dağı ve Erciyes; kuzeyinde ise Muncusun, Erkilet, Boğazköprü ve İncesu'dan geçen birçok eğim atımlı normal fay mevcuttur (İRAP, 2021).

4.1.1.1. Hidrografya

Kayseri ilinin drenaj sistemini kuzeyde Kızılırmak, güneyde ise Seyhan Irmağının kolu olan Zamantı ve kolları oluşturmaktadır. Çalışma alanının Kuzeyinde yer alan Kızılırmak Nehri Sivas ilinin İmranlı ilçesinde yer alan Kızıldağ'ın (3025 m) Güney eteklerinden doğar ve Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun'dan geniş bir yay çizerek geçen ve bu illerde akan birçok akarsuyuda bünyesine katıp Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e dökülür (Acak ve Altın, 2019). Kızılırmak'ın bir kolu olan Karasu Nehri Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinin sınırında yer alır. Dantritik drenaj ağı özelliği gösteren nehir sahanın güneybatı sınırına yakın bir konumda Kızılırmak ile birleşir.

Kayseri İli'nde geniş sazlıklar ve bataklıklar bulunmaktadır. Bataklık alanlar özellikle geçmiş yıllarda salgın hastalıklara neden olmuştur. Günümüzde ise bu bataklık ve sazlık alanların bazı kısımları kurutulmuş ve tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Çalışma sahası sınırları içerisinde yer alan Engir Gölü il merkezinin 13 kilometre kuzeydoğusundaki yer alır. 0.4 km² alan kaplayan göl Melikgazi ilçesine bağlıdır. Kaynağını yine Melikgazi ilçesine bağlı olan Gesi Bucağı ve Bağpınar Köyü'nden alır. Efkere ve Tekir Göletleri Melikgazi ilçe sınırları içerisinde yer alır. Efkere Göleti sulama amacıyla Efkere Deresi üzerine kurulmuştur. 8 hektarlık bir sulama alanına, Tekir göleti ise yine sulama amacıyla kurulmuş ve 372 ha'lık bir sulama alanına sahiptir. Çalışma sahası içerisinde bulunan Sarımsaklı Barajı Kocasinan ilçe sınırları içerisinde bulunur. 1968 yılında sulama amacıyla sarımsaklı suyu üzerine kurulmuştur. Yamula Barajı (Yemliha Barajı) ise Kayseri'nin 25 km kuzeybatısında Yemliha Mahallesi yakınlarında Kızılırmak üzerine kurulmuştur.

Hidroelektrik santral ve sulama amaçlı kullanımı ile Türkiye'nin önemli projelerinden biridir (İRAP, 2021).

4.1.1.2. İklim

İklim, herhangi bir alanda uzun yıllar boyunca gözlemlenen ortalama hava şartları olarak nitelendirilmektedir (Türkeş vd., 2000). Bir bölgenin iklimini etkileyen ve belirleyen en önemli faktörlerden biri enlemdir. 36° - 42° Kuzey enlemleri ile 26° - 45° Doğu boylamları arasında yer alan Türkiye, belli bir hava kütesinin etkisi altında değildir. Dört mevsim boyunca farklı hava kütleleri etkisi altına giren ülkemiz klimatolojik açıdan da bir geçiş sahası konumundadır. Kış mevsiminde kuzeyden gelen kutbi hava kütlelerinin, yaz mevsiminde ise güneyden gelen tropikal hava kütlelerinin etki sahasına girer (Erinç, 1984). Bu hava kütlelerinin etkisiyle gözlemlenen mevsimsel değişiklikler Türkiye'nin iklim olaylarını ve hava koşullarını şekillendirir.

4.1.1.3. Sıcaklık

Kirletici kaynaklar salınımlarını yeryüzünden birkaç yüz metre aralığında gerçekleştirirler. Kaynaklardan atmosfere salınan kirleticiler meteorolojik faktörlerin etkisi altına girerler (İncecik, 1994). Bu yüzden de hava kirliliği doğrudan veya dolaylı, meteorolojik faktörlere bağlı olarak artar veya azalır. Buna örnek olarak hava sıcaklıklarının düşmesiyle kış aylarında ısınma ihtiyacı artmakta ve fosil yakıt kullanımında artış meydana gelmektedir. Bu da hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır.

Hava kirliliği üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biri de inversiyon (sıcaklık terselmesi) olayıdır. İnversiyon olayı normal şartlarda atmosferin alt katmanlarından yukarıya doğru çıkıldıkça soğuması gereken havanın tam tersi bir durum göstererek ısınması olayıdır (Kırımhan, 2006). Geceleri yeryüzünün soğuması nedeniyle bu olay genellikle geceleri ve sabaha karşı meydana gelmektedir

Bu durumda yukarıya çıkıldıkça ısınan hava atmosferde dengeli ve durgun bir ortam yarattığından kirleticilerin yükselip atmosferde dağılması mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı kirleticiler alt atmosferde birikerek özellikle şehir merkezlerinde hava kirliliğine neden olmaktadır. Hava kirliliğinden özellikle hastalar,

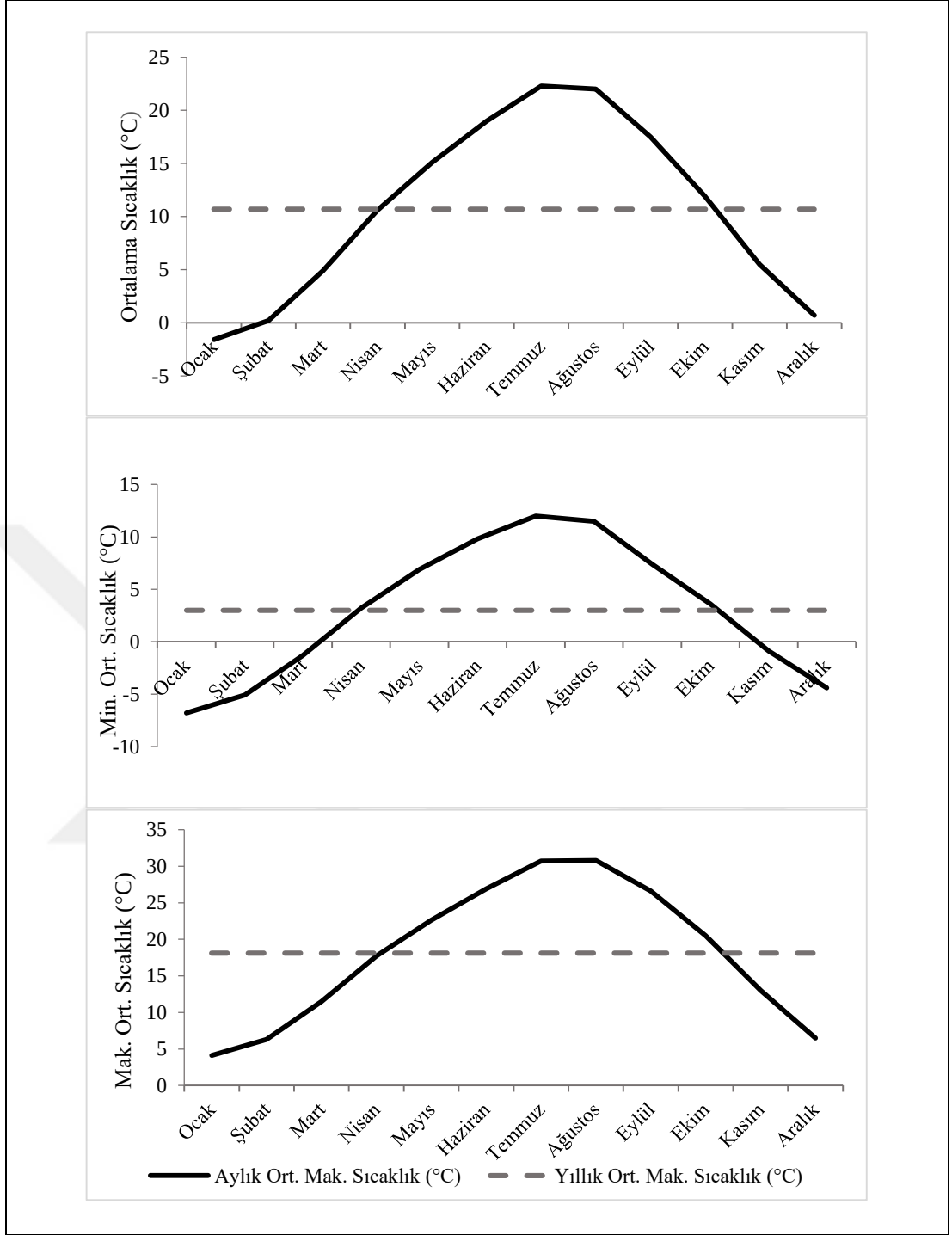
yaşlı ve çocuklar daha fazla etkileneceği için, inversiyon olayının görüldüğü saatlerde bu kişilerin çok fazla dışarıya çıkmamaları tavsiye edilmektedir.

Yerleşim bölgelerinde bacalardan atmosfere salınan sıcak gazlar, egzoz gazlarının sıcaklığı, yapıların güneş ışınlarının tutarak yavaş yavaş ortama salması ve rüzgarların şehir merkezi içine kolayca girememesi gibi nedenler, şehir merkezi sıcaklığını çevresine göre daha da arttırmıştır. Bu da şehirlerde ısı adası oluşmasına sebep olmaktadır. Isı adaları ise inversiyon olayını artırarak olumsuz sonuçlar doğurmasına neden olmaktadır (Kırımhan, 2006).

Kayseri Bölge Meteoroloji İstasyonu'nun (1931-2020) yıllık sıcaklık değerlerine bakıldığında ortalama sıcaklık 10.7 °C, yıllık ortalama maksimum sıcaklık 18.1 °C ve minimum sıcaklık ise 3.0 °C' dir (Şekil 4.2). Ortalama sıcaklıklar ocak ayı dışında hiçbir zaman eksi değerlere düşmemiştir. Aylık değerler incelendiğinde ise ortalama sıcaklıklarda en sıcak ay temmuz (22.3 °C) iken, en soğuk ayın -1.6 °C ile ocak ayı olduğu görülmektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Kayseri Bölge istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık ve aylık ortalama maksimum sıcaklık değerleri

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.
Ort. Sıcaklık	-1.6	0.2	4.9	10.6	15.1	19.0	22.3	22.0	17.5	11.9	5.5	0.7	10.7
Min. Sıcaklık	-6.8	-5.1	-1.3	3.2	6.9	9.8	12.0	11.5	7.4	3.6	-0.9	-4.4	3.0
Mak. Sıcaklık	4.1	6.3	11.5	17.7	22.6	26.9	30.7	30.8	26.6	20.5	13.0	6.5	18.1



Şekil 4.2. Kayseri Bölge istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık ve aylık ortalama maksimum sıcaklık grafikleri

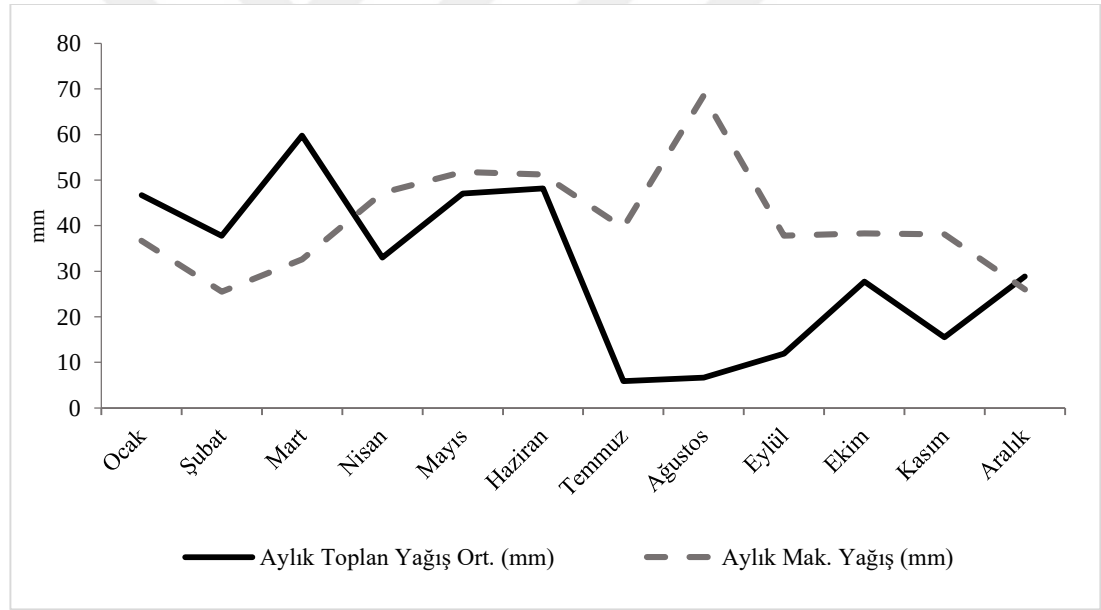
4.1.1.4. Yağış

Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonu yağış verilerine bakıldığında yıllık toplam yağış miktarının 389.1 mm olduğu görülmektedir. Yıllık maksimum yağış ise 68.5 mm'dir. Yağışlar genel olarak en fazla ilkbahar mevsiminde düşerken en az yağış yaz mevsiminde kaydedilmiştir (Tablo 4.2). Aylık ortalama değerlere bakıldığında toplam

yağış ortalaması en fazla mayıs ayında (51.8 mm), onu takiben de nisan ayında (51.0 mm) görülmektedir. En düşük yağış ortalamasına sahip aylar ise ağustos (8.8 mm) ve temmuz (10.6 mm) aylarıdır. Maksimum yağışlarda ise en yüksek ortalamaya sahip aylar mayıs (51.8 mm) ve haziran (51.2 mm) iken en düşük değerlere sahip aylar şubat (25.5 mm) ve aralık (26.0 mm) ayıdır (Şekil 4.3).

Tablo 4.2. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonuna ait aylık ve yıllık toplam yağış ve maksimum yağış ortalamaları

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Toplam yağış Ort.	35.9	36.4	42.7	51.0	51.8	40.2	10.6	8.8	14.5	27.8	32.0	37.4	389.1
Mak. Yağış Ort.	36.7	25.5	32.6	47.2	51.8	51.2	39.6	68.5	37.8	38.3	38.1	26.0	68.5



Şekil 4.3. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu aylara göre toplam ve maksimum yağış ortalamaları

4.1.1.5. Basınç

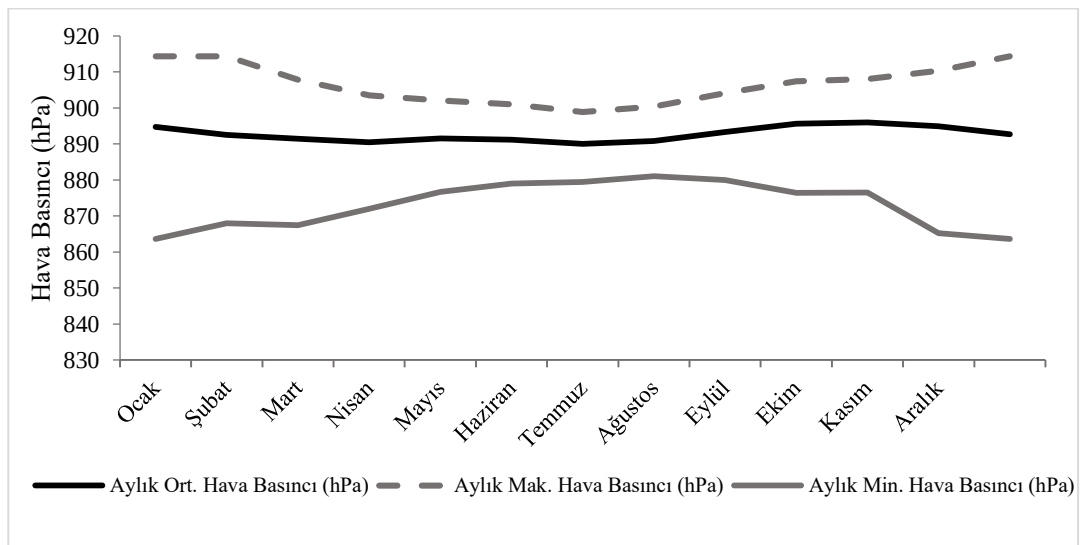
Kayseri meteoroloji istasyonunun basınç değerleri incelendiğinde, ortalama hava basıncının 892.7 hPa olarak ölçüldüğü görülmektedir (Tablo 4.3.) Temmuz ayı ortalama hava basıncının en düşük (890.0 hPa), kasım ayı ortalama hava basıncının ise en yüksek (896.0 hPa) olduğu görülmektedir. Maksimum hava basıncı incelendiğinde, yıllık ortalamanın 914.3 hPa olduğu görülmektedir. Maksimum hava basıncının en düşük (898.9 hPa) değer gösterdiği ay olurken ocak ayı maksimum hava basıncının en

yüksek (914.3 hPa) değer gösterdiği aydır. Minimum hava basıncının yıllık ortalama değerlerine bakıldığında 863.6 hPa olarak ölçüldüğü görülür. Ağustos ayı en yüksek (881.0 hPa) minimum hava basıncı değerine karşılık gelirken, ocak ayı en düşük (863.6 hPa) minimum hava basıncının olduğu aya karşılık gelmektedir (Şekil 4.4).

Yüksek basınç koşullarında kirli hava yükselemeyerek alt tabakalarda sıkışır ve dağılmaz. Alçak basınç koşullarında ise yükselici hava hareketleri vardır. Bu sayede alt katmanlardaki kirli hava yukarılara çıkarak dağılmakta, bu da atmosferde olumlu bir ortam doğurmaktadır (Şahin, 1989).

Tablo 4.3. Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonunun aylık ve yıllık ortalama, maksimum ve minimum hava basıncı

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.
Ort. Hava Basıncı (hPa)	894.7	892.5	891.4	890.5	891.5	891.2	890.0	890.8	893.3	895.6	896.0	894.9	892.7
Mak. Hava Basıncı (hPa)	914.3	914.3	907.8	903.5	902.1	901.0	898.9	900.4	904.1	907.4	908.0	910.3	914.3
Min. Hava Basıncı (hPa)	863.6	868.0	867.4	872.0	876.7	879.0	879.4	881.0	880.0	876.4	876.5	865.2	863.6

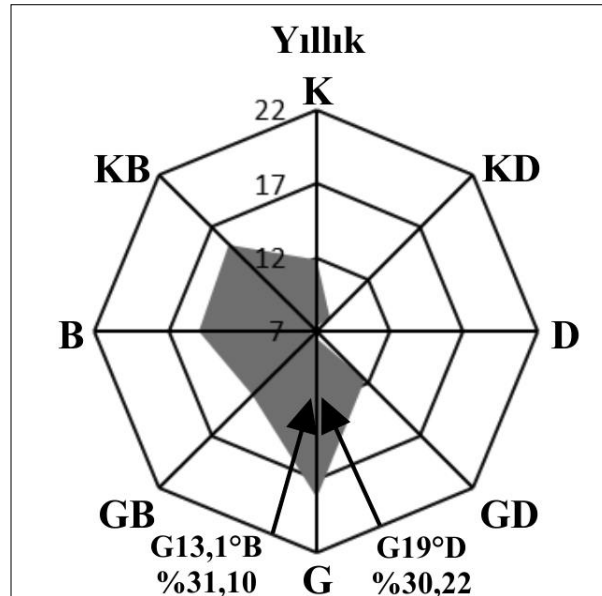


Şekil 4.4. Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonundan alınan aylık ortalama hava basıncı, maksimum hava basıncı ve minimum hava basıncı değerleri

4.1.1.6. Rüzgarlar

Bir bölgede gerçekleşen yatay veya dikey hava hareketlerine rüzgar denir. Rüzgarın esme hızı, esme süresi ve zamanı farklı kaynaklardan atmosfere bırakılan kirleticilerin, üst atmosfere ve kaynak noktasından uzaklara taşınmasıyla yakından ilgilidir. Kirleticilerin atmosferde uzak mesafelere yayılımında özellikle yatay rüzgarlar önemli bir etkiye sahiptir. Rüzgar hızı arttıkça ortamdaki kirletici miktarı da hızlı bir şekilde yayılıp, birikimi azalmaktadır. Bu yüzden hava kirliliği çalışmalarında rüzgar yönünün ve rüzgar hızının önemi büyüktür (Kırımhan, 2006).

Kayseri bölge meteoroloji istasyonu rüzgar verileri kullanılarak Rubinstein formülüne göre, istasyonun yıllık hakim rüzgar yönü ve hakim rüzgar yönüne ait rüzgar frekansı (%) hesaplanmıştır. Bulgulara göre Kayseri Bölge istasyonu yıl içerisinde güney sektörlü iki hakim rüzgar yönüne maruz kaldığı belirlenmiştir. G13,1°B yönünden gelen rüzgarlar %31,10 frekans değerine, G19°D yönünden gelen rüzgarlar ise %30,22 frekans değerine sahiptir. Kayseri'nin güneyinde konumlanan Erciyes Dağı'nın yıl içerisinde yüksek basınç alanı oluşturması nedeniyle hakim rüzgar yönü güney sektörlü olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.5). Rüzgar yönleri genel hava dolaşımına uygun olup topografyaya göre kanalize olmaktadır. Güneydoğu ve güneybatı sektörlü esen rüzgarlar kirleticileri başka yerlere taşımada etkili olmaktadır.



Şekil 4.5. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu Rubinstein formülüne göre yıllık hakim rüzgar yönleri ve frekansları (%)

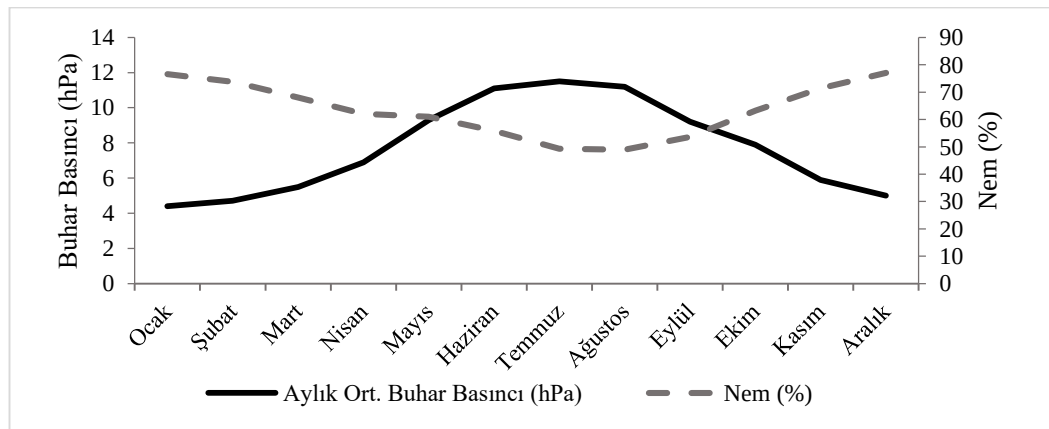
4.1.1.7. Nispi Nem

Atmosferde bulunan nem, sıcaklığın azalmasıyla yoğunlaşarak sis oluşumuna sebep olur. Hava içerisindeki aerosoller bu yoğunlaşma esnasında çekirdek vazifesi görürler. Dolayısıyla sis olayı daha çok kirlenmiş havalarda meydana gelir ve tehlikeli boyutlarda hava kirliliği problemlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Özellikle yüksek basınç koşullarında, SO₂ konsantrasyonunun yoğun olduğu zamanda sis olayı gerçekleşirse, yoğun SO₂ etrafa yayılmaz ve su buharı ile birleşerek asit haline dönüşür. Bu da insan ve diğer canlıların sağlığına zarar vermektedir (Şahin, 1989).

Kayseri meteoroloji istasyonunun nem ve su buhar basıncı değerleri incelendiğinde, yıllık su buhar basıncı ortalaması 7.7 hPa olarak ölçülmüştür (Tablo 4.4). En yüksek buhar basıncı değeri temmuz ayında (11.5 hPa) görülürken en düşük değerler ocak ayında (4.4 hPa) görülmüştür. Ortalama nispi nem değerleri yıllık ortalama %63.4 olarak ölçülmüştür. En yüksek nispi nem değerlerine aralık ayında (%77.1), en düşük değerlere ise ağustos ayında (%49.0) ulaşılmaktadır (Şekil 4.6).

Tablo 4.4. Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonu ortalama su buharı basıncı ve ortalama nispi nem değerleri

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.
Ortalama Su Buharı Basıncı (hPa)	4.4	4.7	5.5	6.9	9.3	11.1	11.5	11.2	9.2	7.9	5.9	5.0	7.7
Ortalama Nispi Nem (%)	76.6	73.8	68.0	62.1	61.0	55.8	49.3	49.0	53.6	63.2	71.4	77.1	63.4



Şekil 4.6 Kayseri Bölge Meteoroloji istasyonundan alınan ortalama su buharı basıncı ve ortalama nispi nem değerleri

4.1.2. İklim Sınıflandırmaları

Araştırma kapsamında Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu verilerine göre Erinç yağış etkinlik indisi ve De Martonne-Gottman kuraklık indeksi hazırlanmıştır. Erinç yağış etkinlik indisi (Erinç kuraklık indisi), herhangi bir alanda kaydedilen toplam yağış ile maksimum sıcaklık oranına göre incelenir (Altın ve Barak, 2012). De Martonne-Gottman indisi ise yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri temel alınarak hesaplanmaktadır (De Martonne, 1926). Kayseri’de Erinç kuraklık indisi aylara göre **çok nemli** ve **tam kurak** arasında farklılık göstermektedir. Yıllık olarak incelendiği zaman Kayseri’nin **yarı kurak** bir iklim sınıfına girdiği görülmektedir. Yağış miktarının fazla olduğu aralık, ocak ve şubat aylarında **çok nemli** iklim sınıfı ortaya çıkarken, yağış miktarının azaldığı temmuz, ağustos ve eylül aylarında **tam kurak** iklim sınıfı ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.5).

De Martonne-Gottman kuraklık indeksine göre; Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu aylara göre **nemli** ve **kurak** iklim tipi olarak farklılık göstermektedir. Yıllık olarak bakıldığı zaman **yarı kurak-nemli arası** iklim sınıfının ortaya çıktığı görülmektedir. Aralık, ocak, şubat ve mart aylarında nemli bir ortam söz konusu iken, temmuz ve ağustos ayları ise kuraktır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Kayseri Şehri Erinç ve De Mortanne-Gottman Kuraklık Endeksi

İklim Sınıflandırması	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Erinç Kuraklık Indisi	105.1	69.3	44.6	34.6	27.5	17.9	4.1	3.4	6.5	16.3	29.5	69.0	21.5
	Çok Nemli	Çok Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Yarı Nemli	Yarı Kurak	Tam Kurak	Tam Kurak	Tam Kurak	Yarı Kurak	Yarı Nemli	Çok Nemli	Yarı Kurak
De Martonne-Gottman Kuraklık İndeksi	51.3	42.8	34.4	29.7	24.8	16.6	3.9	3.3	6.3	15.2	24.8	41.9	11.4
	Nemli	Nemli	Nemli	Yarı Nemli	Yarı Nemli	Yarı Kurak-Nemli Arası	Kurak	Kurak	Yarı Kurak	Yarı Kurak-Nemli Arası	Yarı Nemli	Nemli	Yarı Kurak-Nemli Arası

4.1.3. Toprak ve Bitki Örtüsü

Çalışma sahasında görülen iklim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü farklılıkları nedeniyle farklı özelliklere sahip topraklar oluşmuştur.

