

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK FOSİL
YAKIT KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA İLİ KEPEZ ÖRNEĞİ**

Yusuf ÖZGÜREL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK FOSİL
YAKIT KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA İLİ KEPEZ ÖRNEĞİ**

Yusuf ÖZGÜREL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK FOSİL
YAKIT KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA İLİ KEPEZ ÖRNEĞİ**

Yusuf ÖZGÜREL

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK FOSİL
YAKIT KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA İLİ KEPEZ ÖRNEĞİ**

Yusuf ÖZGÜREL

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez / / 201..... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ (Danışman)

[imza]

Doç. Dr. Serdar SELİM

[imza]

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL KARTAL

[imza]

ÖZET

UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK FOSİL YAKIT KAYNAKLI HAVA KİRLİTİCİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA İLİ KEPEZ ÖRNEĞİ

Yusuf ÖZGÜREL

Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ

II. Danışman: Öğr. Gör. Dr. Ercüment AKSOY

Haziran 2024; 60 sayfa

Küresel ısınma, orman yangınları, çölleşme, iklim değişiklikleri, salgın hastalıklar ve kıtlık gibi büyük tehlikelere yol açarak insan hayatını tehdit eden seviyelere ulaşmıştır. Özellikle kömür gibi fosil yakıtların kullanımı, kirliliği ve sera gazı emisyonlarını artırarak iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Çalışmada Antalya ilinin Kepez ilçesi pilot bölge olarak seçilmiştir. Kepez ilçesi sosyoekonomik seviyesi düşük olan ve sanayi tesislerinin yoğun olduğu bir bölgedir. Bu sebeple hava kirliliğinin bu özelliği taşıyan illerde sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri kullanılarak çeşitli kirleticiler değerlendirilmiştir. Veriler 2019-2023 yılları arasında TROPOMI'den elde edilen NO₂, CO, SO₂, O₃, H₂O ve HCHO verileri, MODIS'den elde edilen arazi yüzey sıcaklığı (LST) verileri, ESRI platformundan temin edilen arazi kullanımı arazi örtüsü (LULC) haritası ve Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan mahalle nüfus verilerinden oluşmaktadır. Sonuçlar O₃, NO₂, CO ve H₂O'nun en yüksek yapılaşma alanlarında, en düşük ise tarım ve ormanlık alanlarda bulunduğunu göstermektedir. SO₂ ve HCHO konsantrasyonları yıllara göre sınıflar arasında farklı dağılımlar göstermiştir. Mahalle bazında analizlerde kirleticiler konsantrasyonları (O₃, NO₂, CO) kırsal mahallelerde merkez mahallere göre daha düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. O₃ ile CO ve H₂O arasında yüksek pozitif korelasyonlar, SO₂ ile CO, O₃ ve H₂O arasında orta seviye negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. LST ile CO ve O₃ arasında orta seviye korelasyonlar bulunmuştur. NO₂ ile TÜİK nüfus verileri arasında orta seviye korelasyon tespit edilmiştir. Bu bulgular Kepez'deki hava kirliliğinin kaynaklarını ve dağılımını anlamak için değerli bilgiler sunmakta ve iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik kararların alınmasına yardımcı olmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Fosil yakıt, Google Earth Engine, Hava kirliliği, Sentinel-5P, TROPOMI, Zonal istatistik

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ

Doç. Dr. Serdar SELİM

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL KARTAL

ABSTRACT

TEMPORAL AND SPATIAL ASSESSMENT OF FOSSIL FUEL SOURCES AIR POLLUTANTS USING REMOTE SENSING AND SPATIAL DATA: A CASE STUDY OF ANTALYA PROVINCE KEPEZ

Yusuf ÖZGÜREL

MSc Thesis in Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ

II. Supervisor: Asst. Lect. Dr. Ercüment AKSOY

June 2024; 60 pages

Global warming has reached levels that threaten human life by causing major hazards such as forest fires, desertification, climate change, epidemics and famine. The use of fossil fuels such as coal is a significant contributor to climate change, due to the increased pollution and greenhouse gas emissions.