Çalışma sahasında en geniş yayılım alanına sahip olan toprak tipi zonal grubuna dahil olan kireçsiz kahverengi topraklardır. Kireçsiz jeolojik maddeler üzerinde kalın, kahverengi ve iyi drenajlı alüvyal topraklar ile, genellikle kil birikimli kahverengi topraklardan oluşmuştur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bu topraklar üzerinde

ise çayır bitki örtüsü egemendir. Alçak ve hafif eğimli kesimlerde nadaslı kuru tarım yapılırken, daha dik eğimli ve taşlı sahalar ise otlak olarak kullanılmaktadır

Kızılırmak ve Seyhan Nehri havza sınırları içerisinde yer alan Kayseri İli'nde büyük azonal toprak grupları mevcuttur. Özellikle çöküntü havzaların tabanlarındaki ovalar alüvyal topraklarla örtülüdür. Alüvyal topraklar akarsu faaliyetleriyle taşınmış olup gevşek yığıntılar üzerinde bulunan ince taneli, iyi drenajlı topraklardır Ana maddesi değişik orijinli yüksek alanlardan taşınmış IV. zaman malzemeleridir. Bu topraklar üzerinde çoğunlukla bağ ve bahçe tarımı yapılmaktadır (İRAP, 2021).

Kayseri il merkezinde yayılış gösteren organik topraklar geniş alan kaplamaktadır. Bu topraklar bozuk drenajlı olmasının yanısıra tuzlu ve alkalidir. Üzerinde çayır ve tuzcul ot örtüsü yer alan bu topraklar üzerinde kuru tarım yapılmakla birlikte, otlak ve çayır lar mevcuttur. Kayseri ovasında görülen kolüvyal topraklar ise daha çok dağlık ve tepelik alanlardan tabana doğru geçiş kısımlarında görülür. Yerçekimi ve küçük akıntılarla taşınmış olan topraklar, zayıf, ince taneli genç topraklardır. Hafif eğimli alanlarda yer alan kolüvyal topraklar üzerinde bağ ve bahçe tarımı yapılmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Kayseri İran-Turan Fitocoğrafik Bölgede yer alır. Erciyes Dağında 1996-2002 yılları arsında toplanan 2554 bitki örneğinin değerlendirmesi sonucu 89 familya ve 433 cinse ait 1170 tür ve tür altı takson tespit edilmiştir (İRAP, 2021).

Kayseri ilinde hemen her yerde yayılış gösteren meşe ve ardıç türlerinin yanısıra ovalarda, dağlık ve tepelik alanlarda genel olarak kurak yarı kurak iklime uyum sağlayan bozkır bitki örtüsü hakimdir. Yüksek alanlarda ise yer yer ormanlıklar bulunsada genel olarak bozuk orman örtüsü ve çalılıklar yoğunluktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bunun en büyük sebebi antropojenik faaliyetlerle orman örtüsünün tahrip edilmesidir.

Geçmişte dağ içlerindeki çöküntü havzaları ise güney kesimlere göre ormandan yoksun kalmış alanlarda bozkır bitki örtüsüne ait seyrek çalılıklar ile otluklar geniş yer tutarken günümüzde antropojenik faaliyetler sonucunda bu alanlar büyük ölçüde tarım alanı haline getirilmiştir.

4.1.4. Arazi Kullanımı

İnsanlar geçmişten günümüze kadar ki süreçte ihtiyaçlarını karşılamak için doğal ortam üzerinde değişiklikler yapmıştır. Nüfusla birlikte ihtiyaçlarında artması kullanılmayan ya da farklı bir amaçla kullanılan araziler; tarım, yerleşme veya sanayi alanlarına dönüştürülmüştür (Bağcı, 2021).

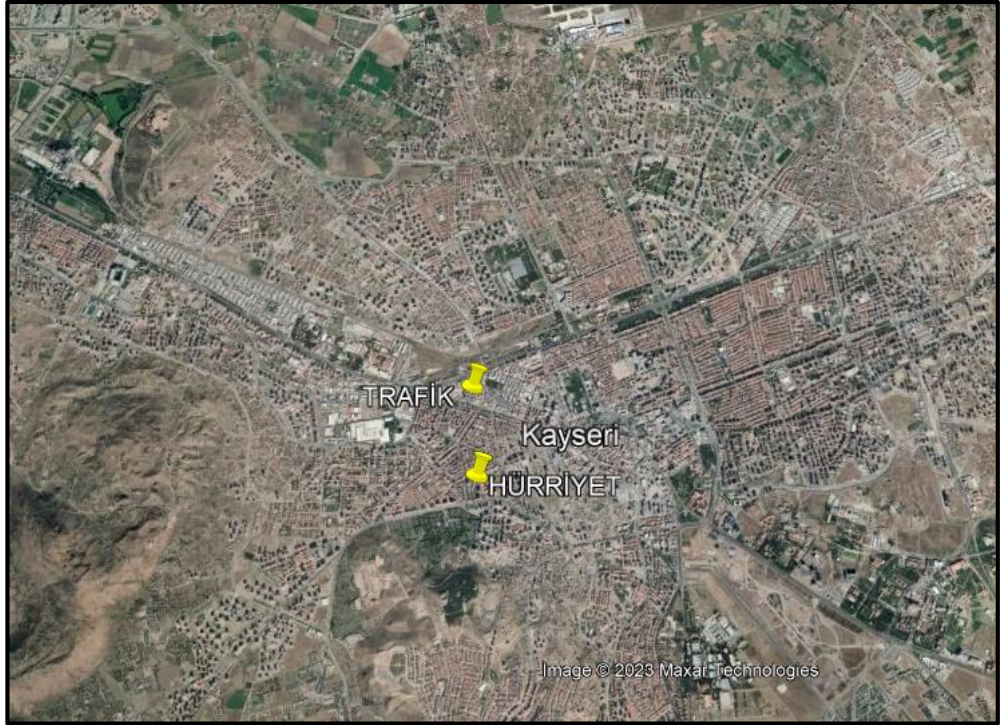
Kayseri İli'nin toplam yüzölçümü 1.686.573 ha'dır. Bu alanın arazi kullanımına bakıldığında 670.584 ha'ı tarım alanı, 691.028 ha'ı çayır ve mera, 135,817 ha'ı orman ve 189.144 ha'ı diğer arazilerden oluşmaktadır. İlde çayır ve mera arazilerinin fazlalığı hayvancılık ve tarım için olumlu sonuç doğururken, orman varlığındaki azlık yağışları etkilemekte ve erozyona neden olmaktadır.

Araştırma kapsamında Kayseri şehri arazi örtüsü 1990 ve 2018 yılları baz alınarak değerlendirilmiştir. Ele alınan yıllar kapsamında en geniş yer kaplayan arazi örtüsü tarım alanlarıdır. 1990 yılında yoğunlukta olan çıplak kayaların 2020 yılına gelindiğinde yerini ormanlara ve tarım arazilerine bıraktığı görülmektedir. Kocasinan ve Melikgazi ilçe merkezlerinde ise yerleşme ve sanayi alanları yoğunluk göstermiş (Şekil 4.8 - 4.9) ve yıllar içerisinde kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda alanını genişletmiştir (Kaya ve Toroğlu, 2015). Sahanın kuzeyinden geçen Kızılırmak Nehri üzerine yapılan Yamula Barajı sahada bir sulak alan ve su yapısının oluşmasına ve bataklık alanlarının genişlemesine neden olmuştur (Şekil 4.7). Bu alanların çevresinde ise üzüm bağları, meyve bahçeleri ve karışık tarım alanları kendini göstermiştir. Şehrin kuzeyinden geçen Kızılırmak nehri, buradaki arazi varlığını etkilemiş ve bataklık alanlarının genişlemesine neden olmuştur. Bu alanların çevresinde ise üzüm bağları, meyve bahçeleri ve karışık tarım alanları kendini göstermiştir. (Corine, 2018).

Bir diğer yüksek dağılış gösteren alan ise karışık tarım alanlarıdır. Öbek öbek şehre yayılan alan, özellikle şehrin güneyinde Erciyes Dağı'nın etekleri üzerinde gelişen çalılık ve otsu bitkilerle birlikte kendini göstermektedir. Yükseltisi fazla olan bu alanlarda tahıl tarımının yanı sıra kabak çekirdeği üretimi de yapılmaktadır. Yine bu alanın güneyinde su kütlesinin yanı sıra karasal bataklıklar ile doğal çayırılık alanlar yoğunluk göstermiştir (Şekil 4.10).



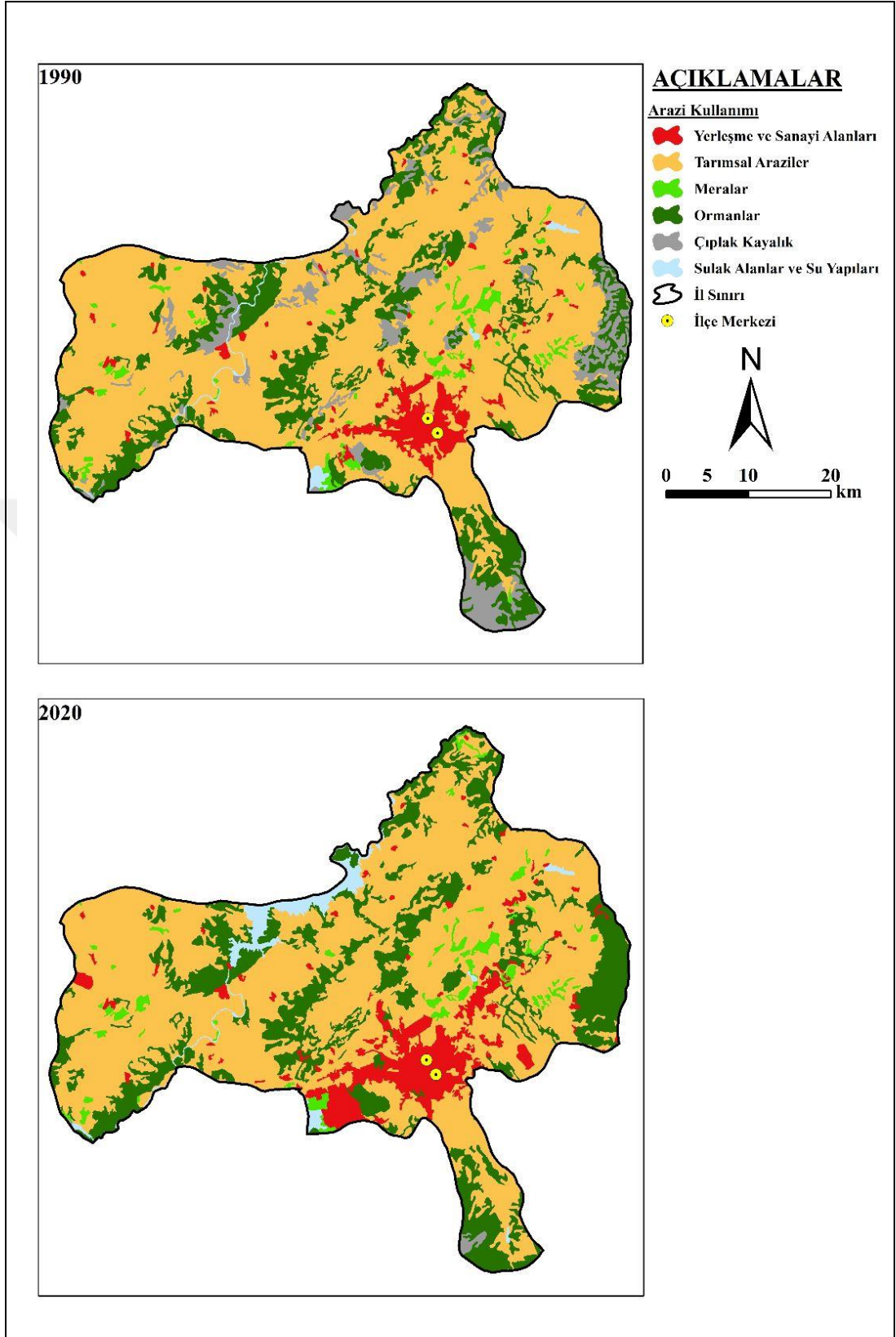
Şekil 4.7. Çalışma sahasında yer alan Kızılırmak Nehri'nin 02.03.2023 tarihli uydu görüntüsü.



Şekil 4.8. Çalışma sahası içerisinde yer alan yerleşmelerin uydu görüntüsü.



Şekil 4.9.Çalışma sahasında yer alan Organize Sanayi Bölgesinin uydu görüntüsü.



Şekil 4.10.Çalışma sahasına ait arazi kullanım haritası (Corine verilerinden yararlanılarak üretilmiştir.)

4.2. Beşeri ve Ekonomik Özellikler

4.2.1. Nüfus Özellikleri

Hava kirliliği üzerinde etkili olan en önemli faktörlerden biri de insandır. Geçmişten günümüze artan nüfus beraberinde şehirleşme ile birlikte evsel ısınmayı ve motorlu taşıt kullanımını, endüstrileşmeyle birlikte fosil yakıt tüketimini artırmıştır. Yapılan çalışmalara bakıldığında Türkiye’de ve Dünyada hava kirliliği tespiti ile alakalı yapılan çalışmalar, kırsal yerleşmelerden ziyade çoğunlukla şehir yerleşmelerinde daha fazladır. Bu yüzden bir yerde hava kirliliğini tespit edebilmek için o bölgesinin nüfus, şehirleşme ve ekonomik yapısını incelemek gerekmektedir.

Erciyes Dağı’nın kuzey eteklerinde bir ova üzerine kurulan Kayseri şehri Anadolu’nun en eski yerleşmelerinden biridir. Şehrin 24 kilometre kuzeydoğusunda, bir ticaret kolonisi olarak “Kanes” kurulmuştur. Bu yerleşme Hitit dönemindedir varlığını sürdürmüştür. Kentin 2 kilometre güneybatısında Kayseri’nin eski çekirdeğini oluşturan “Mazaka” adı verilen yerleşme kurulmuştur. Malazgirt zaferinden sonra Türklerin hakimiyetine giren şehir özellikle Selçuklu döneminde önemli bir güzergah olması sebebiyle hızla gelişmiştir. Yavuz Sultan Selim döneminde Osmanlı hakimiyetine giren şehir özellikle Cumhuriyetten sonra hızlı bir gelişme göstermiştir. Nitekim 1927’de yapılan sayıma göre 39 bin civarında olan nüfusu 1990’da 420 bini, 2000 de 536 bini, 2011’de 1 milyonu aşmıştır. 2021 yılında 1.434.357 nüfusıyla ülkenin en kalabalık 15. şehri haline gelmiştir. Bu nüfus, 719.061 erkek ve 715.296 kadından oluşmaktadır. Kayseri nüfus yoğunluğu ise 84/km² dir (TUİK 2022). Çalışma sahasını kapsayan ilçelerin toplam nüfusuna bakıldığında, nüfusun 2008-2021 yılları arasında sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Şehrin 2008 yılında 800.133 olan nüfusu 2022 yılına gelindiğinde 1.003,349’a yükselmiştir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Kocasinan ve Melikgazi ilçeleri 2008-2022 yılları arası toplam nüfus değerleri

Yıllar	Kocasinan	Melikgazi	Toplam
2008	365.153	434.980	800.133
2013	377.051	520.319	897.370
2018	391.661	555.671	947.332
2022	409.005	594.344	1.003,349

4.2.2. Yerleşme Özellikleri

Kayseri İlinin yerleşme tarihine bakıldığında ilk iskan yerinin Erken Tunç Çağında başlayan ve Helenistik Devirlere kadar varlığını sürdüren Hatti'lerin kurduğu Kültepe (Kaniş) olduğu görülmektedir (Şekil 4.11). Burada yapılan kazılarda döneme ait 20.000'den fazla yazılı tablet ele geçirilmiştir. Bu metinler çoğunlukla ticari ilişkiler, anlaşmalar ve devletlerarası mektuplaşmalar şeklindedir (Şekil 4.12).

Kaniş şehrinin önemini kaybetmesiyle M.Ö 11. ve 7. yy'da Erciyes Dağı eteklerinde Mazaka kurulmuştur. Med ve Pers egemenliğine giren şehir, M.S 17 yılında Roma hakimiyetine girerek bir eyalet olarak kabul edilmiş ve adı Kaisareia olarak değiştirilmiştir.

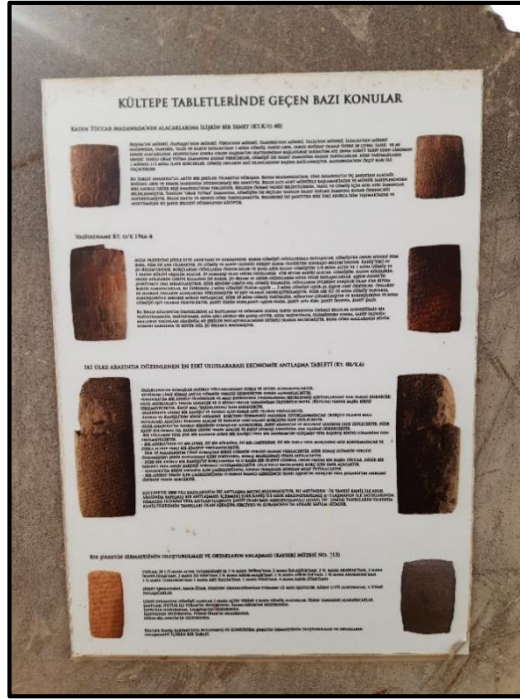
395 yılına gelindiğinde Bizans imparatorluğu hakimiyetinde olan Kayseri şehri önemini korumuş, dönem dönem arap akınlarına uğramıştır. 1071 Malazgirt zaferinden sonra Türk toprağı haline gelmiştir. Bu tarihten sonra sosyokültürel yapı değişmeye başlamış o dönemde Kayseri şehrinin yerli halkı olan Rum ve Ermeniler yerini Türk halkına bırakmışlardır. Danişmentli ve Selçuklu devleti hakimiyetine giren şehir Selçuklu döneminde ise Konya ve Sivas ile birlikte üç başkentten biri haline gelmiştir. 1515 yılında Yavuz Sultan Selim Döneminde Osmanlı imparatorluğuna bağlanmıştır. Danişment Selçuklu ve Osmanlı tarafından şehre camii, medrese, han, hamam gibi türk-islam kültürünü yansıtacak eserler inşaa edilmiş, Kayseri şehri bir İslam şehri kimliği kazanmıştır. Bu eserlerden bazıları; Camii kebir, Hunat Külliyesi, Nesibe Hatun Şifahanesi, kale surları ve Yoğunburç olarak sıralanabilir (Çayırdağ, 2001; Öztürk vd. 2021). Kayseri Cumhuriyetin ilanı ile birlikte 1924 Anayasası ile il olmuştur. Bu dönemde Kayseri toplam 5 ilçeye sahiptir (Merkez, İncesu, Bünyan, Develi ve Pınarbaşı). Günümüzde ise Kayseri'nin Akkışla, Bünyan, Develi, Felahiye, Hacılar, İncesu, Kocasinan, Melikgazi, Özvatan, Pınarbaşı, Sarioğlan, Sarız, Talas, Tomarza, Yahyalı ve Yeşilhisar olmak üzere 16 ilçesi bulunmaktadır. Bu ilçeler arasında çalışma sahasını oluşturan Kocasinan ve Melikgazi ilçeleri en yoğun nüfuslu iki ilçesini oluşturmaktadır.

Kayseri şehri geçmişe bakıldığında Selçuklu Döneminde yapılan eserler etrafında gelişen bir yapılaşma ortaya koymuş, şehir sur içi ve yakın çevresinde gelişim göstermiştir. Şehir merkezi ticari anlamda önemli güzergahlar üzerinde yer almaktadır. Işınal kent tipine sahip olan şehir kuzeydoğuda Sivas Caddesi, kuzeyde

İstasyon Caddesi ve batıda Park Caddesi'ne bağlanmaktadır (Erdoğan ve Atabeyoğlu, 2016). Geleneksel mimaride ise Kayseri Evleri girintili çıkıntılı, dar ve çıkmaz sokaklar üzerinde sıralanmıştır. Evler tek, iki veya üç katlı, bahçeli veya çıkmalıdır (Şekil 4.14). Selçuklu ve Beylikler dönemlerinde yapılan örnekler bakıldığında yapı malzemesinin ağırlıklı olarak taş olduğu görülmektedir. Ancak yeni yapılaşmalarla birlikte bu mimarinin yavaş yavaş ortadan kalkmaya başladığı ve çok katlı yapılaşmayla birlikte toplu yerleşiminde belirginleştiği görülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.11. Kültepe antik kenti



Şekil 4.12. Kültepe antik kenti



Şekil 4.13. Kayseri kale surları



Şekil 4.14.Tarihi Kayseri sokakları ve evleri. Talas, Osmanlı sokağı



Şekil 4.15.Kayseri Şehri. Talas Ali Dağ

4.2.3. Ekonomik Faaliyetler

Kayseri ili önemli ulaşım güzergahlarının kavşak noktasında olması, gelişmiş sanayisi, yeraltı kaynakları ve enerji olanakları sayesinde geçmişten bugüne önemli bir ticaret merkezi haline gelmiştir. Geçmişten beri süregelen halıcılık, dokumacılık ve dericilik gibi üretim faaliyetleriyle bilinen şehrin canlı bir ticaret yaşamı vardır. Savaş zamanında sönükleşen bu ticari faaliyetler, Cumhuriyet döneminde 1926 yılında

iplik ve uçak montaj fabrikalarının kurulması, 1927 yılında ise demiryolu ulaşımının gelmesiyle birlikte yeniden önem kazanmıştır. Tüm bunların yanında halk geçimini önemli ölçüde tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden sağlar. 1950 yılından itibaren karayolu ulaşımının güçlenmesi ve tarıma dayalı sanayinin gelişmesiyle birlikte ilin kalkınması da artmıştır.

Sanayi faaliyetlerine baktığımızda ise küçük sanayi siteleri ile organize sanayi bölgeleri ön plana çıkmaktadır (Tablo 4.7). Kayseri Şehrinde 6 adet organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Bu organize sanayi bölgelerinden en önemlisi ise çalışma sahası sınırları içerisinde bulunan 1.Organize Sanayi Bölgesidir. Kayseri Serbest Bölgesi de sanayinin gelişmesinde önemli bir konumdadır. İmalat sanayi gelişmişlikte 18. sırada yer almaktadır. İlde yer alan başlıca sanayi kuruluşları ise askeriyeeye ait tank tamir fabrikası, Hava İkmâl Bakım Merkezi, Sümerbank Pamuklu Sanâyi, Hema Traktör Sanâyi, Şeker Fabrikası, Saray Halı A.Ş.,'dir. Bunların yanında 17 adet iplik fabrikası, traktör, elektrik motoru ve kalorifer kazanı vs. imal eden fabrika ve atölyeler vardır. Aynı zamanda İstikbal, Bellona, İpek, Yataş, Atlas gibi mobilya ve ev tekstili üzerinde markalaşmış firmaların imalat yeri yine Kayseri'dir.

Tablo 4.7.Kayseri’de bulunan 2020 yılı OSB, Sanayi İşletmeler ve Üretim Alanları

	Türü	İlçesi	Faaliyete Geçiş Yılı	İşyeri Sayısı
Eski Sanayi Sitesi	KSS	Kocasinan	1957	1365
Yeni Sanayi Sitesi	KSS	Kocasinan	1972	3.033
Orta Sanayi Bölgesi	KSS	Melikgazi	1979	55
Doğu Sanayi Sitesi	KSS	Kocasinan	1985	280
İmalatçılar Paz. San. Sitesi	KSS	Melikgazi	1985	266
Argıncık Küçük San. Sitesi	KSS	Kocasinan	1992	220
Osman Kavuncu San. Sitesi	KSS	Melikgazi	1995	865
Kayseri Demirciler KSS.	KSS	Melikgazi	2003	326
KAYSERİ OSB	OSB	Kocasinan	1987	970
Mimarsinan OSB	OSB	Melikgazi	1996	125

ÜRETİM ALANI	TESİS SAYISI
Mobilya ve Ev Tekstili	474
Metal Eşya	258
Tekstil	171
İnşaat Yapı Malzemeleri	78
Ambalaj	34
Gıda	55
Plastik	92
Maden	24
Makine Tarım	24
Kimya Sanayi	35
Diğer	200
Toplam	1445

Kaynak: TÜİK 2022 Verileri

İlde sanayi, ticaret ve ulaştırma faaliyetlerinden sonra tarım sektörü gelmektedir. Kayseri coğrafi konumu itibarıyla kuru ve sulu şartlarda farklı tarım ürünleri yetiştirilmektedir. İl alanında 671.000 hektar arazi yani toprakların %40’ı tarımsal üretim amacıyla kullanılmaktadır. İlde konveksiyonel tarım modeli benimsenmektedir ve ağırlıklı olarak buğday, arpa, şekerpancarı, çerezlik ayçiçeği, çerezlik kabak, patates, baklagiller, yem bitkileri, elma, üzüm yetiştiriciliği yapılmaktadır İlde en fazla yüzdelik alanı (%45,91) tarım ürünleri kaplarken, en az alanı meyvecilik (%2,49) oluşturmaktadır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8.Kayseri’de 2020 yılında yetiştirilen tarım ürünlerinin ekiliş miktarı ve dağılımı

ÜRÜN CİNSİ	EKİLİŞ MİKTARI	Yüzde (%)
Meyvecilik	168.810	2,49
Sebzecilik	338.590	4,99
Tarla Ürünleri	3.12.430	45,91
Yem Bitkileri	339.290	5,00
Nadas	2.820.580	41,60
TOPLAM	6.779.700	100

Kaynak: TÜİK 2022 Verileri

Kayseri’de hayvancılık faaliyetleri ise küçük ve büyükbaş şeklinde yapılmakta olup Türkiye ortalamasına yakındır. İlde yetiştirilen kümes hayvan varlığı toplamda 4.789.179 adetle en fazla paya sahiptir. En az paya sahip olan hayvansal üretim ise 53.223 kovan sayısı ile arıcılıktır. İlde üretilen hayvansal gıdalar sıralandığında ilk sırayı et sonrasında ise süt ve yumurta gelmektedir. (Tablo 4.9).

Tablo 4.9.Kayseri’de 2020 yılında ki hayvan varlığı

	Hayvanlar	Adet (Baş)
Küçükbaş Hayvan Varlığı	Koyun (Yerli)	584.382
	Keçi (Kıl)	65.224
	TOPLAM	649.606
Büyükbaş Hayvan Varlığı	Sığır	249.532
	Buzağı	91.586
	Manda	6.476
	TOPLAM	347.594
Kümes Hayvanları Varlığı	Yumurta Tavuğu	4.789.179
Arıcılık (Kovan)	Fenni Kovan	53.223

Kaynak: TÜİK 2022 Verileri

5. KAYSERİ ŞEHRİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ VE COĞRAFİ KOŞULLARLA İLİŞKİSİ

5.1. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliği

Kayseri şehrinde hava kalitesi ölçümleri, 2007 yılına kadar Sağlık Bakanlığı'nın yarı otomatik ölçüm cihazları ile yapılırken, 2007'den beri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait tam otomatik ölçüm cihazları hava kalitesini kontrol etmiş ve denetlemiştir.

Günlük ölçümlerden aylık ortalamalar hesaplanarak gerçekleştirilen analizlerde Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinde yer alan Hürriyet, Trafik ve OSB hava kalitesi ölçüm istasyonlarının verileri kullanılmıştır (Tablo 5.1). OSB İstasyonu; sanayi faaliyetlerinin yoğun olarak gerçekleştiği Kayseri Organize Sanayi Bölgesine konumlandırılırken, Hürriyet ve Trafik istasyonları, yerleşmelerin ve trafiğin fazla olduğu, yoğun nüfuslu ve şehir merkezine daha yakın alanlara konumlandırılmıştır (Şekil 5.1).

Tablo 5.1. Çalışmada Kullanılan Hava Kalitesi İstasyonları (ÇŞİDB, 2022)

Koordinatları (Enlem,Boylam)		İstasyon Adı	Ölçüm Yapılan Kirleticiler	İli
38,740437	35,375453	Kayseri - OSB Hava Kalitesi İstasyonu	PM ₁₀ , SO ₂	Kayseri
38,717305	35,486887	Kayseri - Trafik Hava Kalitesi İstasyonu	PM ₁₀	Kayseri
38,714757	35,470575	Kayseri - Hürriyet Hava Kalitesi İstasyonu	PM ₁₀ , SO ₂	Kayseri



Şekil 5.1. Hava kalitesi ölçüm istasyonlarını gösteren 28.02.2023 tarihli Google Earth görüntüsü

Kayseri Şehrindeki hava kirliliği, 2008-2021 yılları arasındaki günlük ortalamalar referans alınarak aylık ortalamalar şeklinde incelenmiştir. Bu değerler incelenirken, 1986 tarihinde yayınlanan 19269 sayılı Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde verilen sınır değerler ile Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) insan ve

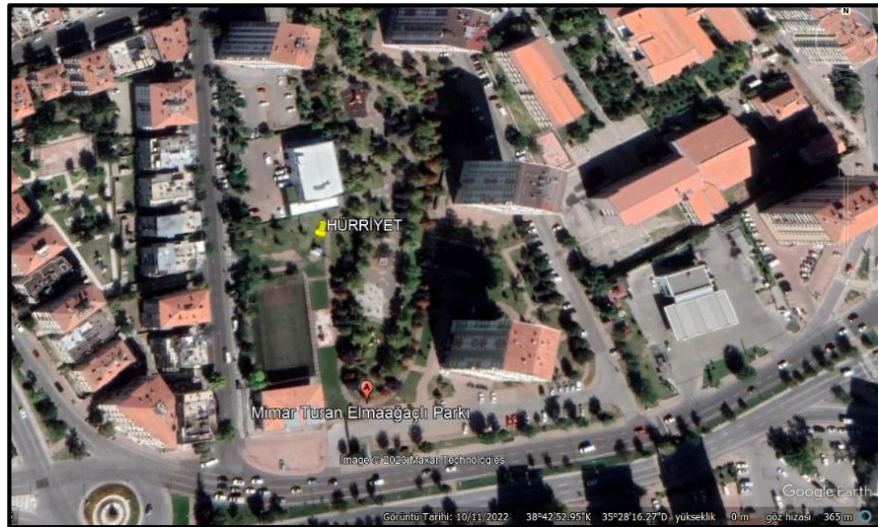
diğer canlı hayatının korunması için belirlediği sınır değerler göz önünde bulundurulmuştur.

Bu hususta Türkiye'nin ulusal mevzuatı çerçevesinde, PM₁₀ ve SO₂ için sınır değerleri 40 µg/m³ olarak belirlemiştir. WHO ise bu değerleri PM₁₀ ve SO₂ için 20 µg/m₃ olarak belirlemiştir (Kara Rapor, 2021).

5.1.1. Hürriyet İstasyonu Kirletici Konsantrasyon Değerleri

Tablo 5.2.Hürriyet İstasyonuna ait genel bilgiler

İstasyon Kodu	TR380131
Alan Türü	Kentsel
Kaynak Türü	Isınma
Ölçülen Parametreler	PM ₁₀ - PM _{2,5} – SO ₂ - NO _x - CO
Yükseklik	1052 metre
Adres	Hürriyet Mahallesi, Mimar Turhan Parkı
Enlem/Boylam	38,714757 – 35,470575
Genel Bilgi	
Şehir merkezine kurulmuş olan istasyon genel olarak ısınma ve trafikten kaynaklı kirlilik ölçümü yapmaktadır. İstasyon Mimar Turhan Parkı İçerisinde, anayola 110 metre uzaklıktadır.	



Şekil 5.2.Hürriyet istasyonuna ait uydu görüntüsü

Hürriyet istasyonunun kirletici konsantrasyon değerlerine bakıldığında özellikle PM₁₀ konsantrasyonunun yıl boyunca yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. 2008-2021 yılları arası ısınma dönemini kapsayan aylarda PM₁₀ değeri ortalaması 75,8 µg/m³'tür. Kayseri şehrindeki hava kirliliğinin özellikle kış aylarında yüksek olmasının ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. İlkbahar ve yaz dönemine denk gelen aylarda ise ortalama PM₁₀ değeri 52,9 µg/m³'tür. Fakat bu durum Dünya Sağlık Örgütü (20 µg/m³) ve ulusal sınır değerlerine (40 µg/m³) bakıldığında kirliliğin sadece ısınma döneminde değil bütün aylarda bu değerlerin üzerine çıktığı görülmektedir (Tablo 5.3).



Tablo 5.3.Hürriyet istasyonu aylık ve yıllık PM₁₀ (µg/m³) değerleri ve ortalamaları

PM ₁₀ (µg/m ³)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	ORT
2008	139,1	136,4	61,5	76,1	52,3	60,3	57,2	91,1	68,2	87,2	128,4	134,1	91,0
2009	115,4	63,6	84,5	59,4	40,7	51,9	32,3	22,0	52,2	101,2	129,5	84,7	69,8
2010	52,7	106,0	62,4	59,3	53,2	61,1	49,6	56,4	63,2	85,6	196,0	150,1	83,0
2011	102,2	108,2	70,8	60,4	53,3	42,0	53,1	43,3	54,4	64,3	111,5	175,9	78,3
2012	108,5	100,9	76,0	74,0	13,2	35,2	75,3	69,5	98,5	120,5	158,3	181,0	92,6
2013	0,0	85,8	92,0	77,3	60,2	51,8	42,2	44,7	41,5	75,4	116,3	127,3	67,9
2014	115,9	91,6	74,3	69,5	63,5	65,0	65,2	52,6	64,2	92,5	158,2	80,0	82,7
2015	116,8	121,3	99,8	76,3	70,2	32,5	44,4	51,4	79,2	91,8	153,3	157,4	91,2
2016	138,4	131,7	78,7	76,6	48,9	63,5	70,1	113,4	72,7	126,4	200,0	111,5	102,7
2017	105,9	108,3	60,4	51,5	48,0	36,9	48,4	50,6	82,9	80,7	90,3	160,5	77,0
2018	81,7	108,7	82,1	53,2	44,7	34,2	48,7	45,4	58,4	81,9	102,5	56,0	66,5
2019	29,9	88,0	62,9	44,5	48,5	28,8	23,1	29,0	34,0	55,9	120,3	78,5	53,6
2020	52,8	57,1	38,0	30,9	33,0	31,3	36,2	39,1	60,3	76,2	84,5	90,1	52,5
2021	76,31	65,0	45,7	53,5	14,3	17,3	37,2	43,2	34,6	58,5	110,7	87,4	53,6
ORT	88,25	98,1	70,6	61,6	46,0	45,7	48,8	53,7	61,7	85,6	132,8	122,1	75,9

SO₂ değerinde ise 2008-2021 yılları arasını kapsayan ısınma dönemi ortalaması 14,8 µg/m³ iken diğer ayların ortalaması 5,28 µg/m³'tür. Tüm ayların ortalamasına bakıldığında SO₂ değeri tüm aylarda limit değerlerin altında seyretmiştir.

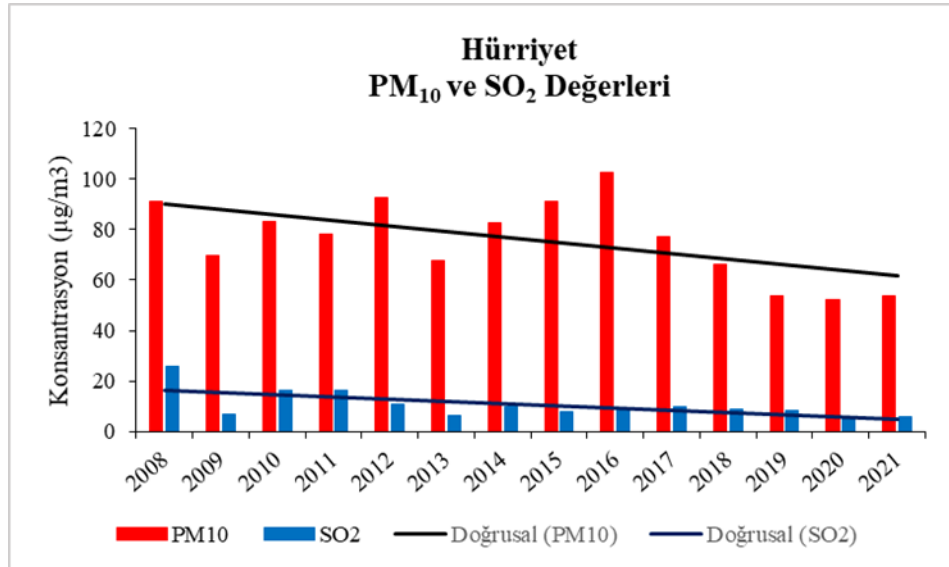
2008 yılında yıllık ortalama PM₁₀ değeri 91.0 µg/m³ iken 2021 yılında bu değer 53,6 µg/m³'e düşmüştür. SO₂ değeri ise 2008 yılında 25,6 µg/m³ iken 2021 yılına gelindiğinde 11,3 µg/m³'e düşmüştür. Bu düşmede ki temel sebep ise 2005'ten sonra doğalgaz kullanılmaya başlanması ve yaygınlaşması olarak açıklanabilir. PM₁₀ değerleri WHO ve ulusal değerlerin üzerinde kalırken SO₂ değeri sadece 2008 yılı ortalamasında bu sınırları aşmıştır (Tablo 5.4).

Tablo 5.4.Hürriyet istasyonu aylık ve yıllık SO₂ (µg/m³) değerleri ve ortalamaları

SO ₂ (µg/m ³)	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	ORT
2008	49,4	42,5	23,7	18,4	7,7	0,0	0,1	3,8	9,8	77,2	57,5	16,9	25,6
2009	28,7	15,8	6,3	10,4	1,1	0,0	0,5	14,5	2,0	0,3	2,9	1,9	7,09
2010	22,6	35,0	25,3	21,5	13,1	2,7	9,4	0,2	6,2	14,7	17,	26,5	16,3
2011	34,9	25,4	13,1	8,3	3,4	5,9	18,6	6,5	3,5	6,1	38,5	32,3	16,4
2012	15,2	14,7	7,8	1,1	0,0	9,1	6,2	10,4	12,1	15,9	21,8	16,6	10,9
2013	13,3	4,9	1,1	2,7	1,1	2,4	0,0	0,4	1,9	13,1	20,9	14,8	6,4
2014	17,6	10,4	11,5	15,9	5,6	5,7	5,7	4,5	5,7	11,9	14,5	10,0	9,9
2015	8,3	17,8	13,6	9,7	5,4	3,6	3,9	3,6	4,5	7,2	10,1	6,7	7,9
2016	11,0	9,1	3,7	4,8	3,9	3,5	3,7	4,4	4,8	12,7	22,3	21,3	8,8
2017	15,4	13,4	11,3	8,4	6,1	6,9	5,7	5,7	6,6	9,1	12,2	14,2	9,6
2018	11,4	13,1	5,4	4,2	3,7	3,3	6,0	4,7	6,6	11,0	16,0	19,0	8,7
2019	14,2	16,3	10,2	9,0	7,2	3,6	3,5	3,2	2,7	0,4	16,4	13,3	8,3
2020	10,1	11,1	4,0	0,0	0,0	0,2	1,2	3,0	3,1	4,7	7,3	11,3	4,7
2021	10,7	8,7	7,7	7,8	2,4	2,5	3,3	2,6	2,7	6,2	7,8	7,3	5,8
ORT	18,	17,0	10,3	8,7	4,3	3,5	4,8	4,8	5,2	13,6	19,0	15,2	10,4

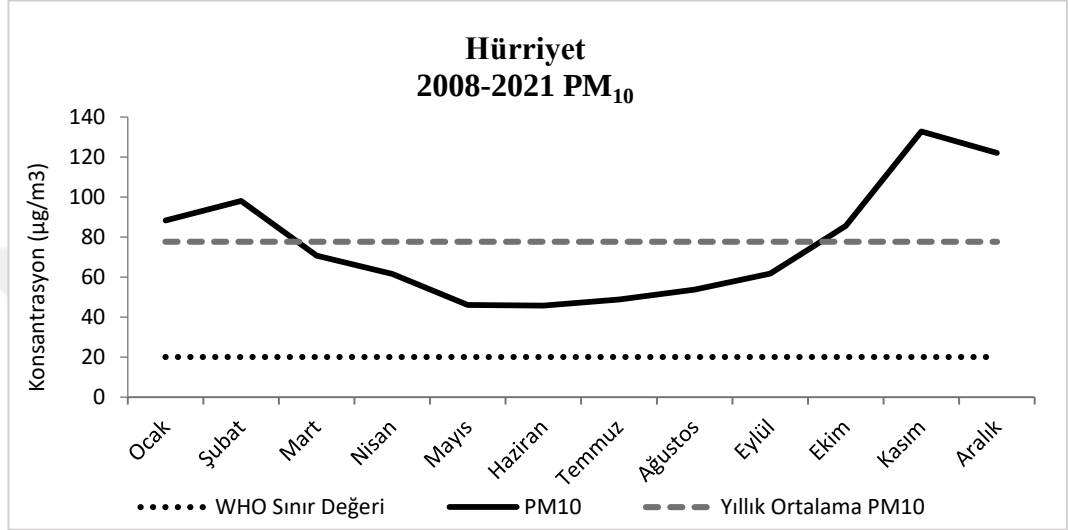
Hürriyet istasyonu PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin 2008-2021 yılları ortalama değerlerine baktığımızda PM₁₀ konsantrasyonu en yüksek değerine (102,7 µg/m³) 2016 yılında ulaşmıştır. En düşük değeri ise (52,5 µg/m³) 2020 yılında görmüştür.

SO₂ değeri ise en yüksek değerine 2008 yılında ulaşırken, en düşük değerine 2020 yılında ulaşmıştır. Genel olarak bakıldığında ise 2008-2021 yılı aralığında PM₁₀ ve SO₂ değerinin günümüze yaklaştıkça bir azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.3).

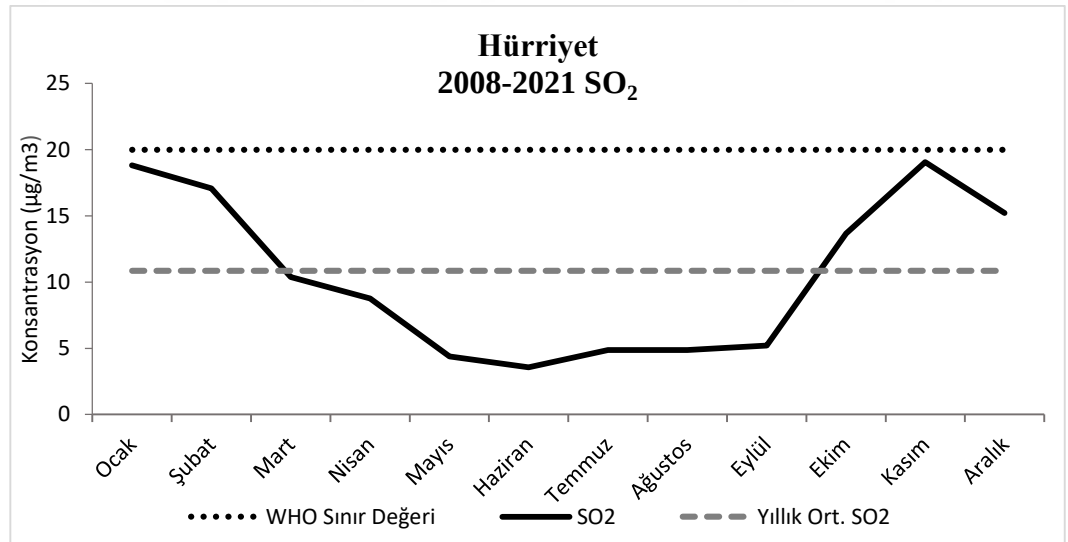


Şekil 5.3.Hürriyet istasyonu PM₁₀ ve SO₂ değerleri 2008-2021 arası değişimi

Hürriyet istasyonunun aylık PM₁₀ değerleri ise yıllık ortalamayı (75,9 µg/m³) sadece ocak, şubat, eylül, ekim ve kasım aylarında, yani fosil yakıt kullanımının arttığı ısınma döneminde sınırı aştığı görülmektedir. Buna karşın hiçbir ayda WHO sınır değerinin (20 µg/m³) altına düşülmemiştir (Şekil 5.4). SO₂ değerleri ise yine PM₁₀ gibi kış aylarında yükselirken yaz aylarına gelindiğinde değerin düştüğü görülmektedir ve hiçbir ayda WHO sınır değerinin üzerine çıkmamıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.4.Hürriyet istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama PM₁₀ değerleri

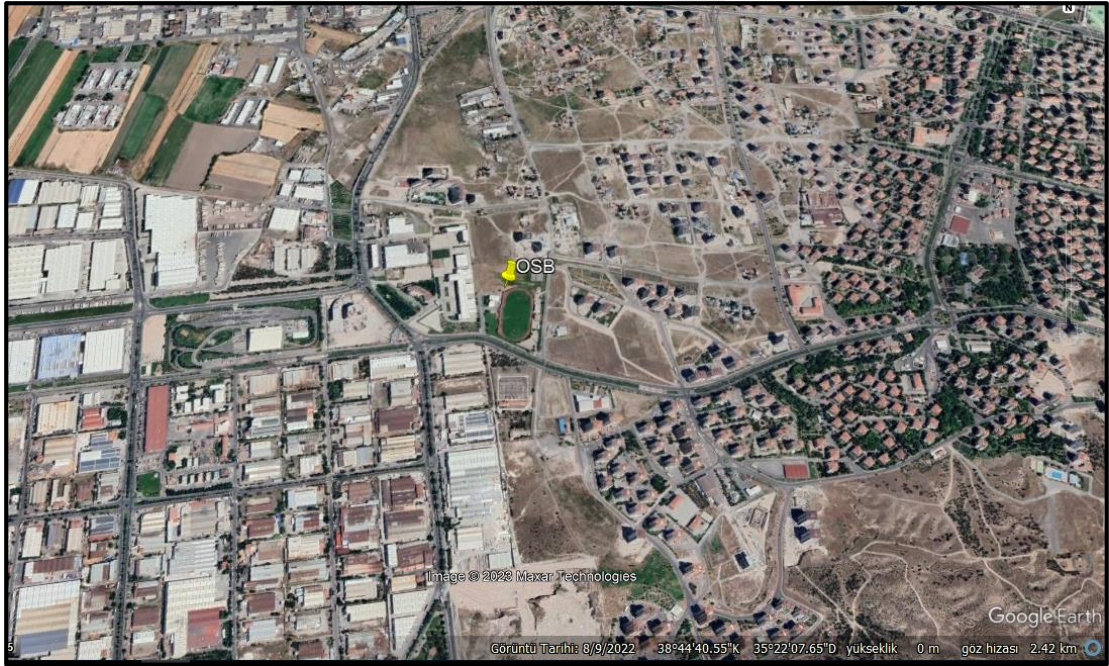


Şekil 5.5.Hürriyet istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama SO₂ değerleri

5.1.2. OSB İstasyonu Kirletici Konsantrasyon Değerleri

Tablo 5.5. OSB İstasyonuna ait genel bilgiler

İstasyon Kodu	TR380321
Alan Türü	Kentsel
Kaynak Türü	Sanayi
Ölçülen Parametreler	PM10 - PM2,5 - SO2 - NOx O3 – CO - PAH
Yükseklik	1051 metre
Adres	Organize Sanayi Bölgesi Dispanser yanı
Enlem/Boylam	38,740437 35,375453
Genel Bilgi	
İstasyon organize sanayi bölgesinin kuzey doğusuna konumlandırılmıştır.	



Şekil 5.6.OSB istasyonuna ait uydu görüntüsü

OSB istasyonu kirletici konsantrasyon değerlerine bakıldığında 2008-2021 yılları arası ısınma dönemini kapsayan aylarda PM₁₀ değeri ortalaması 71,41 µg/m³ iken diğer aylarda (nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos) bu değer 49,60 µg/m³'e düşmüştür. Fakat hem ısınma döneminde hem de kirliliğin azaldığı ilkbahar ve yaz

aylarında PM₁₀ değerin, ulusal sınır değerleri ve WHO sınır değerlerini aştığı görülmektedir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6.OSB istasyonu aylık ve yıllık PM₁₀ (µg/m³) değerleri ve ortalamaları

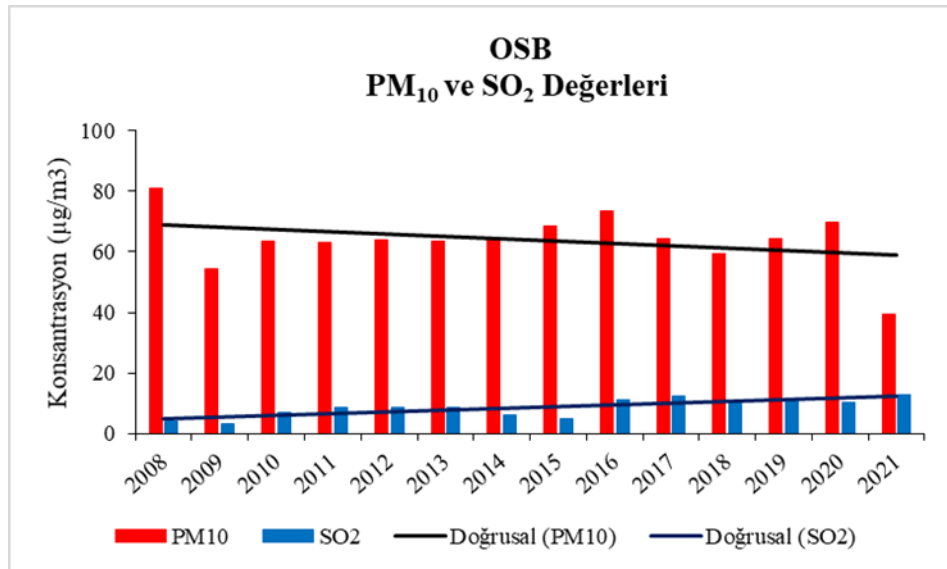
PM ₁₀ µg/m ³	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	ORT
2008	127,6	148,2	100,3	75,2	49,1	26,1	10,9	88,6	60,4	72,1	121,0	90,4	80,8
2009	68,4	57,7	35,7	35,8	41,0	47,5	38,1	31,1	52,4	113,5	55,4	73,1	54,1
2010	58,8	71,6	35,6	32,7	39,4	52,2	45,1	54,6	58,6	61,1	140,7	109,4	63,3
2011	68,4	128,9	50,6	43,6	22,5	25,2	44,7	37,7	52,9	66,1	83,8	132,3	63,1
2012	55,2	48,6	47,1	73,9	43,8	47,4	57,8	56,7	74,5	83,2	94,7	86,4	64,1
2013	96,6	67,6	76,6	68,5	53,4	43,4	34,2	42,3	42,2	71,1	133,8	34,0	63,6
2014	0,0	38,4	68,4	65,6	56,8	72,2	73,5	70,3	63,5	65,7	121,5	78,9	64,6
2015	86,8	43,9	58,1	55,0	56,1	44,3	51,7	61,9	108,8	19,6	117,5	117,2	68,4
2016	94,6	84,7	69,5	66,9	43,1	57,7	39,6	56,7	56,4	105,0	140,0	69,7	73,7
2017	55,4	65,9	54,6	57,6	40,3	38,2	47,4	48,2	90,2	82,7	94,9	97,5	64,4
2018	54,5	73,2	81,0	55,4	46,4	37,9	47,5	66,6	49,1	79,2	72,3	47,5	59,2
2019	64,5	47,2	40,6	38,4	49,7	36,3	43,9	47,2	53,4	83,9	160,9	107,0	64,4
2020	59,8	68,1	59,5	37,6	44,1	41,1	53,3	52,8	90,3	106,1	109,3	115,7	69,8
2021	69,1	42,6	36,5	42,3	11,4	13,2	29,2	28,4	25,8	46,3	81,6	48,1	39,5
ORT	68,5	70,5	58,2	53,5	42,6	41,6	44,1	53,1	62,7	75,4	109,1	86,2	63,8

OSB istasyonu SO₂ değerinde ise 2008-2021 yılları arası ısınma dönemi ortalaması 10,67 µg/m³'tür. Diğer aylarda ise ortalama SO₂ değeri 4,92 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. Özellikle ısınma döneminde ve 2008-2021 yılları arası ortalama değerlerde günümüze yaklaştıkça bir artış söz konusu olsa da belirtilen sınır değerin üzerine çıkmamıştır (Tablo 5.7). Organize sanayi bölgesinde özellikle makine ve plastik sanayisine bağlı fabrikaların bacalarından çıkan dumanlar, SO₂ miktarını artırarak organize sanayi bölgesi çevresinde hava kirliliğine neden olmaktadır.