The study selected the Kepez district of Antalya province as a pilot region. The Kepez district is a region with a low socioeconomic level and dense industrial facilities. Therefore, it is important to monitor air pollution continuously in provinces with these characteristics. In the study, a variety of pollutants were evaluated using Geographic Information Systems (GIS) tools and Remote Sensing (RS) methods. The data set comprises NO₂, CO, SO₂, O₃, H₂O and HCHO data obtained from TROPOMI, land surface temperature (LST) data obtained from MODIS, a land use land cover (LULC) map obtained from the ESRI platform and neighbourhood population data obtained from the Turkish Statistical Institute (TurkStat) between 2019 and 2023. The results demonstrate that the concentrations of O₃, NO₂, CO and H₂O are highest in built-up areas and lowest in agricultural and forested areas. The distributions of SO₂ and HCHO concentrations exhibited differing patterns over time. In neighbourhood-based analyses, the concentrations of pollutants (O₃, NO₂, CO) were found to be lower in rural neighbourhoods than in central neighbourhoods. The data revealed high positive correlations between O₃ and CO and H₂O, as well as moderate negative correlations between SO₂ and CO, O₃ and H₂O. Medium correlations were observed between LST CO and O₃. Moderate correlations were identified between NO₂ and TurkStat population data. These findings offer valuable insights into the sources and distribution of air pollution in Kepez, providing a basis for strategic decisions to combat climate change.

KEYWORDS: Air pollution, Fossil fuel, Google Earth Engine, Sentinel-5P, TROPOMI, Zonal statistics

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ

Assoc. Prof. Dr. Serdar SELİM

Asst. Prof. Dr. Neslihan ÜNAL KARTAL

ÖNSÖZ

Bu tez, küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Antalya ili Kepez ilçesindeki hava kalitesini değerlendiren bu çalışma, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. 2019-2023 yılları arasında elde edilen uydu verileri kullanılarak, Kepez'deki hava kirliliğinin mekansal dağılımını anlamak ve kirleticilerin yoğunluğunu etkileyen faktörleri belirlemek hedeflenmiştir. Çalışmanın çıktılarının, karar vericilere önleyici tedbirler almada yardımcı olması ve insan sağlığını tehdit eden kaynaklara karşı alınacak önlemlere katkı sağlaması beklenmektedir.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesiyle bana rehberlik eden, her aşamada desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi C. Bertan GÜLLÜDAĞ'a ve Sayın Öğr. Gör. Dr. Ercüment AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Akademik yolculuğumda beni cesaretlendiren, sorunların çözümünde özgün bakış açısı kazandıran kıymetli hocalarımla varlığı, bu çalışmanın en önemli motivasyon kaynaklarından biri olmuştur.

Son olarak, bu süreçte en büyük destekçilerim olan aileme en derin teşekkürlerimi iletmek isterim. Özellikle anne ve babama, verdikleri emekler, bana duydukları inanç ve sağladıkları destekler için sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Fosil Yakıt Sınıflaması.....	4
2.1.1. Kömür.....	4
2.1.2. Petrol	4
2.1.3. Doğal Gaz.....	5
2.2. Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri	5
2.3. Atmosfer, Hava Kirliliği ve Hava Kirleticiler.....	6
2.3.1. Ozon (O ₃)	7
2.3.2. Kükürt dioksit (SO ₂).....	7
2.3.3. Azot dioksit (NO ₂).....	8
2.3.4. Formaldehit (HCHO)	8
2.3.5. Karbon monoksit (CO).....	8
2.3.6. Su buharı (H ₂ O).....	8
2.3.7. Partikül madde (PM)	9
2.4. Uzaktan Algılama ile Hava Kirleticilerinin Tespiti	9
2.5. Önceki Çalışmalar	9
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. Çalışma alanı	16
3.1.2 Çalışmada kullanılan platformlar ve veri setleri	17
3.1.2.1. Sentinel-5P TROPOMI	17
3.1.2.2. Terra ve Aqua MODIS.....	19
3.1.2.3. Nüfus verisi	19