Tablo 5.7.OSB istasyonu aylık ve yıllık SO₂ (µg/m³) değerleri ve ortalamaları

SO ₂ µg/m ³	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	ORT
2008	15,2	8,6	5,4	0,9	1,8	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	2,0	13,5	4,0
2009	8,0	5,0	2,2	1,5	1,1	0,8	0,7	0,7	1,7	9,5	3,4	5,0	3,3
2010	11,1	9,5	3,8	3,4	3,3	3,1	2,4	4,3	3,2	4,6	16,0	16,6	6,8
2011	15,6	6,3	9,6	7,7	3,2	2,4	3,2	2,8	4,1	9,2	12,0	25,8	8,5
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	12,5	5,8	19,6	21,5	18,3	16,4	8,5
2013	18,3	13,3	6,2	6,2	6,8	5,0	3,9	4,9	7,6	12,1	11,9	7,8	8,7
2014	3,2	7,0	8,0	7,7	4,7	4,0	4,4	5,3	5,7	7,3	10,4	7,5	6,3
2015	7,0	6,5	2,8	1,4	3,6	2,5	4,4	4,5	7,2	7,2	8,3	5,7	5,1
2016	4,1	12,1	13,0	13,2	9,0	14,3	9,0	6,8	8,5	16,6	19,3	9,3	11,3
2017	9,6	9,7	6,3	6,2	3,5	3,8	7,1	8,3	17,1	26,2	24,9	25,7	12,4
2018	12,1	13,1	5,7	3,9	4,5	2,4	4,8	7,1	11,3	19,9	20,2	14,6	10,0
2019	13,3	9,8	8,4	5,6	5,3	1,5	3,4	3,0	8,2	19,3	34,4	24,1	11,4
2020	8,3	8,9	6,1	4,5	1,4	3,9	4,1	3,1	8,2	24,4	19,3	29,5	10,1
2021	15,9	11,0	5,6	3,8	1,8	3,4	4,3	7,9	9,4	33,0	29,2	28,1	12,8
ORT	10,1	8,6	5,9	4,7	3,6	4,0	4,6	4,6	8,0	15,1	16,4	16,4	8,5

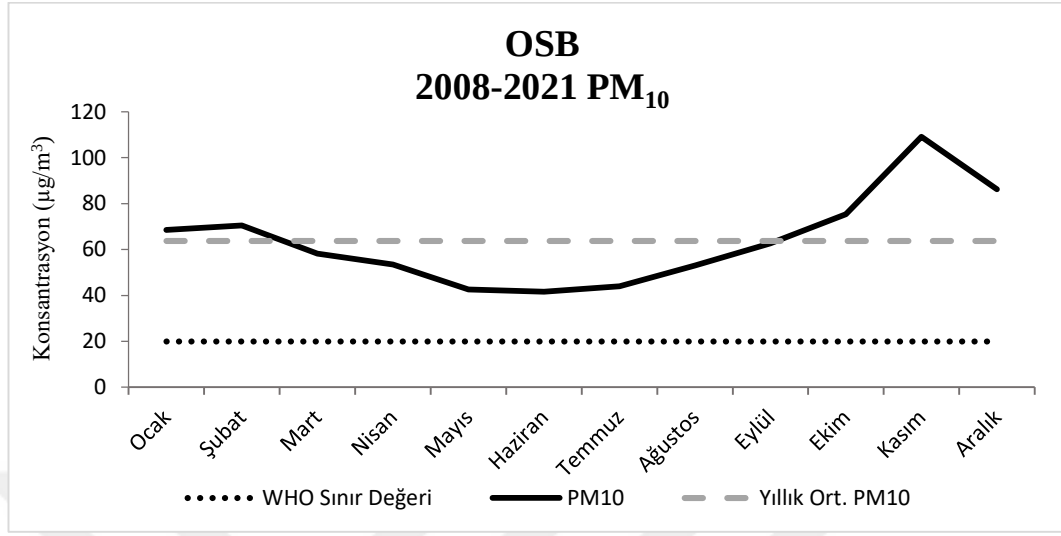
2008 yılında 4,0 µg/m³ olan SO₂ değeri 2021 yılına gelindiğinde 12,8 µg/m³'e çıktığı tespit edilmiş olup günümüze yaklaştıkça bir artma eğiliminde olduğu görülmektedir. SO₂ değeri en yüksek değerine ise 12,8 µg/m³ ile 2021 yılında ulaşmıştır (Şekil 5.7).



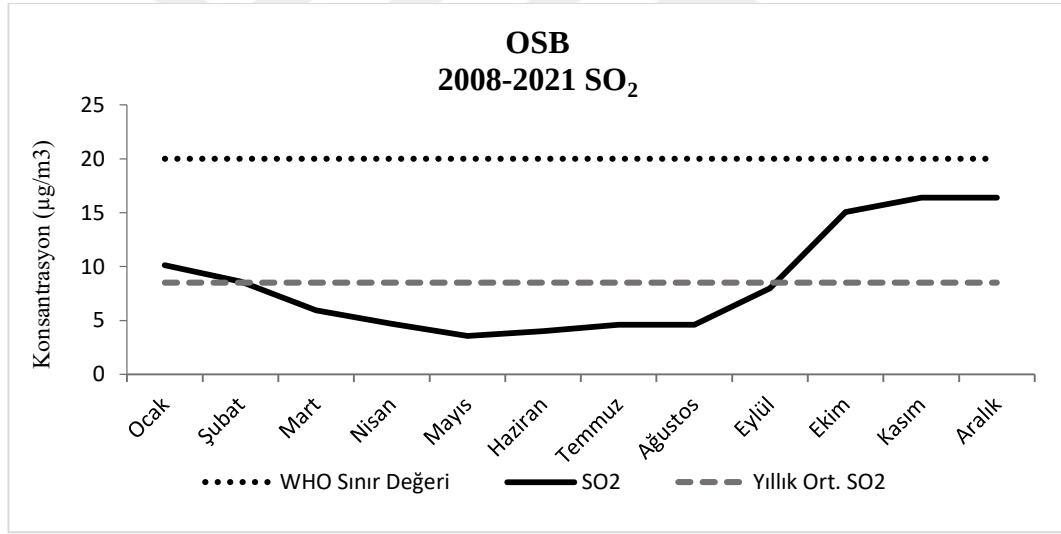
Şekil 5.7. OSB istasyonu PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin 2008-2021 yılları arası değişimi

Aylık değerlere baktığımızda Hürriyet istasyonunda olduğu gibi ısınma döneminde yıllık ortalama değerleri (PM₁₀ 63,8 µg/m³; SO₂ 8,5 µg/m³) aşmıştır. SO₂

değeri WHO sınır değerlerini hiçbir ayda aşmazken PM₁₀ değerleri tüm aylarda bu sınırın üzerinde kalmıştır (Şekil 5.8, 5.9).



Şekil 5.8.OSB istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama PM₁₀ değerleri



Şekil 5.9.OSB istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama SO₂ değerleri

5.1.3. Trafik İstasyonu Kirletici Konsantrasyon Değerleri

Tablo 5.8.Trafik İstasyonuna ait genel bilgiler

İstasyon Kodu	TR380431
Alan Türü	Kentsel
Kaynak Türü	Trafik
Ölçülen Parametreler	PM10- PM2.5-NO _x -CO-O ₃
Yükseklik	1062 metre
Adres	İnönü Bulvarı, Hatiroğlu Park Alanı Tacettin Veli Mah.İnönü Bulvarı. Melikgazi KAYSERİ
Enlem/Boylam	38,717305 - 35,486887
Genel Bilgi	
Hatiroğlu parkı alanı kenarında anayolun yanına konumlandırılmıştır. İstasyon anayola 3 metre mesafede olup, şehrin trafik ve yaya yoğunluğunun en yüksek olduğu yerlerin başında gelmektedir. İstasyonun güneyinde bir park, güney batısında ise bir cami bulunmaktadır. Ayrıca istasyonun Kuzey batı ve doğusunda yüksek katlı binalar (genellikle 6-8 katlı) bulunmaktadır. İstasyonun güney tarafında imar çalışmaları kapsamında 1-2 katlı binalar yıkılarak yüksek katlı binalar yapılmaya başlanılmış, hali hazırdaki kullanımlar 1-2 katlı binalarda katı yakıt kullanımı söz konusudur.	



Şekil 5.10. Trafik istasyonuna ait uydü görüntüsü



Şekil 5.11. Trafik Hava Kalitesi İstasyonu

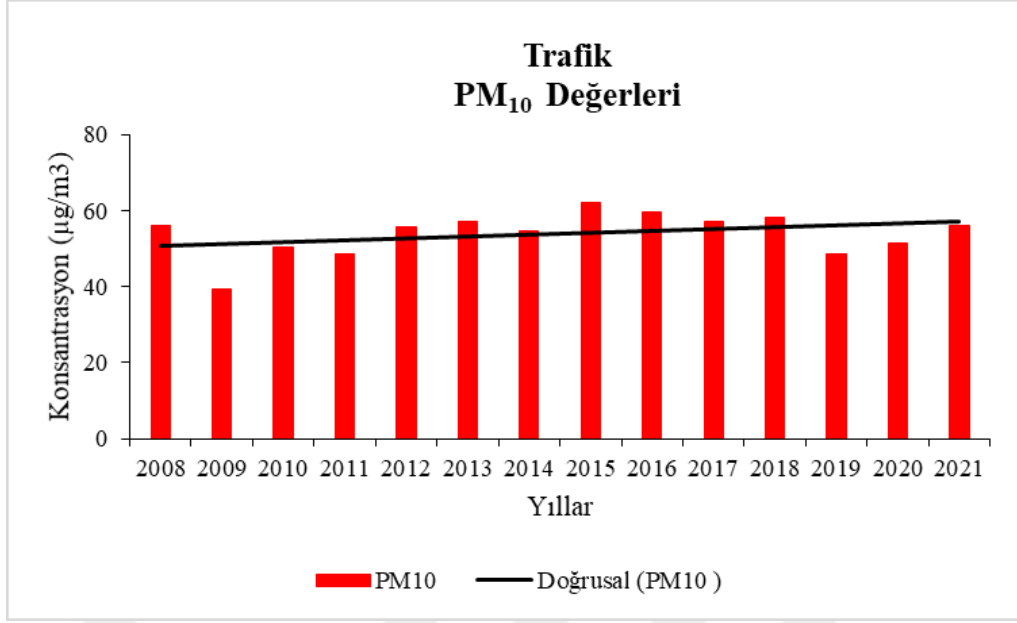
Trafik istasyonu 2008-2021 yılları arası PM_{10} değerleri Hürriyet ve OSB istasyonunda olduğu gibi yüksek düzeyde seyretmektedir. Özellikle ısınma döneminde PM_{10} ortalaması $68,1 \mu g/m^3$ iken diğer aylarda $37,4 \mu g/m^3$ 'tür. Bu değerler Hürriyet

ve OSB istasyonu değerleriyle karşılaştırıldığında daha düşük çıkmasına rağmen yine de özellikle ısınma dönemi ortalaması belirtilen sınır değerlerin üzerinde kalmıştır. İlkbahar ve yaz döneminde ise ulusal sınır değerinin altında kalırken WHO'nun belirlediği sınır değerini aşmıştır (Tablo 5.9).

Tablo 5.9.Trafik istasyonu aylık ve yıllık PM₁₀ değerleri ve ortalamaları

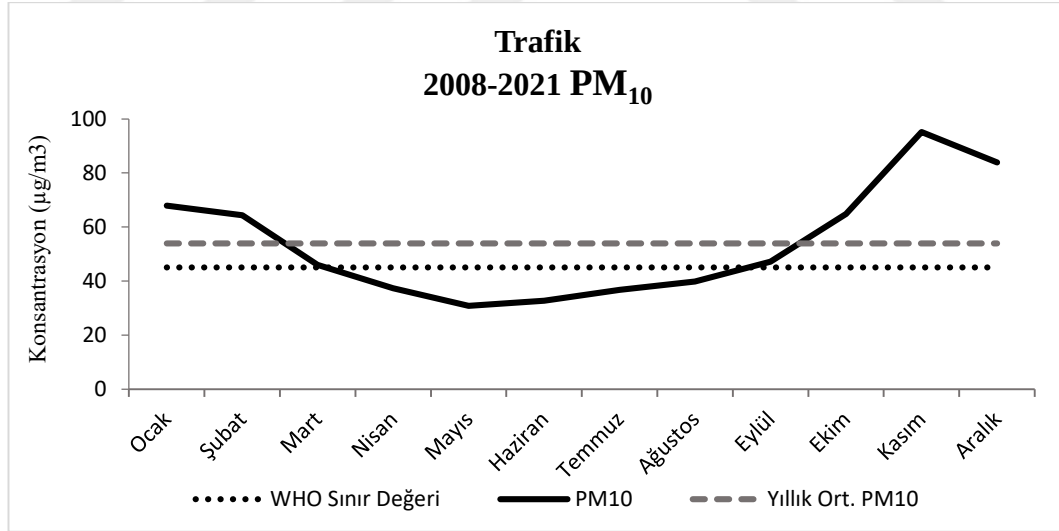
PM ₁₀	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	ORT
2008	145,0	115,1	60,8	37,5	1,0	23,1	26,4	48,9	29,4	42,8	61,9	78,4	55,9
2009	69,2	26,8	7,0	19,5	30,6	31,6	24,5	29,4	12,5	71,7	91,0	56,5	39,2
2010	0,7	61,6	36,6	16,8	36,8	37,3	30,6	43,0	41,5	50,8	136,5	111,4	50,3
2011	77,1	72,6	47,3	34,7	31,4	23,9	35,7	28,2	37,4	22,5	70,3	101,4	48,5
2012	63,9	71,7	42,4	43,7	20,9	27,9	40,3	39,5	62,6	70,3	87,2	96,9	55,6
2013	98,2	66,0	71,9	55,2	24,4	30,5	28,2	36,8	47,1	67,9	118,7	40,8	57,2
2014	0,0	32,7	56,0	49,7	41,7	44,9	47,9	54,0	57,2	60,9	113,3	96,6	54,6
2015	97,5	57,5	38,2	41,1	48,0	43,4	41,7	44,5	72,1	55,6	92,1	112,7	62,0
2016	74,8	77,4	45,3	41,4	35,7	42,3	27,8	44,1	44,4	95,8	119,5	67,9	59,7
2017	74,5	82,3	44,3	36,0	32,4	28,7	37,6	40,2	70,1	67,1	82,5	91,4	57,3
2018	51,1	72,3	63,9	39,7	38,4	43,9	66,2	34,8	53,9	111,5	71,8	50,1	58,1
2019	73,4	49,4	33,3	28,9	40,4	27,4	31,9	33,8	34,3	48,6	103,4	77,4	48,5
2020	55,9	59,2	45,5	24,5	33,0	32,2	35,2	35,3	58,7	73,3	74,0	92,5	51,6
2021	70,1	57,2	51,3	53,9	16,7	20,6	40,2	45,1	38,8	68,3	110,1	101,4	56,1
ORT	67,9	64,4	46,0	37,3	30,8	32,7	36,7	39,8	47,1	64,8	95,2	84,0	53,9

Trafik istasyonu 2008-2021 yılları arası ortalama değerlerine baktığımızda 2008 yılında 55,9 µg/m³ olan PM₁₀ değeri 2021 yılında 56,1 µg/m³ değerine çıkması değerlerde bir artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. PM₁₀ değeri en yüksek değere (62,0 µg/m³) 2015 yılında, en düşük değere ise (39,2 µg/m³) 2009 yılında ulaşmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12.Trafik istasyonu PM₁₀ değerlerinin 2008-2021 yılları arası değişimi

Aylık değerlerde ise ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında yıllık ortalamanın ve WHO'nun belirlediği sınır değerlerinin üzerinde kalırken havaların ısınmaya başladığı mart, nisan, mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında bu sınırların altında kalmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13.Trafik istasyonu 2008-2021 yılları arası aylık ortalama PM₁₀ değerleri

5.2. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Coğrafi Koşullarla İlişkisi

5.2.1. İklim Koşullarıyla İlişkisi

Klimatik şartlar, hava kirliliğini olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir. Eğer iklimatik şartlar elverişli değilse bu durum kirli havanın dağılmasını önler ve

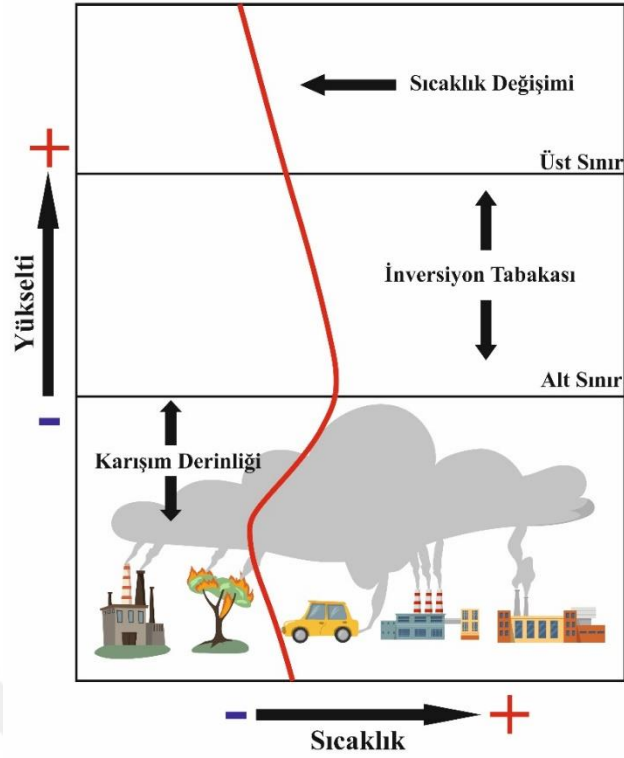
atmosferdeki kirliliğin daha da artmasına neden olur. Şartlar olumlu olduğunda ise kirli havanın şehir üzerinde birikimi engellenir ve dağılır. Dikey hava akımlarının (rüzgar yönü ve hızı) yeterli olmadığı şehir merkezlerinde atmosferdeki kirleticilerin dağılmasını engelleyen meteorolojik unsurlar kirli havanın şehrin içerisinde hapsolmesine, özellikle kış aylarında hava kirliliğine neden olmaktadır. (Cheng vd. 2007). Hava kirliliğinde etkili olan en önemli meteorolojik faktörler sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve basınçtır (Gorai vd. 2015).

5.2.1.1. Sıcaklık

Hava sıcaklığı konutlarda yanan yakıtların yanma sürelerini ve derecelerini etkileyen bir faktördür. Havanın günlük ortalama sıcaklığı 18°C'nin altına düştüğü zaman ısıtıcılar yakılmaktadır. Bu zaman dilimi bulunduğumuz yarım küre itibarıyla bizim ülkemizde ekim ve kasım aylarına karşılık gelmektedir. Bu yüzden 18°C kritik bir sıcaklık değeridir. Hava sıcaklığı bu değerin altına düştüğünde kısa aralıklarla uzun süre devam eder. Bu zaman dilimine ise ısınma sezonu adı verilir.

Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonlarında ölçülen PM₁₀ ve SO₂ değerleri ile sıcaklık arasındaki ilişkiye baktığımızda her üç istasyonda da hava sıcaklıklarının düştüğü ve ısınma ihtiyacının başladığı ekim ayında PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin yükselmeye başladığı, nisan ayının başlangıcında havaların ısınmasıyla PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Sıcaklık faktörünün hava kirliliği üzerindeki en önemli etkisi inversiyon (Sıcaklık Terselmesi) olayıdır. Sıcaklık normal koşullarda yerden yükseldikçe her 100 metrede 0.5 ile 1.0 °C azalır. Bu durumun tam tersi olduğu durumlarda yani sıcaklığın yükseldikçe artış göstermesine sıcaklık terselmesi (temperature of inversion) ya da inversiyon olayı denilmektedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14.İnversiyon (sıcaklık terselmesi) olayının şematik görünümü (Kırımhan, 2006’ya göre yeniden düzenlenmiştir).

Türkiye’de 3 günlük (72 saat) sayısal hava tahminlerinden veriler alınarak (sıcaklık ve rüzgar hızı) analizler yapılmaktadır. İnversiyon tahmini algoritması, dikey sıcaklık artışının yani inversiyon tabakasının varlığı ve miktarı, bu tabakanın yerden yüksekliği ve kalınlığı ile bu tabaka içindeki minimum rüzgar hızı dikkate alınarak hazırlanmıştır. Dikkate alınan tüm parametreler için sınır değerler (HKKY’de belirtilen Kritik Meteorolojik Şartlar; 700 m’nin altında en az 2 °C sıcaklık artışı ve 12 saatlik rüzgar hızı ortalamasının 1,5 m/s’den daha düşük olması) belirlenmiş ve bu kapsamda puanlar hesaplanmıştır.

Enversiyon tahmini, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından 12 GMT’de üretilmiş olan tahmin verisi ile, 00 GMT (t+12) saatinden itibaren 3’er saatlik periyotlar halinde, 3 günlük (72 saat) periyodu kapsamaktadır ve en şiddetli inversiyon 100 puan üzerinden değerlendirilerek, aşağıda verilen sınıflandırma yapılmıştır (Şekil 5.15).

İnversiyon Şiddeti	Yok	Zayıf	Orta	Kuvvetli
100 üzerinden	0-20	21-50	51-80	81-100

Şekil 5.15. Kentsel Hava Kirliliği Riski için Enversiyon Şiddeti Tahmini (MGM, 2023)

Çalışma Sahasında yapılan 3 günlük inversiyon tahminlerine bakıldığında 10.04.2023 tarihinde saat 06.00'da orta derecede inversiyon olayı beklenirken gün içerisindeki diğer saat dilimlerinde inversiyon olayı beklenmemektedir. 11.04.2023 tarihine bakıldığında ise saat 00.00, 03.00 ve 06.00 saatleri arasında orta dereceli inversiyon olayı beklenmektedir. 11.04.2023 tarihinde ise yine saat 00.00, 03.00 ve 06.00 saatlerinde orta (55) derecede inversiyon olayı beklenmektedir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10.Çalışma sahasında yapılan 3 günlük inversiyon tahminleri

10.04.2023							
Tarih							
Yerel Saat	03:00	06:00	09:00	15:00	18:00	21:00	
Tahmin	0	50	0	0	0	0	
11.04.2023							
Tarih							
Yerel Saat	00:00	03:00	06:00	09:00	15:00	18:00	21:00
Tahmin	50	50	50	0	0	0	0
12.04.2023							
Tarih							
Yerel Saat	00:00	03:00	06:00	09:00	15:00	18:00	21:00
Tahmin	55	55	55	0	0	0	0

Meydana gelen inversiyon olaylarının çoğu havanın açık, bulutların olmadığı veya çok az olduğu durumlarda yer yüzeyinin hızla soğuması nedeniyle, gece ve sabahın erken saatlerinde oluşmaktadır. Bu nedenle öğle vaktinde yer yüzeyinin ısınmasıyla inversiyon tabakası ortadan kalkmaktadır (Şekil 5.16; 5.17; 5.18).



Şekil 5.16. Şehir üzerinde oluşan inversiyon olayı. Erkilet Camiikebir Mahallesi



Şekil 5.17. Şehir üzerinde oluşan inversiyon olayı. Ali Dağı

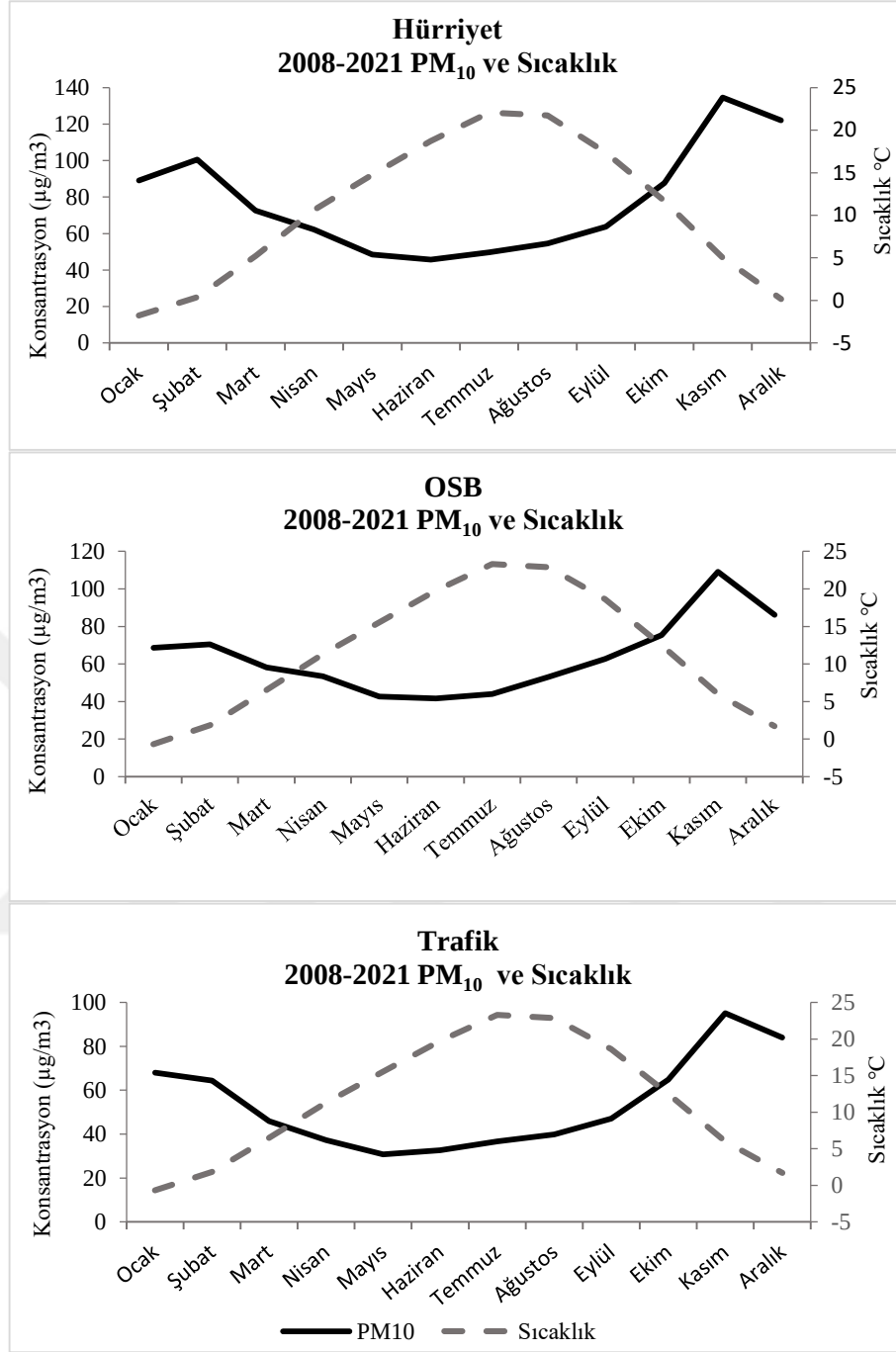


Şekil 5.18. Şehir üzerinde oluşan inversiyon olayı. Erkilet Camiikebir Mahallesi

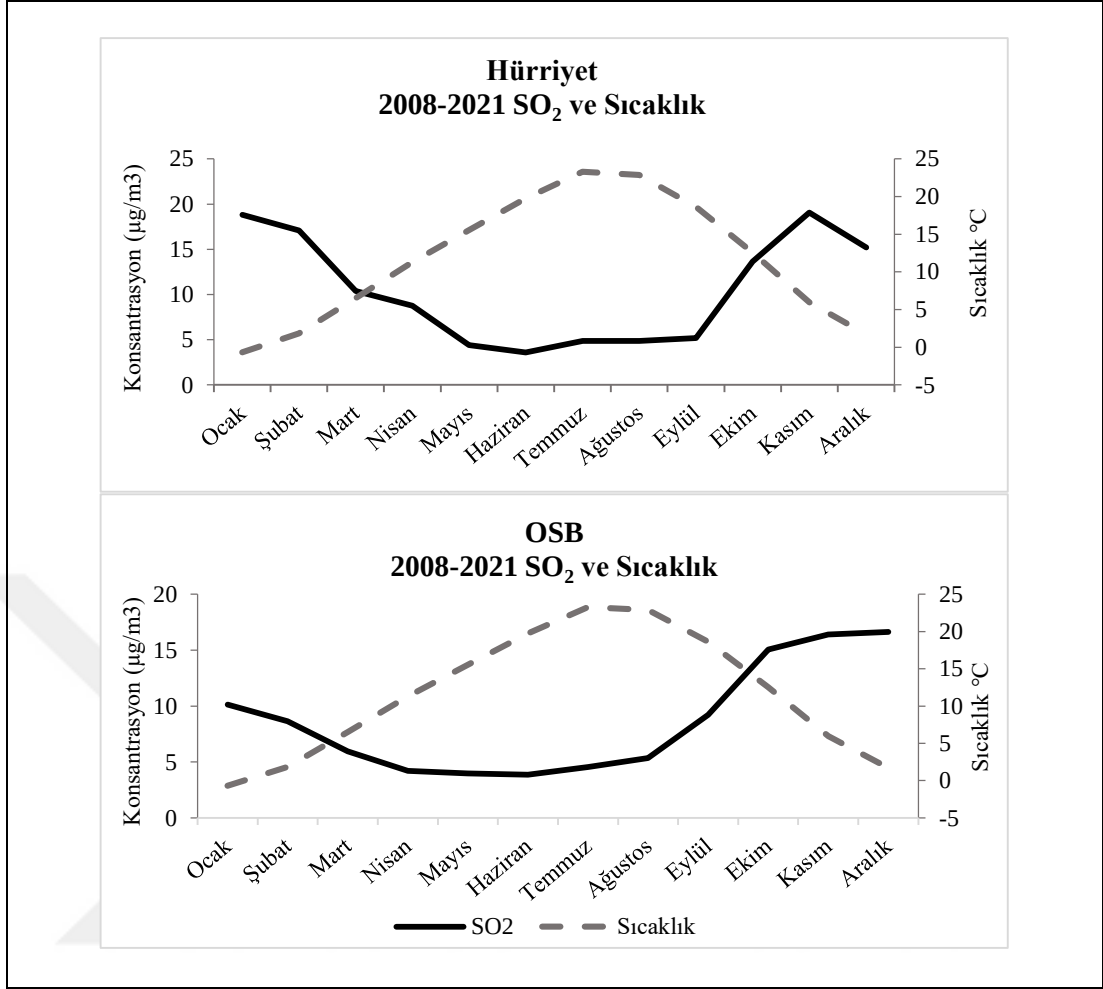
Çalışma sahasında sıcaklık ve kirleticiler arasındaki ilişkiye bakıldığında; Hürriyet istasyonunda en yüksek PM_{10} değerine ($132,8 \mu g/m^3$) sıcaklık ortalaması $6.0^\circ C$ olduğu kasım ayında ulaşılırken, en düşük PM_{10} değerine ($45,7$) sıcaklık ortalaması $19.8^\circ C$ olan haziran ayında ulaşılmıştır. SO_2 değerlerinde ise en yüksek değere ($19.0 \mu g/m^3$) kasım ayında; en düşük değere ($3.57 \mu g/m^3$) haziran ayında ($19.76^\circ C$) ulaşılmıştır. OSB istasyonunda, en yüksek PM_{10} değeri ($109,0 \mu g/m^3$) Hürriyet istasyonunda olduğu gibi yine kasım ($5.9^\circ C$) ayında görülürken, en düşük PM_{10} değeri ($41.62 \mu g/m^3$) haziran ($19.7^\circ C$) ayında görülmüştür. SO_2 en yüksek

değerine ($16.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aralık ayında (1.7°C) ulaşırken en düşük değerine ($3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 19.7°C ortalama sıcaklığa sahip haziran ayında ulaşmıştır. Trafik istasyonunda en yüksek PM_{10} değerine ($95.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ortalama sıcaklığı 5.9°C olan kasım ayında ulaşılırken en düşük değerlere ($30.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 15.5°C ortalama sıcaklığa sahip olan mayıs ayında ulaşılmıştır (Şekil 5.19- 5.20).





Şekil 5.19.Hürriyet, OSB ve Trafik İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM₁₀ ve sıcaklık grafikleri



Şekil 5.20.Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO₂ ve sıcaklık grafikleri

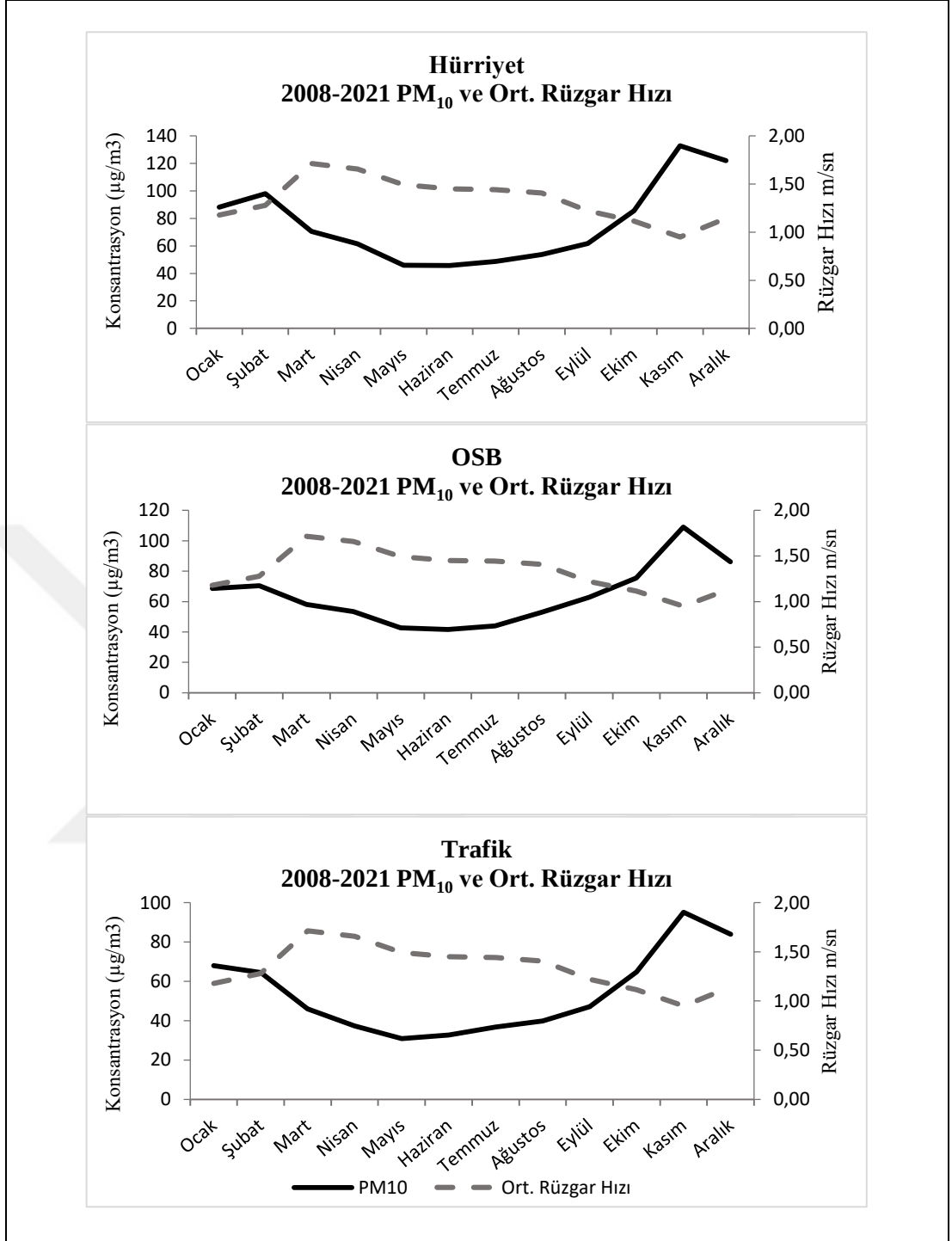
5.2.1.2. Rüzgâr Hızı ve Hakim Rüzgâr Yönü

Hava kirliliğinin taşınması, difüzyonu ve seyrelmesinde en önemli etkenlerden birisi rüzgardır. Rüzgar havanın yatay doğrultudaki kütleli hareketi olarak tanımlanabilir.

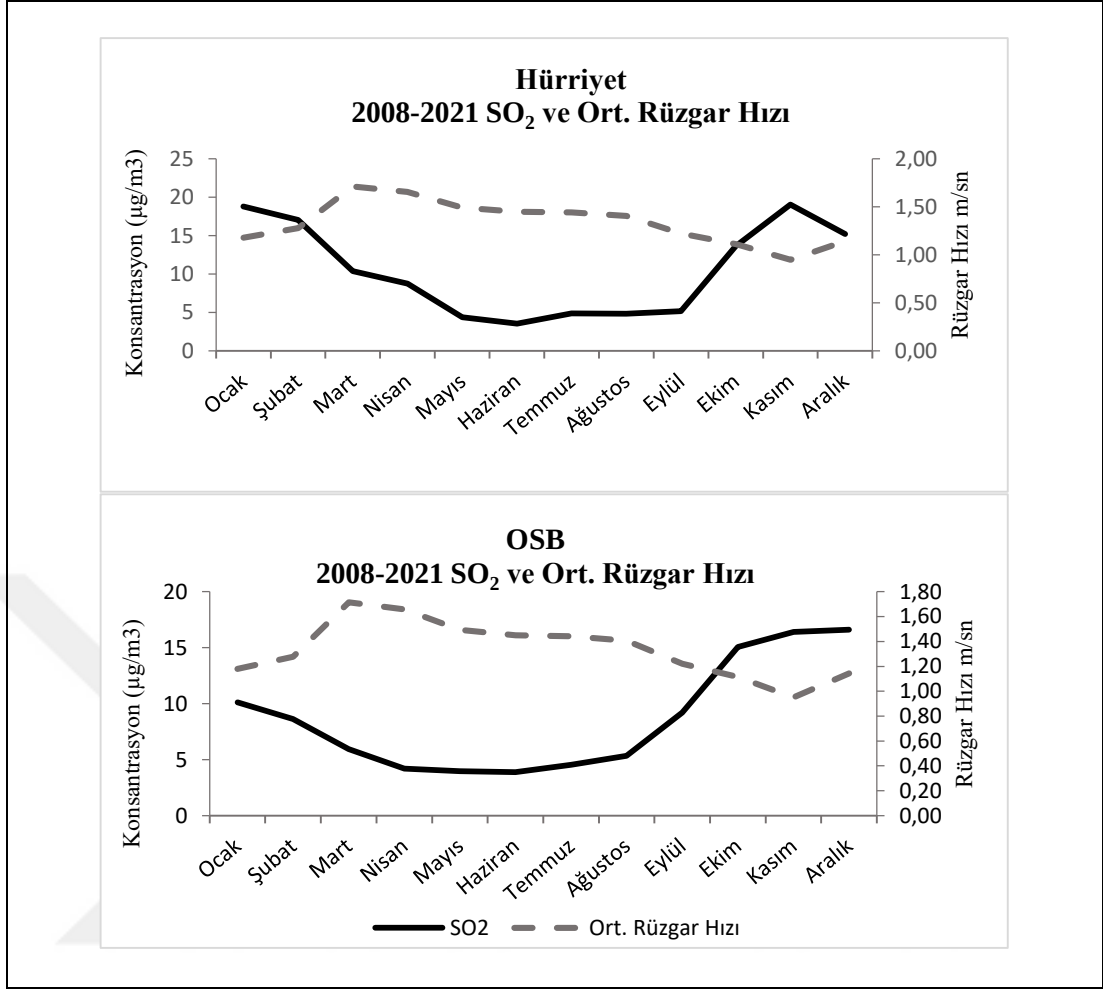
Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonlarındaki PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin rüzgar hızı ile ilişkisine bakıldığında her üç istasyonda da rüzgar hızı arttıkça kirlenici madde konsantrasyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Hürriyet istasyonunda rüzgar hızı ortalamasının en düşük (0,95 m/sn) olduğu kasım ayında, PM₁₀ konsantrasyonu en yüksek (132,8 µg/m³) seviyelere ulaşmıştır. Rüzgar hızının en yüksek olduğu mart ayında ise (1,71 m/sn) PM₁₀ değeri 70,6 µg/m³ düzeyindedir. SO₂ değerlerine baktığımızda ise yine aynı şekilde rüzgar hızının en düşük (0,95 m/sn) değerleri gösterdiği kasım ayında SO₂ konsantrasyonu en yüksek (19,0 µg/m³) düzeye ulaşmıştır. OSB istasyonunda ise PM₁₀ (109,0 µg/m³) ve SO₂ (16,3 µg/m³) değerlerinin

en yüksek değerlere ulaştığı ay ise yine kasım ayıdır. Trafik istasyonunda en düşük rüzgar hızının tespit edildiği kasım ayında, PM₁₀ değeri 95,1 µg/m³ iken en yüksek rüzgar hızının görüldüğü nisan ayında (1.66 m/sn) PM₁₀ miktarı 37,3 µg/m³ tür (Şekil 5.21 - 5.22).

Çalışma sahasının hakim rüzgar yönünü saptamak amacıyla Rubinstein formülü kullanılmıştır. Bulgulara göre Kayseri şehri yıl içerisinde güney sektörlü iki hakim rüzgar yönüne maruz kaldığı belirlenmiştir. Bunlar G13,1°B yönünden gelen rüzgarlar %31,10 frekans değerine, G19°D yönünden gelen rüzgarlar ise %30.22 frekans değerine sahiptir. Hakim rüzgar yönünün güney sektörlü olmasının nedeni Erciyes Dağı'nın Kayseri'nin güneyinde konumlanması ve yıl içerisinde yüksek basınç alanı oluşturmasıdır. Hakim rüzgar yönüne göre şehir içinde esen rüzgarlar kirliliğin başka alanlara kanalizasyon olmasına ve dağılmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.21.Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM₁₀ ve rüzgar hızı grafikleri

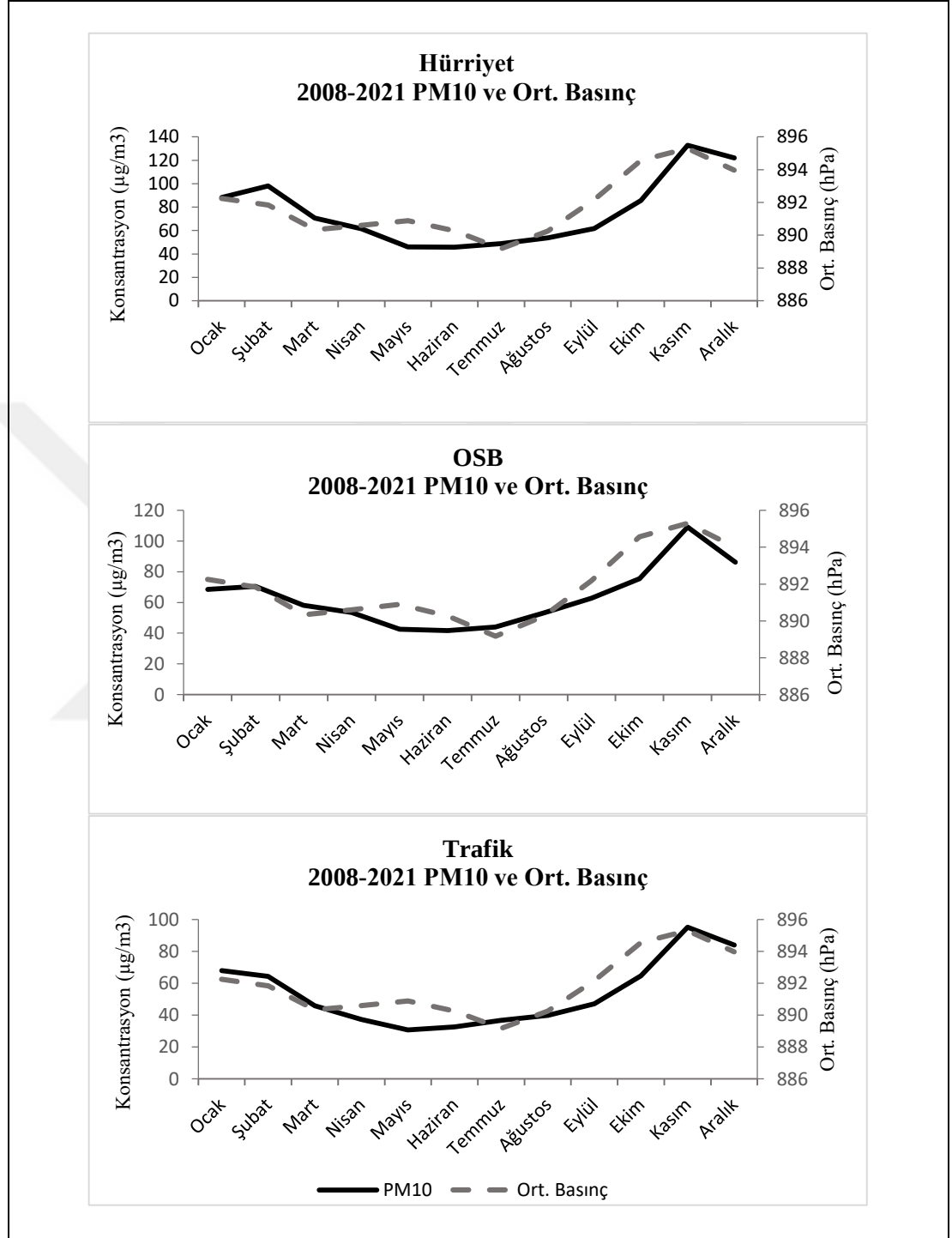


Şekil 5.22.Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO₂ ve rüzgar hızı değişim grafikleri

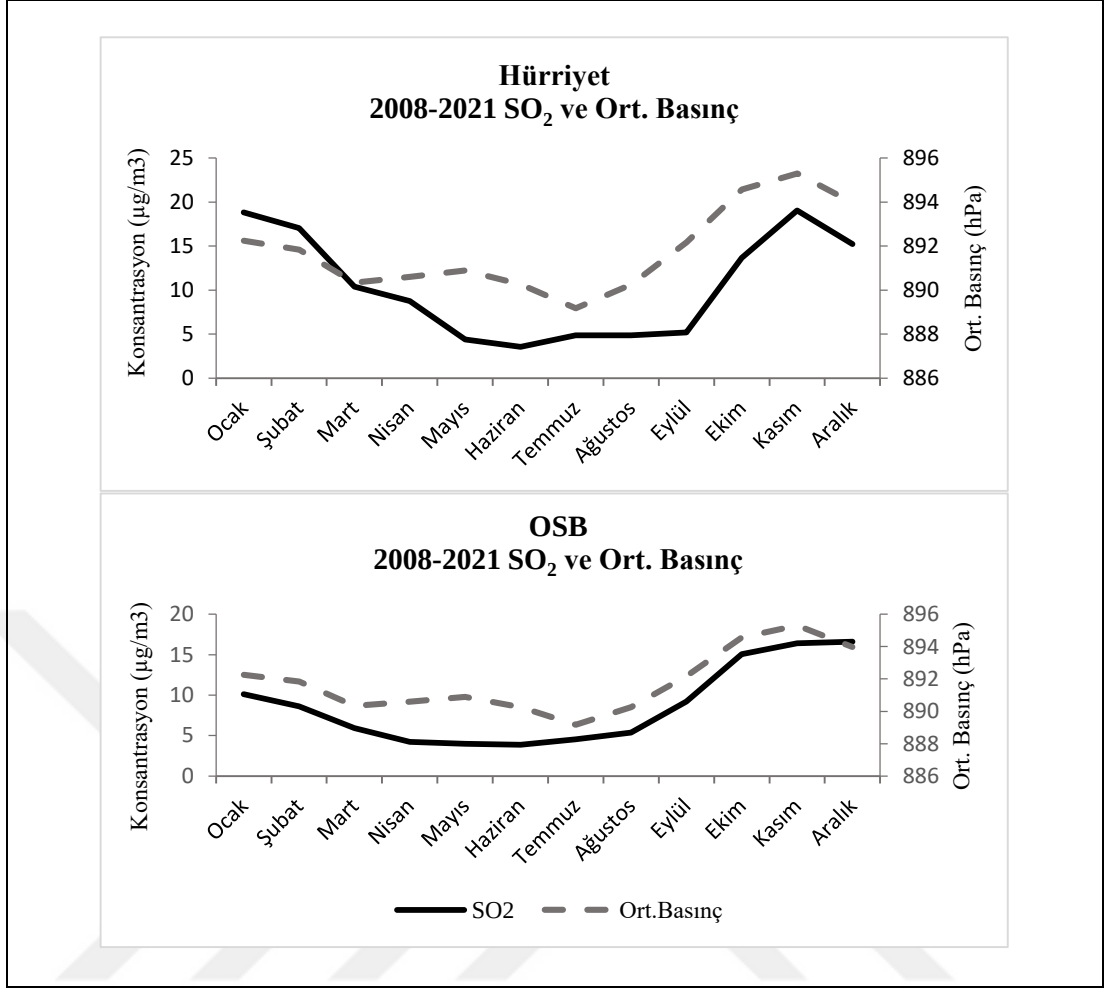
5.2.1.3. Basınç

Hürriyet, OSB ve Trafik istasyonlarının kirletici maddeler ile ortalama basınç ilişkisine baktığımızda genel olarak doğru orantılı olarak artma ve azalma gerçekleştiğini görülmektedir. Basıncın arttığı aylarda kirletici miktarında arttığı, basıncın azaldığı aylarda ise kirletici miktarının azaldığı görülmektedir. Hürriyet istasyonunda PM₁₀ (132,8 µg/m³) ve SO₂ (19,0 µg/m³) konsantrasyonunda en yüksek değerler kasım (895,3 hPa) ayında görülürken, en düşük (PM₁₀ 45,7 µg/m³) SO₂ (3,5 µg/m³) değerleri ise haziran (890,2 hPa) ayında görülmüştür. OSB istasyonuna baktığımızda en yüksek PM₁₀ (109,0 µg/m³) değeri yine kasım ayında görülürken en düşük değerleri (41,6 µg/m³) de yine haziran ayında görmekteyiz. SO₂ konsantrasyonunda ise en yüksek değer (16,6 µg/m³) aralık (893,9 hPa) ayında görülürken en düşük (3,8 µg/m³) değer haziran ayında görülmektedir. Trafik

istasyonunda ise en yüksek PM₁₀ (95,1 µg/m³) değeri kasım ayında, en düşük PM₁₀ (30,8 µg/m³) değeri ise mayıs (890,8 hPa) ayında görülmektedir (Şekil 5.23; 5.24).



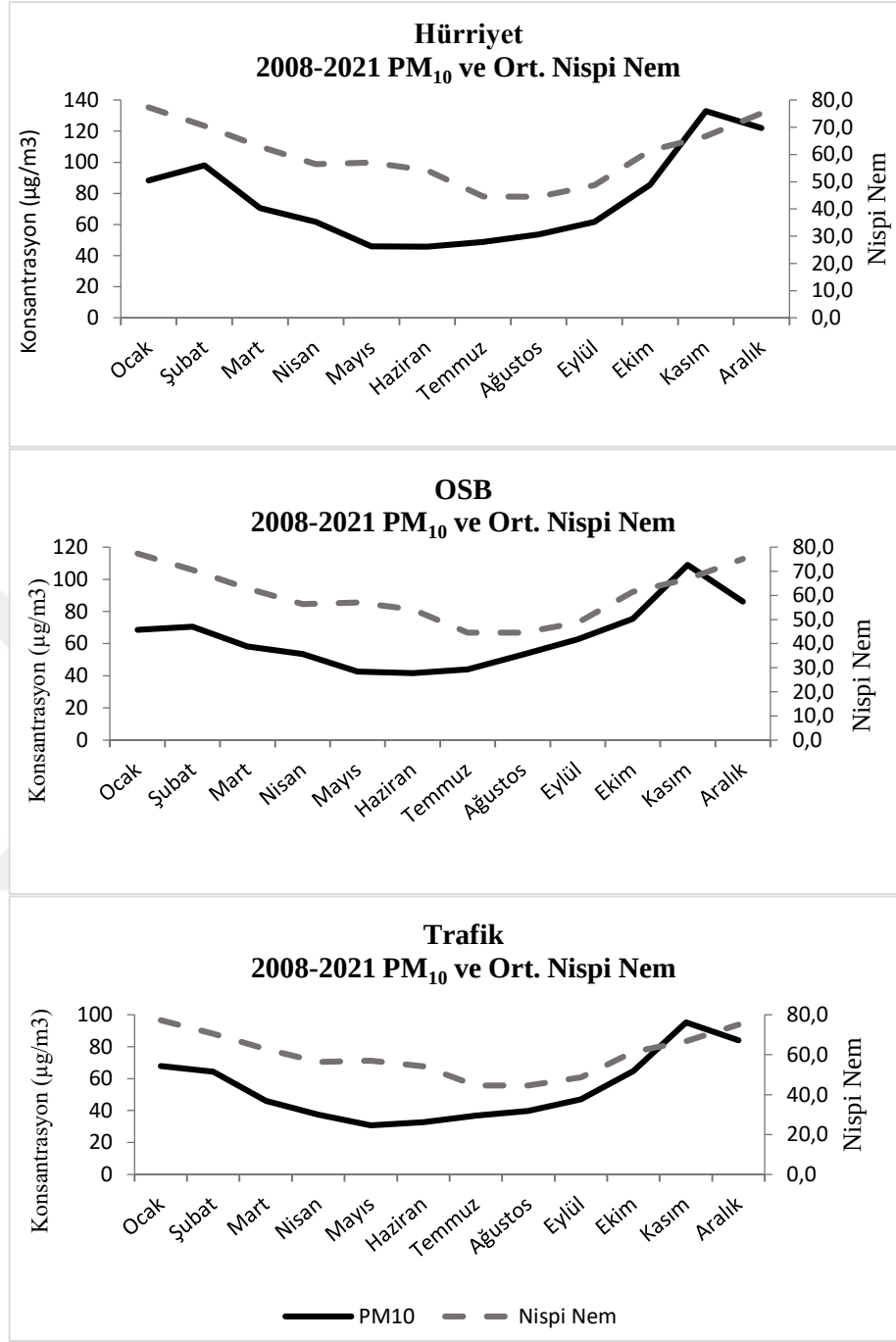
Şekil 5.23.Hürriyet, OSB ve Trafik İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM₁₀ ve basınç değişimi



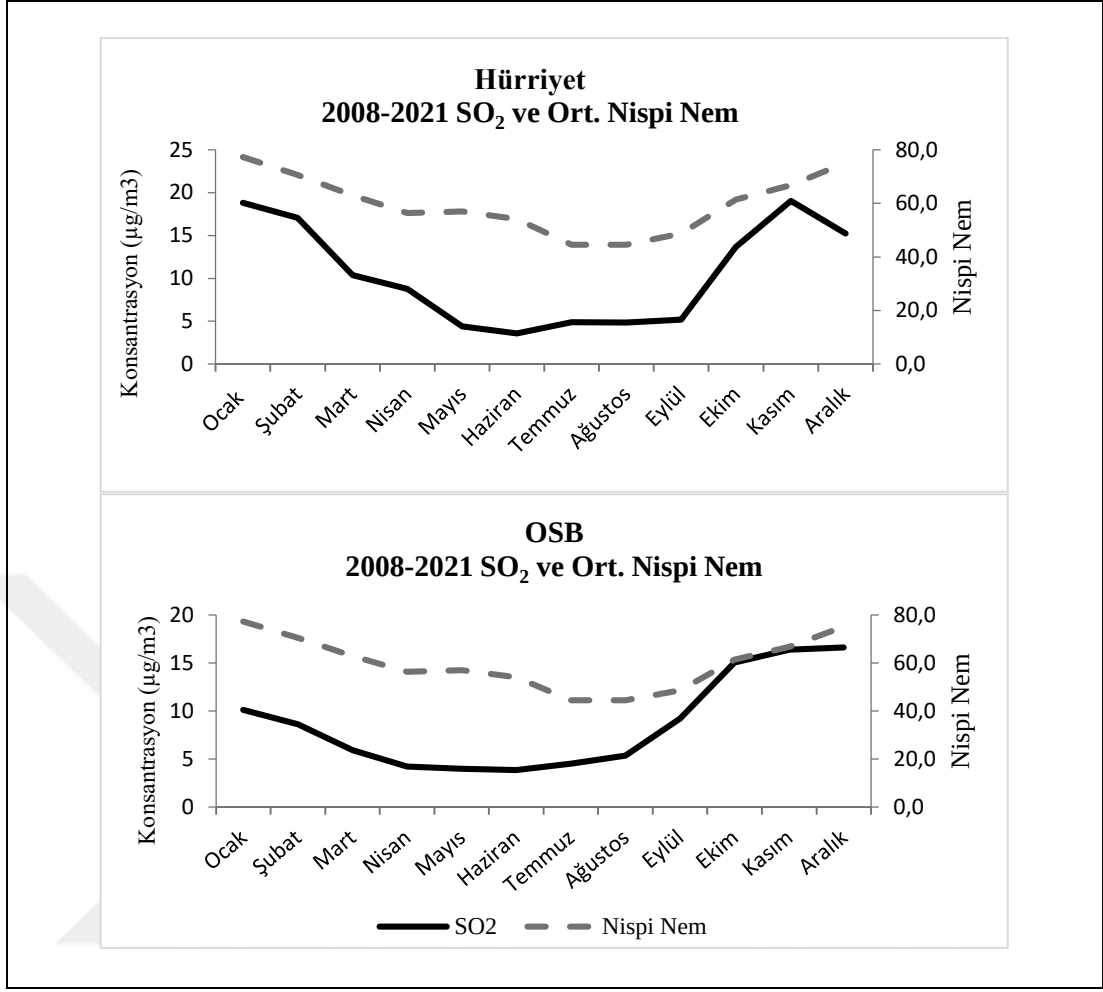
Şekil 5.24. Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO₂ ve basınç değişimi

5.2.1.4. Nispi Nem

Kirletici parametreler ile nispi nem arasındaki ilişkiye baktığımızda tıpkı basınç parametresinde olduğu gibi bir doğru orantı söz konusudur. Her üç istasyonun PM₁₀ ve SO₂ değerlerine baktığımızda nemin arttığı özellikle sonbahar – kış döneminde kirletici konsantrasyonlarında da artış olduğu gözlemlenmiştir. Hürriyet istasyonu PM₁₀ (132,8 µg/m³) ve SO₂ (19,0 µg/m³) değerlerinin en yüksek görüldüğü zaman kasım (66,8) ayı iken, en düşük değerler (PM₁₀ 45,7; SO₂ 3,5) haziran (54,2) ayında görülmüştür. OSB istasyonunda ise en yüksek PM₁₀ (109,0 µg/m³) değeri kasım ayında, en düşük değer ise haziran ayında gözlemlenirken, SO₂ (16,6 µg/m³) değerinin en yüksek olduğu ay aralık, en düşük değerlere (3,8 µg/m³) sahip olduğu ay ise yine haziran ayı olarak tespit edilmiştir. Trafik istasyonun en yüksek PM₁₀ değerleri (95,1 µg/m³) de yine haziran ayında gözlemlenmiştir (Şekil 5.25; 5.26).