3.1.2.4. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC).....	19
3.1.2.5. Google Earth Engine.....	21
3.1.2.6. Python	22
3.1.2.7. QGIS	22
3.2. Metot	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1. Bulgular.....	25
4.1.1. Uydu tabanlı hava kirletici ölçümleri.....	25
4.1.1.1. Ozon (O ₃) konsantrasyonu	26
4.1.1.2. Kükürt dioksit (SO ₂) konsantrasyonu	27
4.1.1.3. Azot dioksit (NO ₂) konsantrasyonu	29
4.1.1.4. Formaldehit (HCHO) konsantrasyonu	30
4.1.1.5. Karbon monoksit (CO) konsantrasyonu	32
4.1.1.6. Su buharı (H ₂ O) konsantrasyonu	34
4.1.1.7. Kepez ilçesi arazi yüzey sıcaklığı haritası	35
4.1.2. Mahalle bazlı zonal istatistik.....	37
4.1.2.1. Ozon (O ₃) yıllık ortalama konsantrasyonları	37
4.1.2.2. Kükürt dioksit (SO ₂) yıllık ortalama konsantrasyonları	37
4.1.2.3. Azot dioksit (NO ₂) yıllık ortalama konsantrasyonları	38
4.1.2.4. Formaldehit (HCHO) yıllık ortalama konsantrasyonları	38
4.1.2.5. Karbon monoksit (CO) yıllık ortalama konsantrasyonları.....	38
4.1.2.6. Su buharı (H ₂ O) yıllık ortalama konsantrasyonları.....	38
4.1.2.7. Arazi yüzey sıcaklığı.....	46
4.1.3. Veriler arasındaki korelasyon.....	48
4.2. Tartışma.....	49
5. SONUÇLAR.....	53
6. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “UZAKTAN ALGILAMA VE YERSEL VERİLER KULLANILARAK FOSİL YAKIT KAYNAKLI HAVA KİRLETİCİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA İLİ KEPEZ ÖRNEĞİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

25/06/2024

Yusuf ÖZGÜREL



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
kg	: Kilogram
°C	: Derece santigrat
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
m ²	: Metrekare
m	: Metre
nm	: nanometre
mol/m ²	: Metrekare başına mol
µg/m ³	: Metreküp başına mikrogram
ppm	: Milyonda bir birim
Ar	: Argon
C	: Karbon
CH ₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
COHb	: Karboksihemoglobin
H	: Hidrojen
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su buharı
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
HCHO	: Formaldehit
He	: Helyum
Hg	: Civa
Kr	: Kripton
MJ	: Mikro Joule

N	: Azot
N ₂ O	: Diazot oksit
Ne	: Neon
NH ₃	: Amonyak
NO	: Azot oksit
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot oksitler (NO+NO ₂)
O	: Oksijen
O ₂	: Oksijen
O ₃	: Ozon
S	: Kükürt
SO ₂	: Kükürtdioksit
XeO ₂	: Ksenon

Kısaltmalar

AI	: Aerosol İndeksi
AOD	: Aerosol Optik Derinlik
AQI	: Hava Kalitesi İndeksi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
COVID-19	: Koronavirüs Hastalığı 2019
DEM	: Dijital Yükseklik Modeli
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EDXRF	: Enerji Ayırmalı X Işını Flüoresans
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
EVI	: Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi
GEE	: Google Earth Engine
GOME	: Küresel Ozon İzleme Deneyi
IR	: Kızılötesi