Şekil 5.25.Hürriyet, OSB ve Trafik İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama PM₁₀ ve nispi nem değişimi



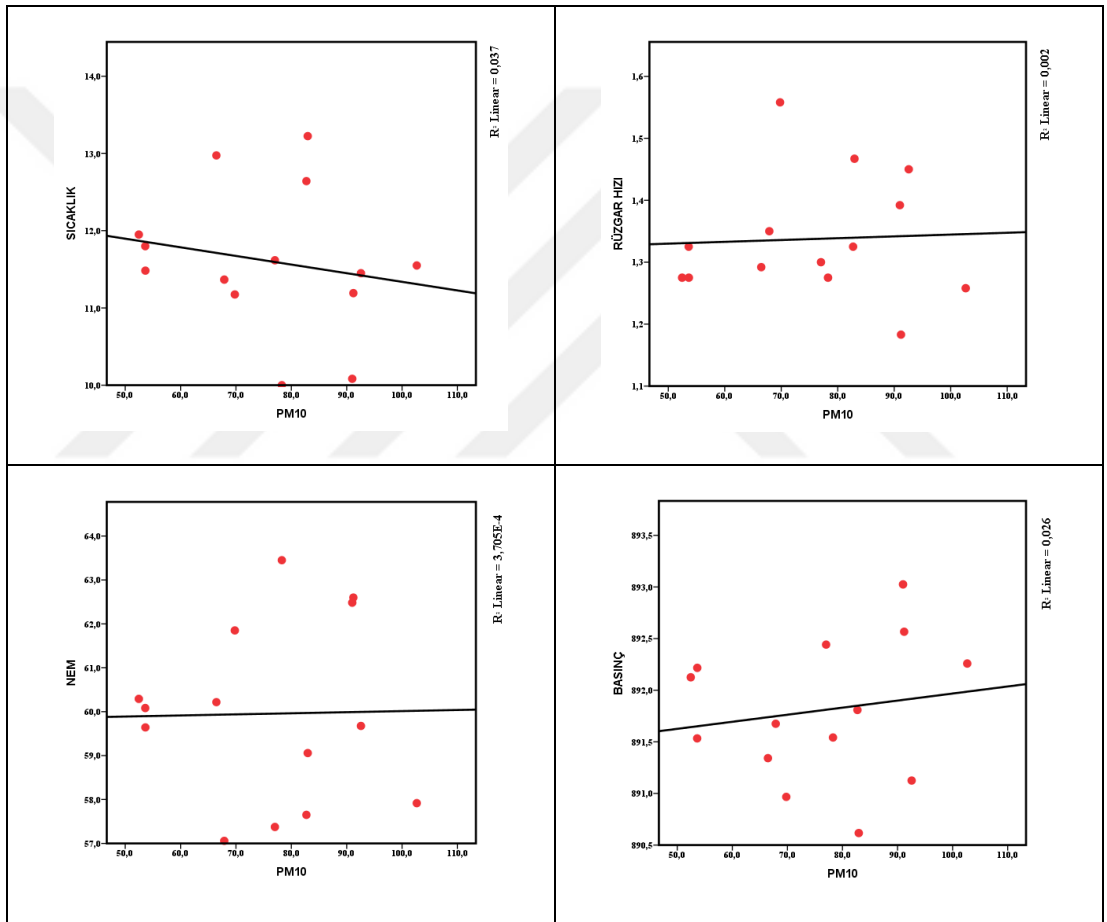
Şekil 5.26.Hürriyet ve OSB İstasyonları 2008-2021 arası aylık ortalama SO₂ ve nispi nem değişimi

5.3. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Zamansal Değişimi

5.3.1. Regresyon Analizi

Kayseri şehrinde kirlleticiler (SO₂ ve PM₁₀) ile meteorolojik parametreler (sıcaklık, nispi nem, rüzgar hızı ve basınç) arasındaki ilişkiyi tespit etmek için regresyon ve korelasyon analizleri yapılmış, ortaya çıkan ilişkinin yönünü belirtmek amacıyla da saçılım grafikleri oluşturulmuştur. Çoklu regresyon analizi; bir bağımlı değişkenin varyetelerini açıklamak için, aynı anda birden çok bağımsız değişkeni tanımlamak amacıyla kullanılır. Yapılan bu çalışmada bağımsız değişken olarak sıcaklık, rüzgar hızı, nem ve basınç kullanılırken; PM₁₀ ve SO₂ bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. Çoklu regresyon analizinde; PM₁₀ ve SO₂ ayrı ayrı ele alınarak dört bağımsız değişken (sıcaklık, rüzgar hızı, basınç, nem) arasındaki ilişkiyi ve anlamlılık düzeylerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

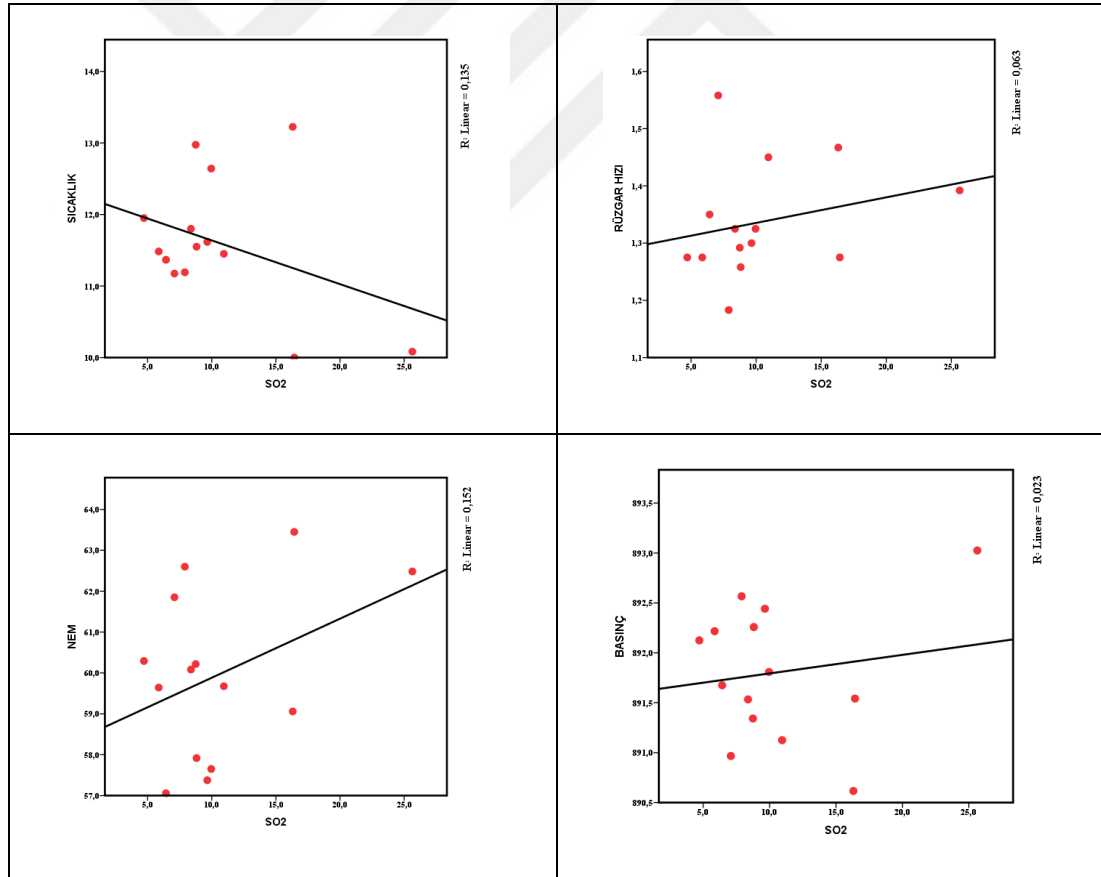
Hürriyet istasyonunda PM₁₀ değerleri ile meteorolojik parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktur. Fakat PM₁₀ değeri ile sıcaklık ($r=-,193$) arasında negatif bir eğilim söz konusu iken, PM₁₀ değeri ile rüzgar hızı ($r=,047$), nem ($r=,019$) ve basınç ($r=,161$) arasında pozitif bir eğilim vardır (Tablo 5.11, Şekil 5.27). SO₂ değeri ile meteorolojik parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Ancak sıcaklık ve SO₂ değeri arasında negatif ($r=-,367$) bir ilişki varken, SO₂ değeri ile rüzgar hızı arasında pozitif ($r=,251$), SO₂ değeri ile nem arasında pozitif ($r=,390$), SO₂ değeri ile basınç arasında ise pozitif ($r=,153$) bir ilişki vardır (Tablo 5.12, Şekil. 5.28).



Şekil 5.27. Hürriyet istasyonuna ait PM₁₀ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri.

Tablo 5.11. Hürriyet istasyonu PM₁₀ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları

Değişkenler		PM10	Sıcaklık	Rüzgar Hızı	Nem	Basınç
PM10	Pearson r	1				
	p					
Sıcaklık	Pearson r	-,193	1			
	p	,255				
Rüzgar Hızı	Pearson r	,047	,074	1		
	p	,436	,400			
Nem	Pearson r	,019	-,562*	,007	1	
	p	,474	,018	,491		
Basınç	Pearson r	,161	-,472*	-,616**	0,82	1
	p	,291	,044	,010	,391	



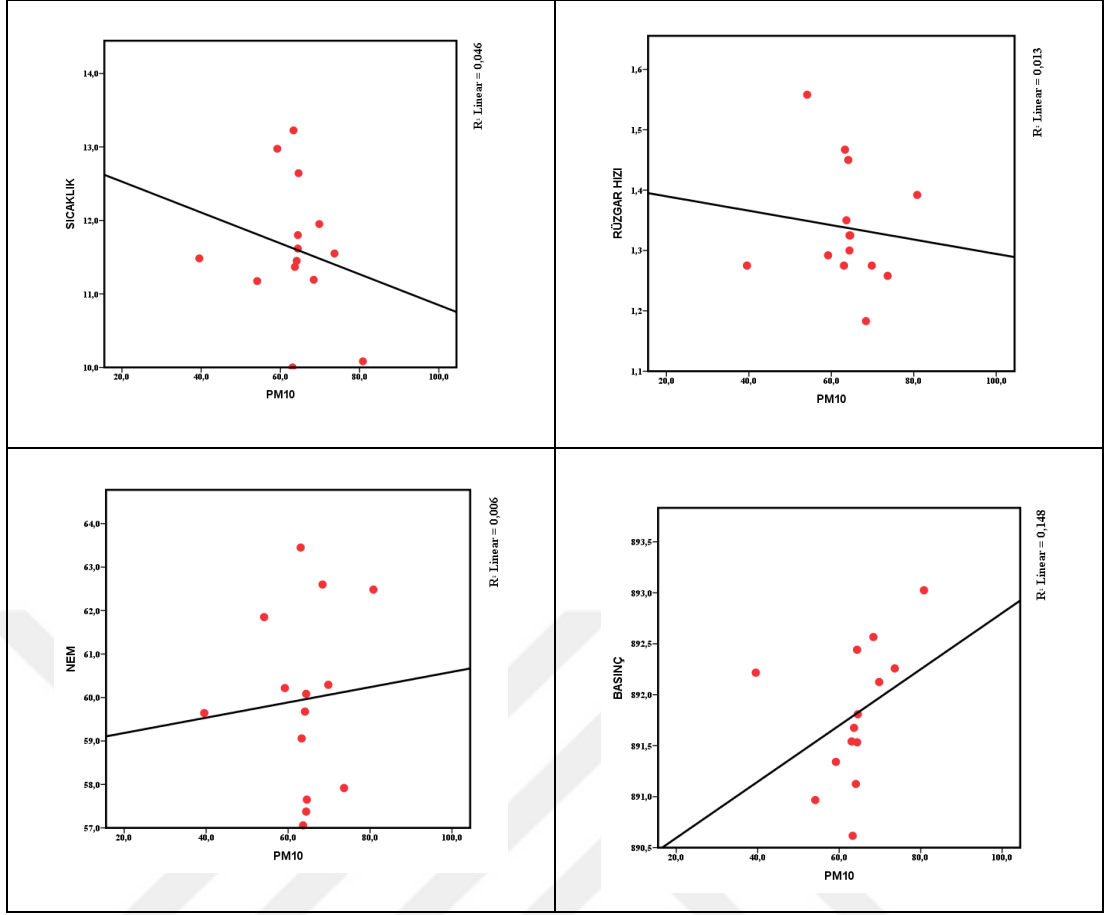
Şekil 5.28.Hürriyet istasyonuna ait SO₂ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri

Tablo 5.12 Hürriyet istasyonu SO₂ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları

Değişkenler		SO ₂	Sıcaklık	Rüzgar Hızı	Nem	Basınç
SO ₂	Pearson r	1				
	p					
Sıcaklık	Pearson r	-,367	1			
	p	,098				
Rüzgar Hızı	Pearson r	,251	0,74	1		
	p	,194	,400			
Nem	Pearson r	,390	-,562*	,007	1	
	p	,084	,018	,491		
Basınç	Pearson r	,153	-,472*	-,616**	,082	1
	p	,301	,044	,010	-,391	

** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır. * Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

OSB istasyonunda PM₁₀ değerleri ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkide istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktur. Fakat PM₁₀ değeri ile sıcaklık ve rüzgar hızı arasında negatif yönde bir eğilim söz konusu iken (Tablo 5.13, Şekil 5.29), nem ve basınç ile arasında pozitif bir eğilim vardır. SO₂ değerlerine baktığımızda ise SO₂ ile rüzgar hızı (p=,040) ve nemlilik (p=,038) arasındaki ilişki 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 5.14, Şekil 5.30).

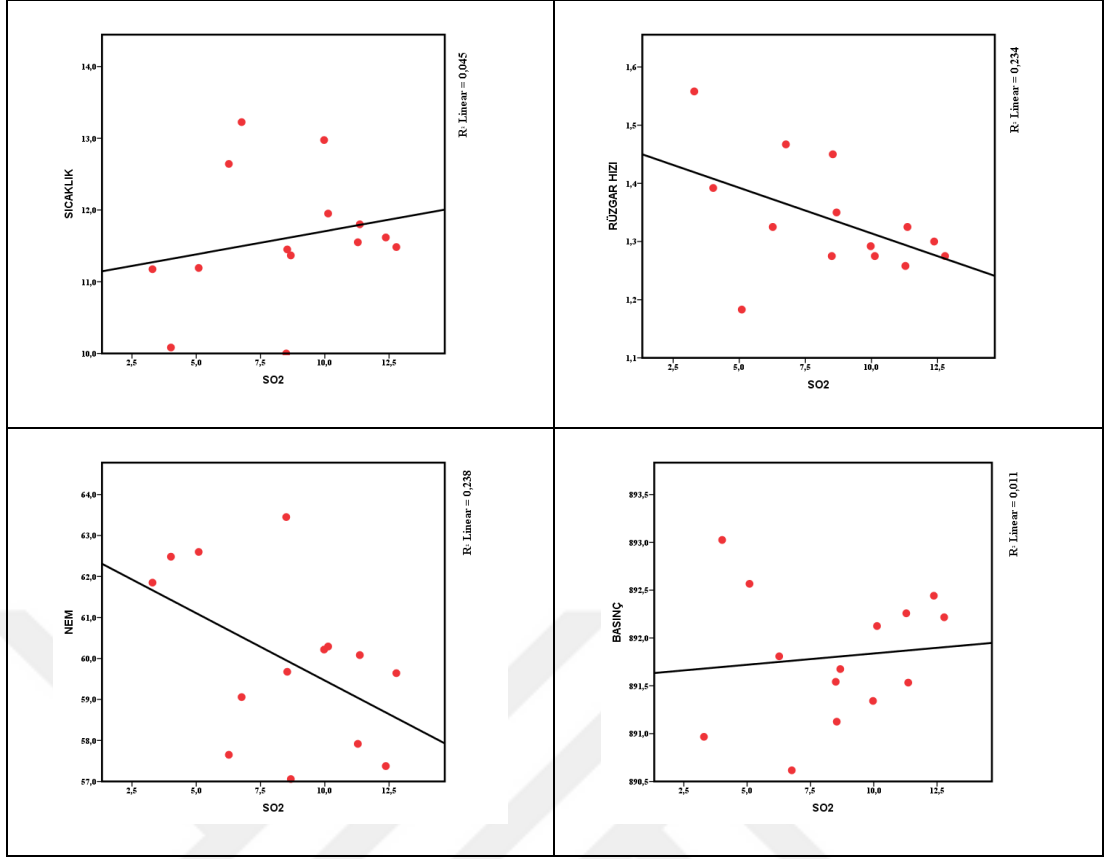


Şekil 5.29. OSB istasyonuna ait PM₁₀ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri

Tablo 5.13.OSB istasyonu PM₁₀ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları

Değişkenler		PM ₁₀	Sıcaklık	Rüzgar Hızı	Nem	Basınç
PM ₁₀	Pearson r	1				
	p					
Sıcaklık	Pearson r	-,214	1			
	p	,231				
Rüzgar Hızı	Pearson r	-,114	,074	1		
	p	,350	,400			
Nem	Pearson r	,080	-,562	,007	1	
	p	,392	0,18	,491		
Basınç	Pearson r	,385	-,472*	-,616**	,082	1
	p	,087	,044	,010	,391	

** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır. * Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.



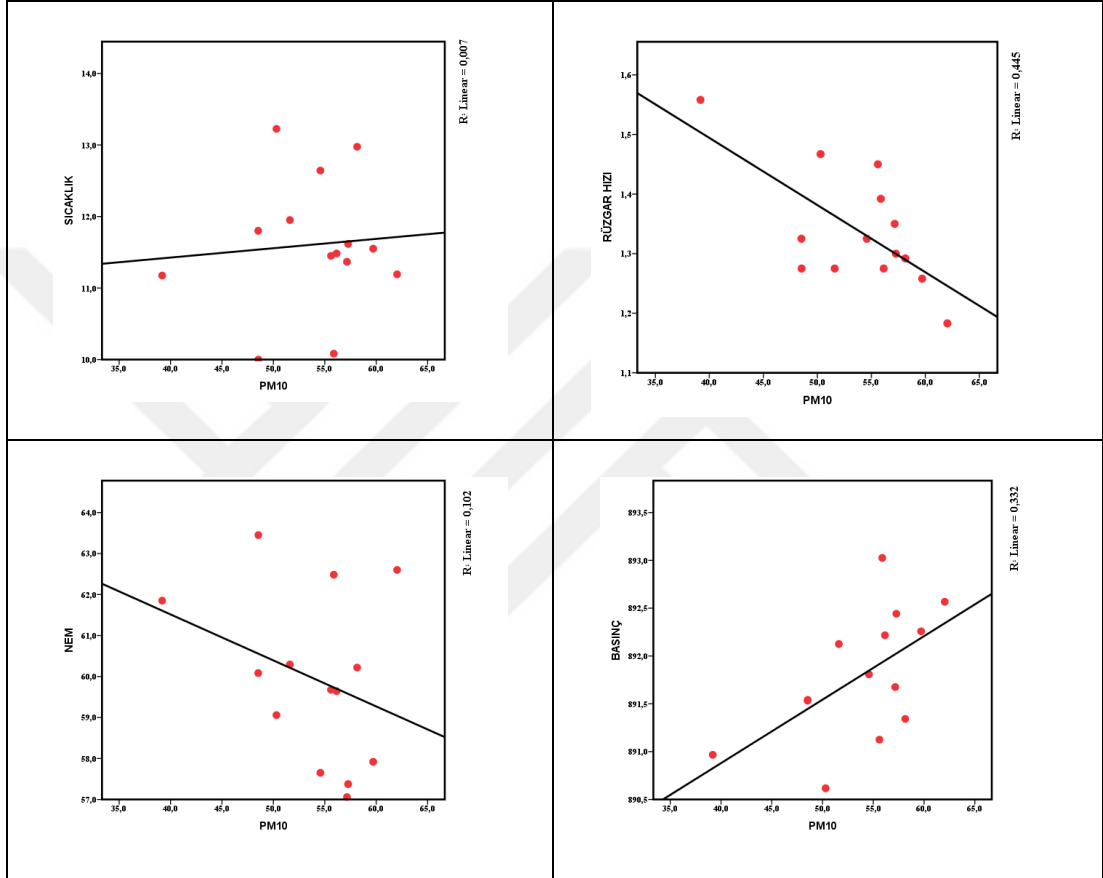
Şekil 5.30.OSB istasyonuna ait SO₂ ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri

Tablo 5.14. OSB istasyonu SO₂ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları

Değişkenler		SO ₂	Sıcaklık	Rüzgâr Hızı	Nem	Basınç
SO ₂	Pearson r	1				
	p					
Sıcaklık	Pearson r	,213	1			
	p	,232				
Rüzgâr Hızı	Pearson r	-,484*	,074	1		
	p	,040	,400			
Nem	Pearson r	-,488*	-,562*	,007	1	
	p	,038	,018	,491		
Basınç	Pearson r	,107	-,472*	-,616**	,082	1
	p	,358	,044	,010	,391	

** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır. * Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Trafik istasyonunda gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçlarına göre PM_{10} ile rüzgâr hızı arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilirken, PM_{10} ile basınç parametresi arasında ise 0,05 düzeyinde bir ilişki tespit edilmiştir. Diğer istasyonların aksine PM_{10} ile sıcaklık ($r=0,83$) parametresi arasında pozitif bir eğilim mevcut iken nem ($r=-,319$) parametresi arasında negatif bir eğilim söz konusudur (Tablo 5.15, Şekil 5.31).



Şekil 5.31. Trafik istasyonuna ait PM_{10} ile sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden saçılım grafikleri

Tablo 5.15.Trafik istasyonu PM₁₀ parametresinin çoklu regresyon analizi sonuçları

Değişkenler		PM ₁₀	Sıcaklık	Rüzgar Hızı	Nem	Basınç
PM ₁₀	Pearson r	1				
	p					
Sıcaklık	Pearson r	,083	1			
	p	,389				
Rüzgar Hızı	Pearson r	-,667**	,074	1		
	p	,005	,400			
Nem	Pearson r	-,319	-,562*	,007	1	
	p	,133	,018	,491		
Basınç	Pearson r	,576*	-,472*	-,616	,082	1
	p	,016	,044	,390	,390	

** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır. * Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

5.3.2. Mann-Kendall Analizi

Zaman serisindeki trendin varlığını, büyüklüğünü ve yönünü tespit etmek için; parametrik olmayan testlerden biri olan Mann-Kendall kullanılır. Hürriyet istasyonuna uygulanan Mann-Kendall testi sonuçlarına göre; ortalama sıcaklıkların aylık, yıllık ortalama ve ısınma sezonu serilerinde istatistiksel olarak anlamlı azalış ya da artış trendi tespit edilememiştir. Rüzgâr hızında; nisan, haziran, ağustos ve yıllık ortalama serilerinde 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı azalış trendleri tespit edilirken, nispi nemde ise sadece şubat ayında 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendine rastlanmıştır. Kirletici parametrelere uygulanan Mann-Kendall testinde PM₁₀ değeri haziran ayında 0.01 düzeyinde, yıllık ortalama ise 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendi saptanmıştır. SO₂ değeri ise ocak ayında ve ısınma sezonunda 0.01 düzeyinde, şubat ve yıllık ortalama ise 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendi tespit edilmiştir (Tablo 5.16).

Tablo 5.16.Hürriyet istasyonu meteorolojik faktörler ile kirleticilerin Mann-Kendall trend analizi

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.	Is.Sez.
Sıcaklık	0,60	0,27	-0,49	-0,22	1,81	-0,55	0,11	-0,16	0,60	0,66	-0,44	-0,27	1,75	0,55
Rüzgar Hızı	1,58	-1,01	-1,77	*-2,52	0,12	*-2,56	-1,63	*-2,26	-1,89	-0,40	0,06	0,06	*-2,32	-0,98
Nispi Nem	-1,86	*-1,97	-0,22	-0,11	-0,60	1,31	-0,11	0,44	-0,22	-0,99	-0,71	0,55	-0,66	-1,65
PM₁₀	-1,20	-0,88	-0,77	-1,53	-1,09	**2,63	-1,20	-1,31	-0,66	-1,53	-1,53	-1,31	*-1,97	-1,04
SO₂	**2,96	*-2,19	-1,53	-1,75	-0,49	0,33	-0,55	-1,20	-0,77	+1,75	-1,75	-1,31	*-2,52	**2,63

*0.05 düzeyinde anlamlı, **0.01 düzeyinde anlamlı

OSB istasyonuna uygulanan Mann-Kendall testi sonuçlarına göre; ortalama sıcaklıkların aylık, yıllık ortalama ve ısınma sezonu serilerinde istatistiksel olarak anlamlı azalış ya da artış trendi tespit edilememiştir. Rüzgar hızında nisan, haziran, ağustos ve yıllık ortalama serilerinde 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı azalış trendleri tespit edilmiştir. İncelenen nispi nem serilerinden sadece şubat ayında 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendi saptanmıştır. PM₁₀ serilerinde istatistiksel olarak anlamlı artış ya da azalış trendlerine rastlanmazken, SO₂ serilerinde ağustos ayında 0.05 düzeyinde, eylül, ekim, kasım ve yıllık ortalama serilerinde ise 0.01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı artış trendlerine rastlanmıştır (Tablo 5.17).

Tablo 5.17.OSB istasyonu meteorolojik faktörler ile kirleticilerin Mann-Kendall trend analizi

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.	Is.Sez.
Sıcaklık	0,60	0,27	-0,49	-0,22	1,81	-0,55	0,11	-0,16	0,60	0,66	-0,44	-0,27	1,75	0,55
Rüzgar Hızı	1,58	-1,01	-1,77	*-2,52	0,12	*-2,56	-1,63	*-2,26	-1,89	-0,40	0,06	0,06	*-2,32	-0,98
Nispi Nem	-1,86	*-1,97	-0,22	-0,11	-0,60	1,31	-0,11	0,44	-0,22	-0,99	-0,71	0,55	-0,66	-1,65
PM₁₀	-0,66	-1,31	0,00	-1,09	0,00	-1,20	0,66	-0,44	0,00	0,22	0,00	-0,33	0,33	-0,33
SO₂	0,55	1,64	0,88	0,77	0,88	0,66	1,86	*2,30	**2,63	**2,85	**2,85	1,64	**3,18	1,86

*0.05 düzeyinde anlamlı, **0.01 düzeyinde anlamlı

Trafik istasyonuna uygulanan Mann-Kendall trend testi sonuçlarına göre ortalama sıcaklıkların ve PM₁₀ değerlerinin aylık, yıllık ortalama ve ısınma sezonu serilerinde istatistiksel olarak anlamlı azalış ya da artış trendi tespit edilememiştir. Rüzgar hızında diğer istasyonlarda (OSB ve Trafik) olduğu gibi nisan, haziran, ağustos ve yıllık ortalama serilerinde 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendlerine rastlanmıştır.

Nispi nemde ise sadece şubat ayında 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendi tespit edilmiştir (Tablo 5.18).

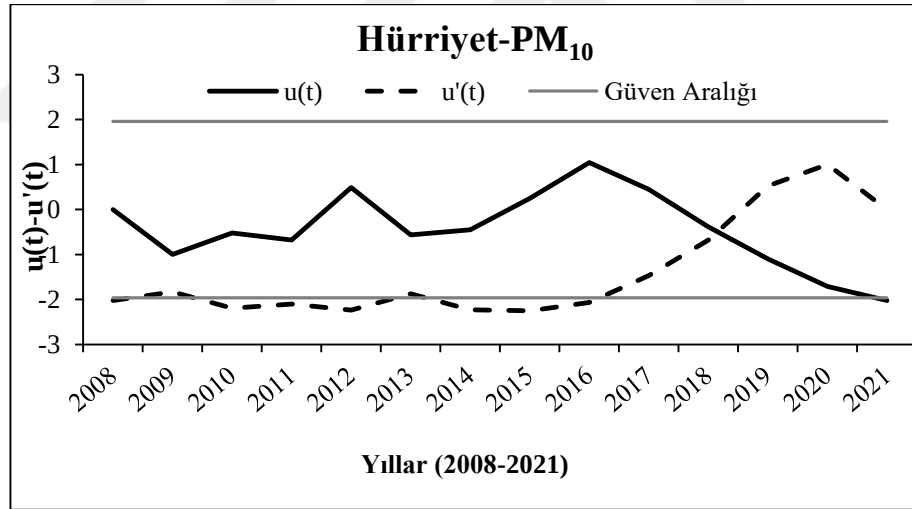
Tablo 5.18.Trafik istasyonu meteorolojik faktörler ile kirleticilerin Mann-Kendall trend analizi

	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.	Is.Sez.
Sıcaklık	0,60	0,27	-0,49	-0,22	1,81	-0,55	0,11	-0,16	0,60	0,66	-0,44	-0,27	1,75	0,55
Rüzgar Hızı	1,58	-1,01	-1,77	*-2,52	0,12	*-2,56	-1,63	*-2,26	-1,89	-0,40	0,06	0,06	*-2,32	-0,98
Nispi Nem	-1,86	*-1,97	-0,22	-0,11	-0,60	1,31	-0,11	0,44	-0,22	-0,99	-0,71	0,55	-0,66	-1,65
PM₁₀	-0,99	-0,55	0,44	0,33	0,99	0,22	1,64	-0,11	1,20	1,20	0,22	-0,11	0,99	0,31

*0.05 düzeyinde anlamlı, **0.01 düzeyinde anlamlı

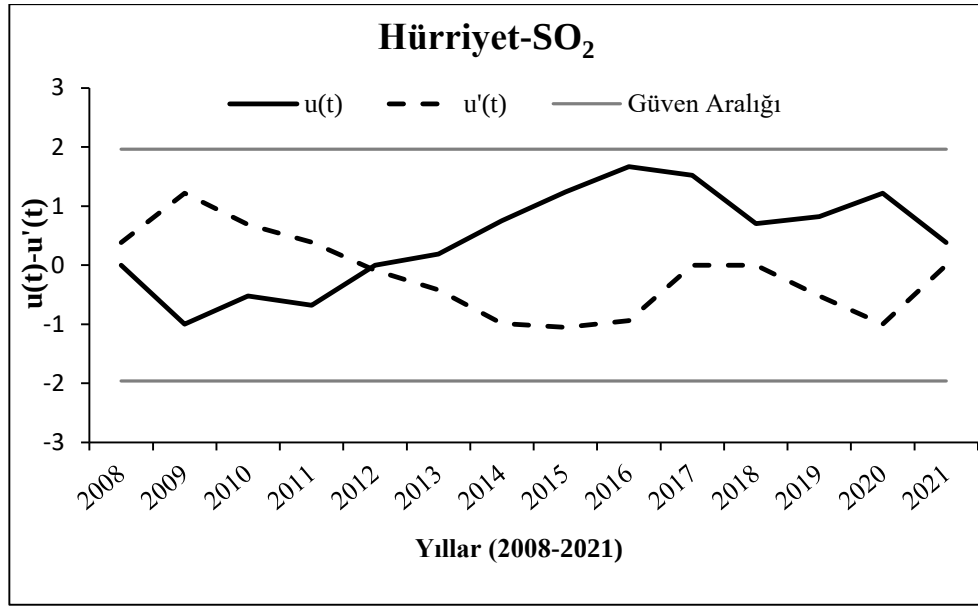
5.3.3. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Trend Analizi

Hürriyet hava kalitesi istasyonu PM₁₀ verilerine uygulanan Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testi sonuçlarına göre, ele alınan seride 0.05 düzeyinde azalış trendi ($u(t)=-1,97$) tespit edilirken, 2018 yılı tespit edilen bu trendin başlangıç yılına karşılık gelmektedir (Şekil 5.32).



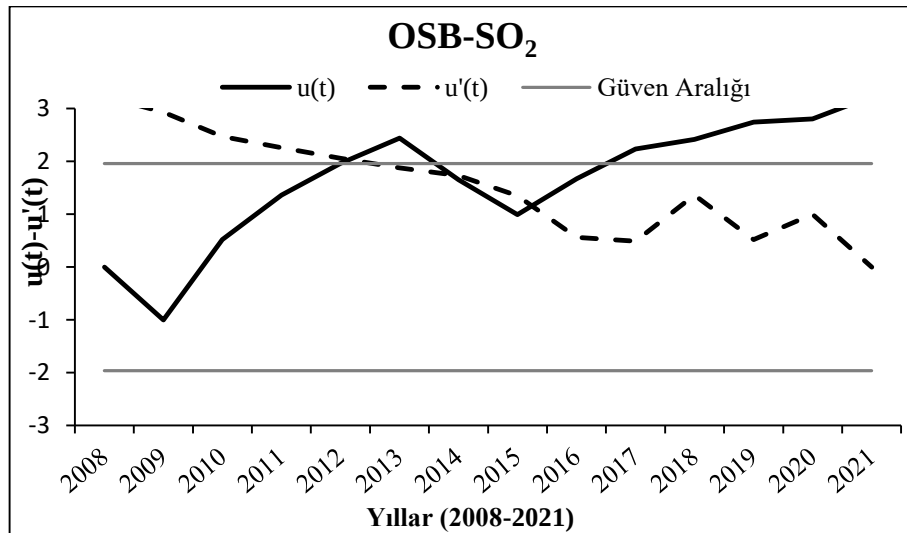
Şekil 5.32.Hürriyet İstasyonu PM₁₀ değerleri MannKendall Mertebe Korelasyon Testi trend analizi

Hürriyet hava kalitesi istasyonu SO₂ verilerine uygulanan Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testine göre, zaman serisinde 2012 yılından itibaren 0.05 düzeyinde ($u(t)=-2,52$) azalış tespit edilmiştir (Şekil 5.33).



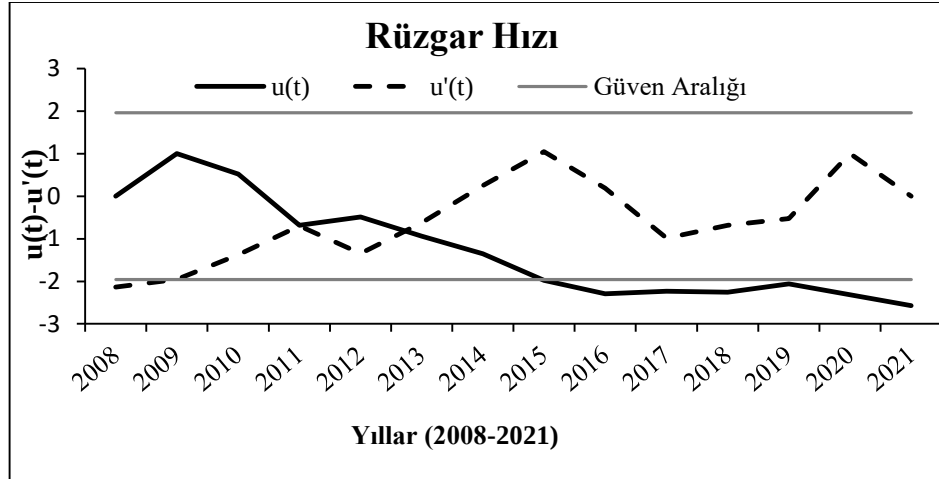
Şekil 5.33.Hürriyet İstasyonu SO₂ değerleri Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Trend Analizi

OSB hava kalitesi istasyonu SO₂ verilerine uygulanan Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testine göre, zaman serisinde 0.01 anlamlılık düzeyinde ($u(t)= 3,18$) artış meydana geldiği tespit edilmiştir. 2016 yılı ise bu trendin başlangıç yılı olduğu söylenebilir. OSB hava kalitesi istasyonunun PM₁₀ serilerinde anlamlı bir trend tespit edilmemiştir (Şekil 5.34).



Şekil 5.34. OSB İstasyonu SO₂ değerleri Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Trend Analizi

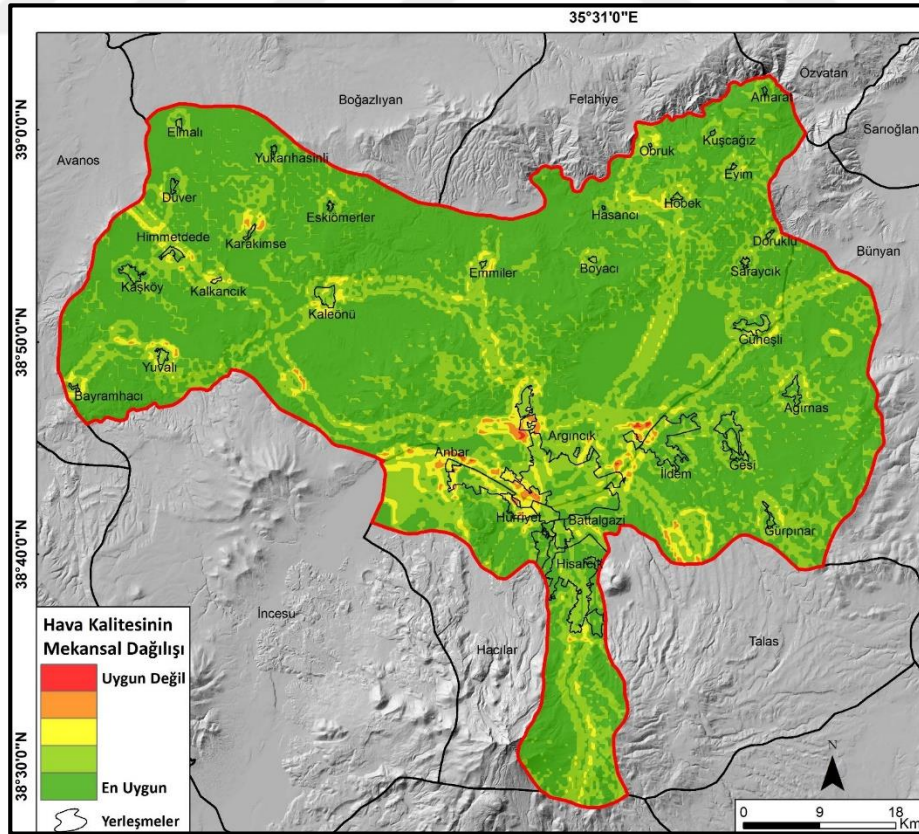
Kayseri Bölge meteoroloji istasyonunda ortalama rüzgar hızı serilerine uygulanan korelasyon testi sonuçlarına göre, 0.05 düzeyinde anlamlı ($u(t)= -2,32$) azalış tespit edilmiştir ve 2013 yılı bu trendin başlangıç yılı olarak kabul edilebilir (Şekil 5.35).



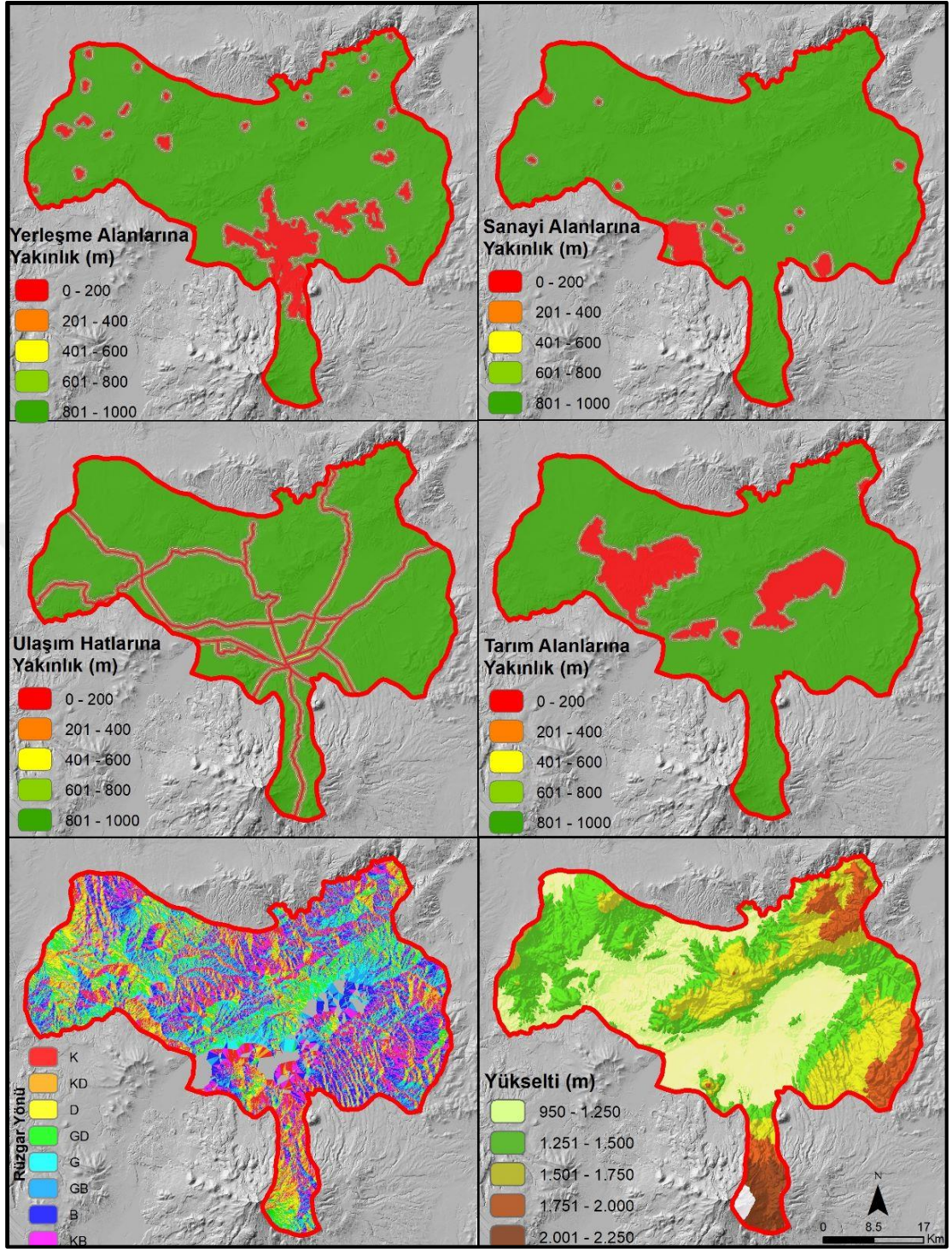
Şekil 5.35. Kayseri Bölge meteoroloji istasyonu rüzgar hızı değerleri Mann-Kendall Sıra Korelasyon Trend analizi

5.4. Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Dağılımı

Araştırma kapsamında çalışma sahasındaki kirletici kaynakların konumuna göre 5 parametre üzerinden bir uygunluk analizi yapılmıştır (Şekil 5.36). Analiz kapsamında; Sanayi, yerleşme, ulaşım, rüzgâr yönü ve tarım alanları parametreleri kullanılmış, her parametre ayrı ayrı haritalanarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.36 Hava Kalitesinin Mekansal Dağılışı



Şekil 5.37. Ağırlıklı Çakıştırma Yönteminde Kullanılan Parametrelerin Sahadaki Durumu

5.4.1. Yerleşme

Yerleşme faktörü hava kirliliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Hızlı nüfus artışının beraberinde getirdiği plansız şehirleşme ve ısınma ihtiyacı hava kirliliğinin daha da artmasına neden olmuştur. Kayseri şehrinde de aynı durum söz

konusudur. 2005 yılında doğalgazın gelmesiyle birçok semtte doğalgaz kullanımına geçilmiştir fakat halen kömür kullanan mahalleler mevcuttur (Şekil 5.37).

Araştırma sahasının hava kirliliğinin dağılışını belirleyebilmek için yapılan analizde yerleşme parametresine %20 ağırlık değeri verilmiş Eğim bakımından saha 5 sınıfa ayrılarak puanlanmıştır. Bundan hareketle hava kirliliğinin en yüksek görüldüğü alanlar Kocasinan ve Melikgazi ilçe merkezleridir (3.31). Bu alanlarda da özellikle Hürriyet, Anbar, Battalgazi, Eskişehirbağları halen doğalgaz kullanımına geçmemiş veya yakın zamanda geçmiş kömür kullanımının yoğunlukta olduğu semtlerdir. (Şekil 5.37).



Şekil 5.38. Hürriyet Mahallesi



Şekil 5.39. Eskişehirbağları

5.4.2. Sanayi

19.yy sanayi devriminin başlamasıyla ortaya çıkan hava kirliliği günümüzde de ciddi problemlere yol açmaktadır. Özellikle sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu

alanlarda daha da fazla kirlilik olayı görülmektedir. Araştırma sahasında sanayi parametresinin kirliliğin dağılımına etkisini tespit edebilmek için %30 ağırlık değeri verilmiştir. Bu oranla Tüm parametreler arasında en yüksek orana sahip parametredir (Şekil 3.31). Çalışma sahasında sanayi kuruluşların dağılımına göre en yüksek değere sahip alanlar şehir merkezinin batı sınırında kalan OSB (Şekil 5.40) ve doğu sınırındaki Mimarşinan OSB'dir. Bunların dışında şehir merkezinde yer alan Küçük sanayi siteleri ve fabrikalar mevcuttur ve merkezdeki kirliliği arttıran önemli kaynaklar arasındadır. Bunlar; Yeni Sanayi Sitesi, Küçük Sanayi Sitesi, Orta Anadolu Ticaret ve Sanayi İşletmesi T.A.Ş. Şeker fabrikası, Yem fabrikası, Kılıçtaş mermer fabrikası, Kayseri un fabrikası, Suat Erdem un fabrikası, Değirmencilik un fabrikası, Bilenler un fabrikası, Asya Madeni Eşya ve Emaye Fabrikası, Ünal yapı Taş Ocağı, Çimsa çimento fabrikasıdır (Şekil 5.37).



Şekil 5.40. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi



Şekil 5.41. Kayseri Yem Fabrikası

5.4.3. Ulaşım

Şehir nüfusunun ve şehirdeki motorlu taşıt sayısının ve trafik yoğunluğunun artması da hava kirliliğini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Araştırma sahasında ulaşım parametresi için %20 ağırlık değeri verilmiştir. Doğu-batı ve kuzey-güney ticaret yolları bulunan şehrin merkezdeki ana ulaşım güzergâhlarında da oldukça yoğun bir trafik hattı bulunmaktadır (Şekil 5.37).



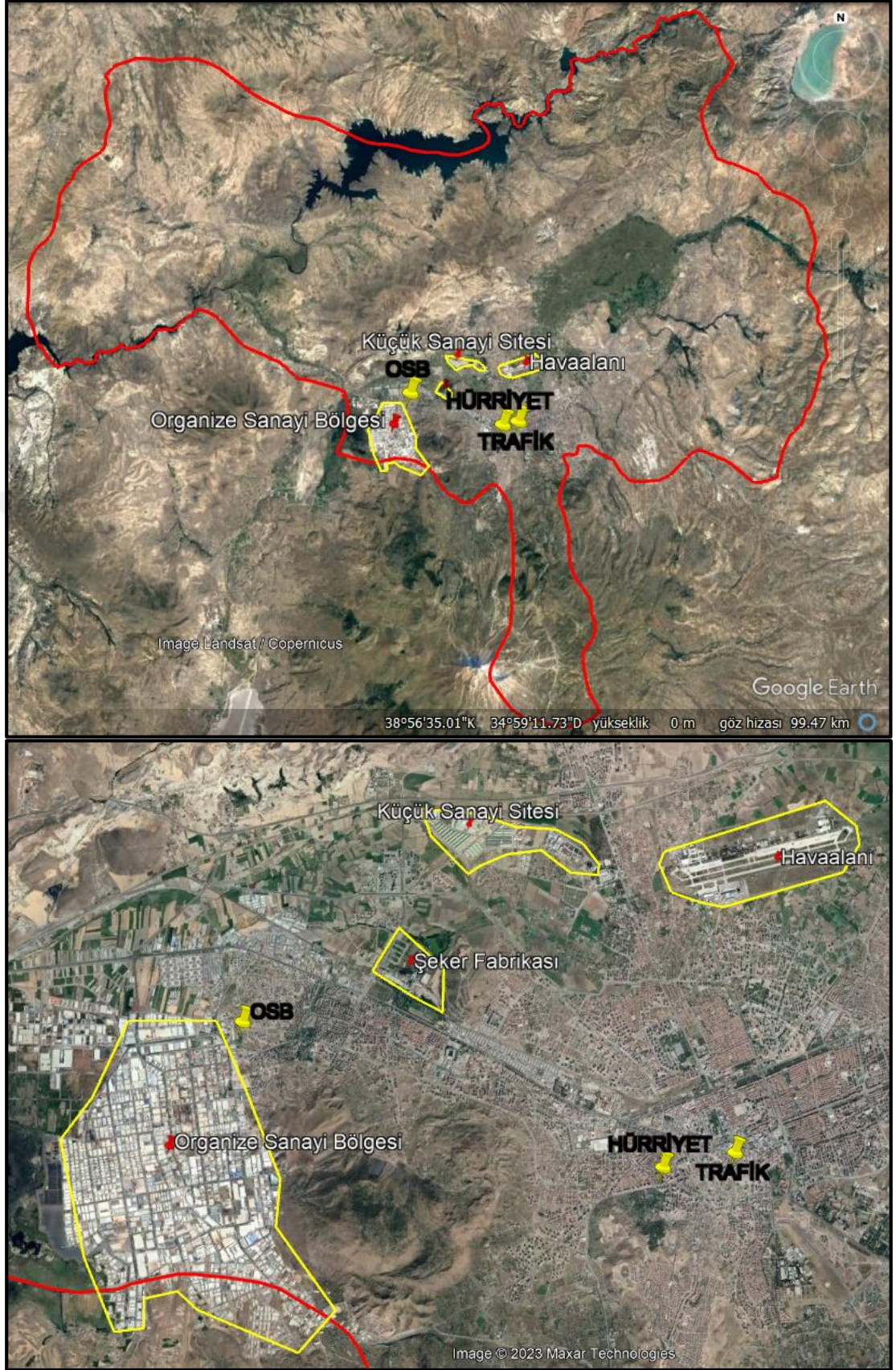
Şekil 5.42. İstasyon Caddesi

5.4.4. Tarım

Araştırma sahası içerisinde hava kirliliğinin dağılışını belirleyebilmek için yapılan analizde tarım parametresine %5 ağırlık değeri verilmiştir. bundan yola çıkılarak sahada en fazla hava kirliliğinin görüldüğü alanlar Kuzeydoğu'da Güneşli Mevkisi, Kuzeybatı'da ise Kızılırmak çevresinde yer alan Mahzemin, Yemliha ve Beydeğirmeni yerleşkeleri olarak tespit edilmiştir. Bu alanlar aynı zamanda yükseltinin az olduğu (950- 1250) alanlara karşılık gelmektedir(Şekil 5.37).