LST	: Arazi Yüzey Sıcaklığı
LULC	: Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDBI	: Normalleştirilmiş Fark Yapay Alan İndeksi
NDVI	: Normalize Bitki İndeksi
NIR	: Yakın Kızılötesi
NSIDC	: Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi (National Snow and Ice Data Center)
OMI	: Ozon İzleme Aracı
PM	: Partiküler Madde
SİM	: Sürekli İzleme Merkezi
SWIR	: Kısa Dalga Kızılötesi
TAP	: Sınır Ötesi Hava Kirliliği
TIR	: Termal Kızılötesi
TOMS	: Toplam Ozon İzleme Aracı
TROPOMI	: Troposferik İzleme Cihazı
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UA	: Uzaktan Algılama
UHI	: Kentsel Isı Adası
USGS Survey)	: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (United States Geological
UV	: Ultraviyole
VIS	: Görünür Işık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma alanı	16
Şekil 3.2. Sentinel-5P veri ürünleri (ESA-1 2024)	18
Şekil 3.3. ArcGIS Living Atlas of the World platformu (Esri-Sentinel 2 LULC 2023)	21
Şekil 3.4. GEE kod editörü (GEE 2024)	22
Şekil 3.5. İş akış şeması	24
Şekil 4.1. Kepez ortalama O ₃ konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası	26
Şekil 4.2. Kepez ortalama SO ₂ konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası	28
Şekil 4.3. Kepez ortalama NO ₂ konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası	30
Şekil 4.4. Kepez ortalama HCHO konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası	31
Şekil 4.5. Kepez ortalama CO konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası	33
Şekil 4.6. Kepez ortalama H ₂ O konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası	35
Şekil 4.7. Kepez ortalama LST değerleri ve arazi sınıfları haritası	36
Şekil 4.8. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama O ₃ konsantrasyonu	40
Şekil 4.9. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama SO ₂ konsantrasyonu	41
Şekil 4.10. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama NO ₂ konsantrasyonu	42
Şekil 4.11. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama HCHO konsantrasyonu	43
Şekil 4.12. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama CO konsantrasyonu	44
Şekil 4.13. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama H ₂ O konsantrasyonu	45
Şekil 4.14. Kepez aylık LST değerleri	46
Şekil 4.15. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama LST değerleri	47
Şekil 4.16. Korelasyon matrisi	48
Şekil 4.17. Antalya SİM istasyonları	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Değişken konsantrasyonlardaki atmosfer gazları.....	6
Çizelge 2.2. Sabit konsantrasyonlardaki atmosfer gazları.....	7
Çizelge 3.1. Kepez ilçesi yıllara ve yaş sınıflamasına göre nüfus dağılımı	17
Çizelge 3.2. Sentinel-5P uydusu özellikleri (ESA-2 2024)	18
Çizelge 3.3. TROPOMI spektral bantlarının temel özellikleri	18
Çizelge 3.4. Terra ve Aqua uydusu özellikleri (USGS 2024)	19
Çizelge 3.5. Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü sınıf tanımları (Karra 2021).....	20
Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan veri setleri	23



1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre, hava kirliliği, yılda tahmini yedi milyon insanı öldüren önemli bir çevresel risk faktörüdür (DSÖ, 2020; Bala vd. 2024) DSÖ, hava kirliliğini toplumdaki dengeyi bozan bir faktör olarak tanımlamıştır (DSÖ, 2020; Rabiei-Dastjerdi vd. 2022) ve nüfus ile teknolojik büyüme birlikte, doğal kaynakların uygunsuz kullanımı hava kalitesinin bozulması gibi olumsuz sonuçlara neden olabilir (Begum vd. 2009; Rabiei-Dastjerdi vd. 2022).

Hızlı ekonomik gelişme, kentleşme, enerji tüketimi, ulaşım ve motorizasyon nedeniyle ortaya çıkan büyük miktardaki emisyonlar atmosfere çeşitli kirleticilerin salınmasına ve ekosistem üzerinde önemli olumsuz etkileri olan hava kirliliğine neden olmaktadır (Hassaan vd. 2023). Atmosferik konsantrasyonları artan aerosol parçacıklar, karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot dioksit (NO₂), formaldehit (HCHO) ve ozon (O₃) gibi atmosferik kirleticiler astım, kalp hastalığı, akciğer hastalığı ve erken ölüm gibi insan solunum organları üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur (Hansel vd. 2016; Gurjar vd. 2016; Zhu vd. 2020; Bala vd. 2024).

Global hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri solunum, kardiyovasküler ve doğurganlık hastalıkları dahil olmak üzere tüm yaş gruplarını özellikle çocuklar, kadınlar ve yaşlılar gibi hassas grupları etkilemektedir (Hassaan vd. 2023). DSÖ verilerine göre, 10 kişiden 9'u DSÖ kılavuz sınırlarını aşan ve yüksek seviyelerde kirleticiler içeren hava solumakta, düşük ve orta gelirli ülkeler en yüksek maruziyetleri yaşamaktadır (DSÖ 2021; Mamić 2021).