5.4.5. Yükselti

Çalışma sahası için oluşturulan yükselti haritasında yükselti 950-2250 arasında değişmektedir. Çalışma sahasının güneyinde yer alan Erciyes Dağı'nın bulunduğu alan en yüksek yükselti sınıfına karşılık gelmektedir. Hava kirliliğinin dağılışını ortaya koymak için yapılan analizde yükselti parametresine %10 ağırlık değeri verilmiştir. Yükseltinin az olduğu alanlara en yüksek etki değeri puanı (5) verilmiştir. Bu alanlar şehir merkezine, yerleşmenin ve tarım alanlarının yoğun olduğu alanlara karşılık gelmektedir. En düşük etki değeri puanı ise (1) yükseltisi fazla olan alanlara karşılık gelmektedir (Şekil 5.37).



Şekil 5.43.Hava kalitesi istasyonlarının çevresinde bulunan kirletici kaynak alanları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

21. yüzyılda dünya nüfusunun artması, doğal ortam üzerindeki etkisinin de giderek artmasına neden olmuştur. Fosil yakıt kullanımı, endüstrileşme, şehirleşme ve motorlu taşıt kullanımını da bilinçsizce arttırmış, bunun sonucu olarak iklim değişikliği, çölleşme, kuraklık, su, toprak ve hava kirliliği gibi pek çok problemi beraberinde getirmiştir. Bu problemler insan ve diğer canlıların sağlığını tehdit eder hale gelmiştir.

Sanayi devrimiyle birlikte metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), diazotmonoksit (N_2O) gibi kirletici gazlar, atmosferde sera gazı konsantrasyonunu artırmış ve hava kirliliği problemini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada Kayseri şehri'nde hava kirliliğinin zamansal ve mekansal değişimi incelenmiştir. Kayseri şehri İç Anadolu Bölgesinin ve Türkiye'nin büyük şehirlerinden biridir. Bu özelliği ile nüfusu kendine çekmiş, 2021 yılında 1.434.357 nüfusuyla ülkenin en kalabalık 15. şehri haline gelmiştir. Nüfus arttıkça buna bağlı olarak konut sayısı ve motorlu araç sayısı da artmaktadır. Bu da hava kirliliğini olumsuz anlamda etkilemektedir. Özellikle kış aylarında ısınma ihtiyacı doğrultusunda yakılan fosil yakıtlar en önemli kirletici faktörler arasında yer almaktadır.

Bir bölgede hava kirliliğinin boyutlarını anlayabilmek için yıllar içerisindeki değişimini incelemek gerekir. Bu çalışmada 2008-2021 yılları arasındaki günlük PM_{10} ve SO_2 değerleri baz alınarak aylık ortalamalar oluşturulmuş ve bu değerler üzerinden analizler ve yorumlamalar yapılmıştır.

Kayseri şehrinde hava kalitesi, 2007 yılına kadar Sağlık Bakanlığı'nın yarı otomatik ölçüm cihazları sayesinde yapılırken, 2007 yılından günümüze kadar eski ismi Çevre ve Orman Bakanlığı olan, günümüzde ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait tam otomatik ölçüm cihazları hava kalitesini kontrol etmiş ve denetlemiştir. Günlük ölçümlerden aylık ortalamalar hesaplanarak gerçekleştirilen analizlerde Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinde yer alan Hürriyet, Trafik ve OSB hava kalitesi ölçüm istasyonlarının verileri kullanılmıştır. çalışmadan elde edilen bulgular şu şekildedir;

- Hürriyet istasyonuna ait kirleticilerin konsantrasyon değerlerine baktığımızda 2008-2021 yılları kapsamında ortalama PM_{10} değeri $75,9 \mu g/m^3$, SO_2 değeri ise $10,4 \mu g/m^3$ 'dür. 2008 yılında yıllık ortalama PM_{10} değeri $91,0 \mu g/m^3$ iken

2021 yılında bu değer $53,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşmüştür. SO_2 değeri ise 2008 yılında $25,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken 2021 yılına gelindiğinde $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşmüştür.

- OSB istasyonuna ait kirleticilerin konsantrasyon değerlerine baktığımızda 2008-2021 yılları kapsamında ortalama PM_{10} değeri $63,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ortalama SO_2 değeri ise $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür. 2008 yılında yıllık ortalama PM_{10} değeri $80,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken 2021 yılında bu değer $39,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşmüş, SO_2 değeri ise 2008 yılında $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, iken 2021 yılında $12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e çıkmıştır.

- Trafik istasyonuna ait kirleticilerin konsantrasyon değerlerine baktığımızda 2008-2021 yılları kapsamında ortalama PM_{10} değeri $53,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. 2008 yılında $55,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken 2021 yılında $56,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e yükselmiştir.

- Hürriyet ve OSB istasyonlarındaki PM_{10} değerlerinde görülen azalışta ki temel sebep 2005'ten sonra doğalgaz kullanılmaya başlanması ve yaygınlaşması olarak açıklanabilir.

- Araştırma sahasında SO_2 ve PM_{10} değerleri Hürriyet istasyonunda en yüksek (SO_2 , 10.8; PM_{10} , $75.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$); OSB istasyonunda ise en düşüktür (SO_2 , 8.50; PM_{10} , 63.79). Hürriyet hava ölçüm istasyonunun çevresinde bulunan yerleşim yerlerinde genel olarak düşük katlı binaların yoğun olması, bina baca yüksekliklerinin atmosfer dağılımını sağlayamayacak şekilde düşük olması, Beştepeler bölgesinde katı yakıt kullanımının çok fazla olması, katı yakıt haricinde yakıt dışı maddelerin de ısınmada kullanılması bölgede hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır.

- Kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiye baktığımızda sıcaklık ve rüzgar hızıyla ters orantılı, nispi nemde ise dönem dönem doğru ve ters orantılı bir ilişki saptanmıştır. Kasım (PM_{10} , 100.78; SO_2 , $16.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve aralık (PM_{10} , 78.96; SO_2 , $15.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hava kirliliğinin en fazla olduğu aylardır. Araştırma sahasında 2008-2021 yılları arasında, doğalgaz kullanımının artması, yasal düzenlemeler ve kış sıcaklıklarının yükselmesine bağlı olarak genel olarak PM_{10} ve SO_2 düzeyleri düşmüştür. Ancak ortalamalar halen PM_{10} için WHO sınırlarının (PM_{10} ; 45, SO_2 ; $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) üzerindedir.

- Kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan regresyon analizinde Hürriyet ve OSB istasyonu PM_{10} değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki söz konusu değildir.

Fakat bu istasyonlarda yıllara göre PM₁₀ değerlerindeki düşüşten dolayı analizde negatif bir eğilim tespit edilmiştir.

- Kirletici ve meteorolojik parametrelere uygulanan Mann-Kendall trend testine göre Hürriyet istasyonu PM₁₀ değeri haziran ayında 0.01 düzeyinde, yıllık ortalamada ise 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendi göstermiştir. SO₂ değeri ise ocak ayında ve ısınma sezonunda 0.01 düzeyinde, şubat ve yıllık ortalamada ise 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendi göstermiştir.

- OSB istasyonu PM₁₀ serilerinde istatistiksel olarak anlamlı artış ya da azalış trendlerine rastlanmazken, SO₂ serilerinde ağustos ayında 0.05 düzeyinde, eylül, ekim, kasım ve yıllık ortalama serilerinde ise 0.01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı artış trendlerine rastlanmıştır.

- Trafik istasyonunda ise kirletici parametrelerde anlamlı artış ya da azalış trendine rastlanmamıştır.

- Ortalama sıcaklıkların aylık, yıllık ortalama ve ısınma sezonu serilerinde istatistiksel olarak anlamlı azalış ya da artış trendi tespit edilememiştir. Rüzgâr hızında; nisan, haziran, ağustos ve yıllık ortalama serilerinde 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı azalış trendleri tespit edilirken, nispi nemde ise sadece şubat ayında 0.05 düzeyinde anlamlı azalış trendine rastlanmıştır.

- Meteorolojik Parametreler ve Kirleticilerin Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi sonuçlarına baktığımızda sadece Hürriyet istasyonu PM₁₀ ve SO₂ değeri, OSB SO₂ değeri ve rüzgar hızında trend tespit edilmiştir.

- Hava kirliliğinin şehre dağılımında 2021 yılı verileri kullanılmış, PM₁₀ değeri en fazla Trafik ve Hürriyet istasyonu ve çevresinde yoğunluk göstermiştir. SO₂ değeri ise organize sanayi bölgesinin yanına konumlandırılan OSB istasyonunda yoğunluktayken diğer alanlarda daha düşük yoğunluktadır.

Kayseri şehrinde hava kirliliğini iyileştirmek amacıyla alınan önlemler olumlu sonuçlar doğurmuştur. Ancak halen hava kirliliği önemini koruyan ve ciddi tedbirlerin alınmasını gerektiren bir çevre sorunudur. Kirliliği önlemek için alınabilecek bazı önlemler şu şekildedir;

- Konutlarda doğalgaz kullanımı yaygınlaştırılmalı ve yakıt yakma teknikleri geliştirilmeli,

- Büyük küçük sanayi işletmelerinin mümkün olduğu kadar yerleşim merkezlerinden uzağa konumlandırılması,

- Şehir merkezlerindeki yoğun trafiğin çevre yollara aktarılması ve kişisel motorlu araçlar yerine temiz yakıt kullanan toplu taşıma araçları tercih edilmeli,

- Elektrikli araçların geliştirilmesi ve yaygınlaşması

- Sanayi alanlarında bulunan fabrikaların bacalarına filtre sistemi takılmalı ve yakıt olarak doğalgaz kullanımına özen gösterilmeli,

- Şehir planlamaları yapılırken meteorolojik ve topografik faktörler göz önünde bulundurulmalı,

- Hava kirliliğinin yoğun olduğu alanlarda daha çok ağaçlandırma çalışmaları yapılmalı, yeşil alanların varlığı artırılmalı.

- halkın hava kirliliği konusunda hassas ve bilinçli yaklaşmasını sağlamak için Eğitim sisteminde düzenlemeler yapılmalı,

- Sivil toplum örgütlerinin daha fazla faaliyetlerde bulunması,

- Şehirlere daha fazla hava kalitesi istasyonu konumlandırılmalı,

- Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde kirletici parametreler ve sınır değerleri tekrar kontrol edilmeli, parametrelerin sayıları artırılmalı, sınır değerler daha aşağı çekilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akyürek, Ö., Arslan, O., ve Karademir, A. (2013). SO₂ ve PM₁₀ Hava Kirliliği Parametrelerinin CBS İle Konumsal Analizi: Kocaeli Örneği. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*
- Altın, T.B. ve Barak, B. (2012). Seyhan havzasında 1970-2009 yılları arasında yağış ve hava sıcaklığı değerlerindeki değişimler ve eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*. (58). 21-34.
- Anenberg, S., Miller, J., Henze, D. and Minjares, R. (2019) A Global Snapshot Of The Air Pollution-Related Health Impacts Of Transportation Sector Emissions In 2010 And 2015
- Apaydın, D. (2014). *Kayseri İli İçin Alansal Kaynaklı Emisyon Envanterinin Oluşturulması*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Arslan, O. (2019). Kapadokya Bölgesi'nin Yaz Ayları Buharlaştırma Verileri İçin Trend Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 948-953
- Aydınlı, B., Güven, H. ve Kırksekiz, S. (2009). Hava Kirliliği Nedir, Ölçüm Ve Hava Kalite Modelleme Yöntemleri Nelerdir. *Hava Kirliliği ve Modellemesi Dergisi*. 16(2) 83-91
- Bağcı, H.R. (2013). 23.Çöl Tozlarının Elazığ, Diyarbakır, Adıyaman ve Şanlıurfa İllerinde İnsan ve Bitki Üzerinde Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Bağcı, H.R. (2021). *Tekkeköy'ün Yakın Tarine Bir Katkı: Tekkeköy'de Arazi Örtüsü ve Zamansal Değişiminin Değerlendirilmesi (1990-2018)*. Tarih Boyunca Tekkeköy. Serander Yayınları, Ankara
- Bağcı, H.R., Zeybek, H.İ. ve Demir, S. (2022). Süleymaniye (Gümüşhane) Kış Turizm Merkezi İçin Bir Uygunluk Analizi Araştırması. *Mavi Atlas Dergisi*. 10(2). 453-474
- Bahadır, M. (2011). Türkiye'de İklim Değişikliğinin İklim Bölgelerine Yansımada Kuzey-Güney Yönlü Sıcaklık ve Yağış Değişim Öngörülleri. *Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi*, S:26
- Barry, R.G. and Chorley, R.J. (2010). *Atmosphere, Weather and Climate*, Routledge, London and New York.
- Başar, P., Okay, P., Ergin, F., Cosan, S., ve Yıldız, A. (2005). Aydın ili kent merkezinde hava kirliliği /1997- 2004. *ADÜ Tıp Fakültesi Dergisi*. (66). 11-15.
- Bayat, B. (2011). Hava Kirliliği ve Kontrolü, *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim Dergisi*, 135(1) 55-59
- Bayram, H., Zeynep, D., Evyapan Fişekçi, F., Kargın, M. ve Bülbül, B. (2006). Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, Dünyada, Ülkemizde ve Bölgemizde Hava Kirliliği Sorunu, *Dicle Tıp Dergisi*. 33(2). 105-112
- Büyükyıldız, M. ve Berktaş, A. (2004). Parametrik Olmayan Testler Kullanılarak Sakarya Havzası Yağışlarının Trend Analizi. *Müh.-Mim. Fak. Derg.* 19(2).
- Cavkaytar, Ö., Soyer, Ö.U., ve Şekerel, B.E. (2013). Türkiye'de hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık sorunları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*. (2). 105-111.

- Coşkun, M. ve Ortaç, G. (2022). Filyos Çayı Havzası'nın (Karabük-Gökçebey) Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Taşkın Risklerinin Belirlenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi* 27(47), 15-27
- Cheng, C.S., Campbell, M., Li, Q., Li, G., Auld H., Day N., Pengelly D., Gingrich S., and Yap D., (2007). Synoptic climatological approach to assess climatic impact on air quality in south-central Canada. Part II: future estimates, *Water Air Soil Poll.* 182(1). 117-130.
- Çakır Sümer, G. (2014). Hava Kirliliği kontrolü: Türkiye’de hava kirliliğini önlemeye yönelik yasal düzenlemelerin ve örgütlerin incelenmesi, *International Journal of Economic and Administrative Studies.* (13). 37-56.
- Çayırdağ, M. (2001). Kayseri tarihi araştırmaları, Kayseri Büyükşehir Belediyesi Yayını, Kayseri.
- Çevik, G. (2019). *Çorum Organize Sanayi Bölgesinin Doğal Çevreye ve İnsana Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi. On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
- Çiçek, İ., Türkoğlu, N., ve Gürgen, G. (2004). Ankara’da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.* 14(2). 1-18
- Çiftçi, Ç., Dursun, Ş., Levend, S., Kunt, F., (2013). Topoğrafik Yapı, İklim Şartları ve Kentleşmenin Konya’da Hava Kirliliğine Etkisi. *European Journal of Science and Technology* Vol. 1(1). 19-24
- ÇSB (2020). Kayseri İli Temiz Hava Eylem Planı THEP (2020-2024)
- ÇSB (2017). Hava Kirliliği Raporu. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası
- ÇSB (2017) Kayseri İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu
- ÇSB (2014) Kayseri İli Temiz Hava Eylem Planı THEP (2014-2019)
- ÇSB (2014) Kayseri İli 2013 Yılı Çevre Durum Raporu
- ÇSB (2013) Kayseri İli 2012 Yılı Çevre Durum Raporu
- Dadaşer Çelik, F. ve Kırmacı, H.K. (2011). Kayseri ili kent merkezinde kükürtdioksit ve partiküler madde değerlerindeki değişimlerin incelenmesi, *Ekoloji.* (79). 83-92.
- Davalos, A.D., Luben, T.J., Herring, A. and Sacks, J. (2017). Current Approaches Used in Epidemiologic Studies To Examine Short-Term Multipollutant Air Pollution Exposures, *Annals of Epidemiology.* 27(2), 145-153.
- De Martonne, E. (1926). Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. *La Météorologie* (2). 449-458.
- Demir, M. (2015). *Dil Ovası'nda Hava Kirliliğinin Meteorolojik Açidan İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara
- Dıñoğlu, F. (2008). 19. Yüzyıl İstanbul: Hava Kirliliği Sorunu. *Toplumsal Tarih Dergisi.* S.169, 67-71
- Duman, C. (2017). *Bursa Kenti'nin Hava Kalitesini Etkileyen Coğrafi Faktörler ve Kirlenmelerin Zaman İçerisindeki Değişimi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa
- EMEP/EEA. (2013). Air pollutant emission inventory guidebook, Technical guidance to prepare national emission inventories. European Environment Agency, Doi: 10.2800/927
- EMEP/EEA. (2009). Emission Inventory Guidebook,. European Environmental Agency.

- EPA. (2003). United States Environmental Protection Agency. Principles and Practices of Air Pollution Control, Student Manual, Second Edition, Chapter 8.
- Erdoğan, A. ve Atabeyoğlu, Ö. (2016). Tarihi yapıların kentsel dokuya etkisi: Kayseri kent merkezi örneği *Türkiye Ormanlık Dergisi* 17(1). 83-92.
- Erinç, S. (1984). *Klimatoloji ve Metodları*. İstanbul: Güray Matbaası
- Özer, F. (2013). *Karabük'te Doğalgaz Kullanımının Hava Kirliliğinin Azaltılmasına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Garipağaoğlu, N. (2003). Türkiye'de Hava Kirliliğinin Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı, *Doğu coğrafya dergisi*, 8(9), 55-77.
- Garipağaoğlu, N. (2006). Türkiye'de Hava Kirliliği Sorununun Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı, *Doğu Coğrafya Dergisi*. 55-77.
- Garipağaoğlu, N. (2014). *Türkiye Ortam Sorunları Coğrafyası*. İstanbul: Yeditepe Yayınları.
- Garipağaoğlu, N. (2020). Çevre Sorunlarına Türk Coğrafyacıların Yaklaşımları ve bu Alanda Yapılmış Olan Çalışmalar. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, 18(35), 5-45
- Gorai, A.K., Tuluri, F., Tchounwou, P.B., and Ambinakudige, S., (2015), Influence of local meteorology and NO₂ conditions on ground-level ozone concentrations in the eastern part of Texas, USA, *Air Qual Atmos Health*.8(1). 81-96.
- Güngör, A. ve Sevindir, C. (2013). Isparta İlindeki Atmosferde Bulunan Kükürt dioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM) Konsantrasyonunun Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi İle Modellenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 17(1). 95-108.
- Güngör, A. (2013). *Isparta İlindeki Atmosferde Bulunan Kükürtdioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM) Konsantrasyonunun Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi İle Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Isparta.
- Hava Kirliliği Raporu. (2017). TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.
- HEAL, H. A. (2015). Türkiye'de Hava Kirliliği ve Sağlık Gerçekleri, Son erişim 5 nisan 2021. https://env-health.org/IMG/pdf/12_heal_briefing_air_turkey_tk.pdf
- İlkılıç, C. ve Behçet, R. (2006). Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*. 5(1) 66-72
- İncecik, S. (1994). Hava kirliliği. *İstanbul Teknik Üniversite Matbaası*, İstanbul.
- İRAP, (2021). Kayseri İl Afet Risk Azaltma Planı.
- İskender, S., Bolu, F., Yılmaz, M., Mayda, A. (2016). Düzce Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 Tarihleri Arasındaki Verilerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 6(3) 161-167.
- Karabaş, A.S. (2012), *Kayseri İli Baz Alınarak Enerji, Gürültü ve Hava Kirliliği Haritalarının CBS Yardımıyla Oluşturulması ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri
- Kara Rapor, (2021). Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri <https://www.temizhavahakki.org/kararapor2021/>
- Kardeşoğlu, E., Yalçın, M., ve Işılak, Z. (2011). Hava Kirliliği ve Kardiyovasküler Sistem. *TAF Preventive Medicine Bulletin*. 97-101.

- Kartal, Ş. (1985). Kayseri'deki hava kirliliği ve kirletici konsantrasyonların meteorolojik parametrelerle ilişkisi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Kartal, T. (2018). *Ulusaldan Yerele Türkiye’de İklim Değişikliği Politikaları ve Uygulamaları: Kayseri Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacıbektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir
- Karpuzcu, M. (1994). *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*. İstanbul: Kubbealtı Neşriyat.
- Kaya, Ö. ve Toroğlu, E. (2015). Kayseri’nin şehrsel gelişiminin izlenmesi ve değişim analizi, *Türk Coğrafya Dergisi*. (65). 87-96
- Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London.
- Keser, N. (2002). Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik Ve Klimatik Faktörler, *Marmara Coğrafya Dergisi* (5).
- Kırmacı, H.K. (2019). *Kahramanmaraş İli İçin Hava Kalitesinin Analizi Ve Modellemesi*, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Kayseri
- Kırımhan, S. (2006). *Hava Kirliliği ve Kontrolü*. Ankara: Turhan Yayınevi.
- Kopar, İ., ve Zengin, M. (2009). Coğrafi faktörlere bağlı olarak Erzurum kentinde hava kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (53), 51-69.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 13(3). 245-259.
- Mangır, N. (2014). İstanbul'da 2010 Yılına Ait Hava Kirliliğinin Envanterinin Halk Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Menteşe, S. ve Tağıl, Ş. (2012). Bilecik’te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi, *Balikesir University The Journal of Social Sciences Institute Volume*.15(28).
- MGM (2020). Erişim 10 Haziran 2020, <https://www.mgm.gov.tr>
- Miller, L., Farhana, S., and Xu, X. (2010). Trans-boundary air pollution in Windsor, Ontario (Canada). *Procedia Environmental Sciences*, 2, 585-594.
- Mills, N. L., Donaldson, K., Hadoke, P. W., Boon, N. A., MacNee, W., Cassee, F. R., and Newby, D. E. (2009). Adverse cardiovascular effects of air pollution. *Nature clinical practice Cardiovascular medicine*, 6(1), 36-44.
- Muslu, Y. (2000). *Ekoloji ve Çevre Sorunları*. İstanbul: Aktif Yayınevi,
- Özbey, B.G., Geven, F., Bölükbaşı, A., Güney, K., Günday, B. (2017). Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Hava Kalite Analizi (Mayıs 2016-2017), *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*. 5(2). 50-64
- Özdel, M.M. ve Aykır, D. (2021). Siirt Meteoroloji İstasyonuna Ait Bazı İklim Parametrelerinin Trend Analizi. *III. Uluslararası Coğrafya Kongresi*. 14-17 Ekim 2021, Sivas, Türkiye
- Özdel, M.M. (2020). *Diyarbakır Havzasında Sıcaklık ve Yağış Parametrelerinin Trend Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.
- Özer, Ç. (2013). *Çevre Kirliliği ve Kontrolü*. Nobel Yayınevi.
- Özşahin, E., Eroğlu, İ., ve Pektezel, H. (2016). Keşan’da (Edirne) Hava Kirliliği, *Selçuk Ün. Sos. Bil. Ens. Der;* (36). 83-100

- Özşeker, K. ve Erüz, C. (2011). Heavy Metal (Ni, Cu, Pb, Zn) Distribution in Sediments From The Coast Of Trabzon in The Black Sea. *Indian Journal Of Geo-Marine Sciences* 40(1) 48-54 Dağılımı.
- Öztürk, S., Işınkaralar, Ö., ve Yılmaz, D. (2021), Restorasyon çalışmaları sonrası yerel halkın algı ve tutumları (Kayseri kalesi örneği). *Doğu Coğrafya Dergisi* 26(45). 183-194
- Parker, A. (1961). Air pollution legislation: standards and enforcement. *Air Pollution, World Health Organization: Monograph Series*, (46).
- Partal T (2002) Türkiye yağış verilerinin trend analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Patel, M. M., Quinn, J. W., Jung, K. H., Hoepner, L., Diaz, D., Perzanowski, M., and Miller, R. L. (2011). Traffic density and stationary sources of air pollution associated with wheeze, asthma, and immunoglobulin E from birth to age 5 years among New York City children. *Environmental research*, 111(8), 1222-1229.
- Pope, C.A., Richard T. and Michael J. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *Jama*. 287(9). 1132-1141
- Robert J., Lambach M.D. (2010). Outdoor Air Pollutants and Patient Health. *American Family Physician* 81, 175-180.
- Salmi, T., Maatta, A., Antilla, P., and Ruoho, A. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the 238 excel template application MAKESENS. Publications On Air Quality, No 31 Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland.
- Subaşı, M. İ. (1998). *Dünden Bugüne Kayseri*, 4. Baskı, Geçit, Kayseri.
- Şahin, C. (1989). Hava kirliliği ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri. Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1(1). 194-208.
- Şahin, K., Bağcı, H.R., ve Sarı, E. (2016). Havza'da (Samsun) Hava Kirliliği Algısı. *Studies Of The Ottoman Domain*, 6(11)
- Şengün, M.T. ve Kırışan, K. (2012) Çöl tozlarının Türkiye'de doğal ve beşeri ortam üzerine etkisi . *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 22 (2). 1-15
- Şimşek, O., Gümüş, V., Soydan, N.G., Yenigün, K., Kavşut, M.E, ve Topçu, E. (2013). Hatay ilinde bazı meteorolojik verilerin gidiş analizi. *SDU International Journal of Technological Science* 5(2). 132-144.
- Toros, H. (1993). *Klimatolojik serilerden Türkiye ikliminde trend analizi*. Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Toros, H., Bağış, S. ve Gemici, Z. (2018). 34. Ankara'da Hava Kirliliği Mekânsal Dağılımının Modellenmesi *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1). 20-53
- Türkeş, M., Sümer, U.M., ve Çetiner, G. (2000) *Küresel İklim Değişikliği Ve Olası Etkileri* Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
- Türkeş, M. (2001). Küresel İklimin Korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye. Tesisat Mühendisliği, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süreli Teknik Yayın* (61).14-29.

- Uçar, A. (1996). *Şanlıurfa'da Hava Kirliliği ve Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Yu, Y.S., Zou, S., and Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology* 150(1). 61-80.
- Yurdam, A.H. (2008). *Çanakkale Kent Merkezinde Atmosfer Olayları ve Hava Kalitesi İlişkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
- Zhang, J. and Morawska L. (2002) .Combustion sources of particles: 2. Emission factors and measurement methods, *Chemosphere*, 49 (9): 1059-1074.
- WHO, (2014). *World Health Organization*. Son Erişim 22 Kasım 2022, <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>



ÖZ GEÇMİŞ

Gamze ACAK, Aydınlikevler Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya bölümünden 01.07.2019 tarihinde mezun oldu. 2019 yılında OMÜ LEE Coğrafya Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi ve halen eğitimine devam etmektedir. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-0604-8526

Yayınlar:

1. Acak, G. ve Altın, B.N. (2019). Yıldız Irmağı Havzasının Sel ve Taşkın Potansiyelinin Morfometrik Analizlerle Değerlendirilmesi, *II. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi (UCEK 2019)*
2. Acak, G. ve Bağcı H.R. (2022). Kayseri Şehrinde Hava Kirliliğinin Zamansal Değişimi, *TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*