Hava kirliliğinin izlenmesi ve yönetilmesi başta metropollerde olmak üzere tüm kentlerde dikkate alınması gereken temel sorunlardan biridir. Ancak çok sayıda izleme istasyonunun kurulumu, bakımı belediyelere ve hükümetlere yüksek maliyet oluşturur. Yer istasyonları yüksek mekansal ve zamansal çözünürlükte hava kalitesini ölçebilse de konumlarına yakın sınırlı alanları ölçebilirler ve istasyon sayıları nihai sonuçları doğrudan etkiler (Ahmadian vd. 2018; Rabiei-Dastjerdi vd. 2022).

Uydu tabanlı uzaktan algılama (UA) teknolojisi, farklı ölçeklerde hava kalitesinin uzun vadeli mekansal ve zamansal izlenmesi için etkili bir çözüm sunarak hava kalitesi parametrelerinin düzenli aralıklarla ve dinamik ölçekte çok zamanlı kapsama alanında elde edilmesi ve haritalanması konusunda karar vericilere destek olabilir (Hassaan vd. 2023). Uzaktan algılanan veriler genellikle küresel kapsama sağlar (Burrows vd. 1999; Veefkind vd. 2012; Savenets vd. 2022) ve nesnelere doğrudan temas etmeden hava kirliliği, gaz emisyonları ve atmosferdeki asılı partiküller gibi çeşitli parametreleri ölçmeyi mümkün kılar (Cai vd. 2012; Rabiei-Dastjerdi vd. 2022). 1978'de Toplam Ozon İzleme Aracı (TOMS), 1995'te Küresel Ozon İzleme Deneyi (GOME), 2004'te Ozon İzleme Aracı (OMI) ve 2017'de Sentinel-5P Troposferik İzleme Cihazı (TROPOMI) dahil olmak üzere 40 yılı aşkın bir süredir, hava kalitesinin izlenmesi ve takibi için uydu verileri kullanılmaktadır (Burrows vd. 1999; Nacef vd. 2016; Khorrami vd. 2019, Ünal Çilek 2022).

Hızlı şehir nüfus artışı, şehir genişlemesi ve şehirleşme sonucunda sınırlı tarım ve yeşil alanlara yapılan müdahale, yeşil örtüyü yok etmeye yol açar (Fuladlu ve Altan 2021). Bu yok olma nüfus artışıyla birlikte arazi yüzey sıcaklık değerinin (LST) yükselmesine,

kentsel ısı adası (UHI) oluşumuna ve hava kirliliği gibi çevresel etkilere neden olur. LST, şehir ikliminin oluşumunda önemli bir parametre olarak kabul edilir (Fuladlu ve An 2021).

Hava kirliliğindeki artış, LST değerlerinde artışla ilişkilendirilmektedir (Cao vd. 2016; Rahaman vd. 2024). Hava kirliliği ile LST arasındaki ilişki göz önüne alındığında UHI etkisi, azot oksitler ve partikül madde gibi kirleticilerin sıcaklığı emerek ve koruyarak kısmen katkıda bulunabileceği şekilde değerlendirilebilir (Akbari vd. 2001; Ruan vd. 2021; Kafy vd. 2022; Z. A. Rahaman vd. 2022a, b; Rahaman vd. 2024). Bu kirleticiler dünya yüzeyinin yansıtma özelliklerini değiştirme ve sıcaklık değişimlerine yol açma mantığıyla çalışır (Bond vd. 2013; Rahaman vd. 2024). Hava kirleticilerinin konsantrasyonu ile LST arasındaki etkileşim, kentsel ve çevresel planlama için hayati önem taşır, UA verileri ve istatistiksel analizlerle aydınlatılabilir (Rahaman vd. 2024).

20. yüzyıl boyunca büyük kentsel gelişmeler, çeşitli insan faaliyetleri aracılığıyla arazi kullanımı ve örtüsü (LULC) değişikliklerinde farklılık yaratmıştır (Aboelnour ve Engel, 2018; Moniruzzaman vd. 2021; Zarin ve Esraz-Ul-Zannat 2023). LULC verileri, plansız kentleşme ve çevresel zorluklarla mücadele etme girişimlerinde ulusal düzeyde hayati öneme sahiptir ancak farklı arazi kullanımları farklı düzeylerde kirletici emisyon üretmektedir (Hassan ve Nazem, 2016; Ma vd. 2017; Kafy vd. 2020; Zarin ve Esraz-Ul-Zannat 2023).

LULC, küresel değişimin incelenmesinde kritik konulardan biridir çünkü biyoçeşitlilik kaybı ve insan hayatı üzerinde önemli etkilere sahiptir (Asnawi ve Choy 2016; Kanianska 2016; Asnawi vd. 2018; Najwa Shahrin vd. 2019). Kentleşme ve ekonomik büyüme, LULC değişikliğine yol açarak öncelikle yapılaşma alanlarının ve boş arazilerin artmasına, bitki örtüsü, tarım arazileri ve su alanlarının azalmasına neden olarak hava kirleticilerinin artmasına ve dolayısıyla hava kalitesinin kötüleşmesine, bölgesel iklimi etkileyerek hava kirliliği taşınımına neden olur ve yayılmasını etkiler (Zheng vd. 2017; Naikoo vd. 2020; Sharma vd. 2022). Artan altyapı, yapılaşmayı (yüksek binalar, yollar, otoyollar vb.) arttırırken tarım arazilerini azaltmıştır (Singh vd. 2022; Sharma vd. 2022).

UA ve Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılarak küresel ölçekte kentsel yayılım üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Zamansal değişimi tespit etme yeteneği ve düşük maliyeti nedeniyle giderek daha fazla kişi uzaktan algılama teknolojisini kullanmaktadır (Jat, Garg, ve Khare, 2008; Kandel ve Pokhrel, 2024). Kentleşme hızla ilerledikçe, LULC değişikliklerinin yerel meteorolojik koşullar, kentsel hava kalitesi ve bölgesel iklim değişikliği üzerindeki etkileri son birkaç on yılda giderek daha önemli hale gelmiştir (IPCC, 2014; Oke vd. 2017; Lu vd. 2023). Çok sayıda çalışma LULC ve hava kalitesi arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermiştir (Zhu vd. 2019). Farklı şehirler ve toprak kullanım türleri, hava kalitesi üzerinde farklı etkilere sahiptir (Lu ve Liu 2018; Mou vd. 2018; Zhu vd. 2019). Toprak kullanımı doğal yüzey örtüsü, kentsel hava kalitesini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilir. Şehirlerdeki ormanlar ve su alanları uygulamaları, yerel kentsel hava kalitesini önemli ölçüde iyileştirebilir (Tao vd. 2013; Szogs vd. 2017; Zhu vd. 2019).

Bu çalışma, fosil yakıt kaynaklı hava kirleticilerinin uzaktan algılama ve yersel veriler ile mekansal ve zamansal değişimleri ele alınarak, Kepez ilçesindeki hava kirliliği durumunu kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Kepez ilçesi, Antalya ilinin

sosyal kırılganlık açısından indeksi yüksek olma potansiyeline sahip olması ve hava kirliliği açısından risk teşkil edebilecek unsurları içermesi nedeniyle seçilmiştir. Çalışmanın temel amacı, 2019-2023 yılları arasında Sentinel-5P TROPOMI uydusundan elde edilen NO₂, CO, SO₂, O₃, H₂O ve HCHO verilerini kullanarak, hava kirleticilerinin mekansal dağılımını ve zaman içindeki değişimlerini belirlemektir. Ayrıca Terra ve Aqua uydularındaki MODIS enstrümanı ile elde edilen LST verileri de analiz edilmiştir. Bu veriler, QGIS yazılımında zonal istatistik araçları kullanılarak Kepez ilçesindeki mahalleler bazında işlenmiş ve ESRI platformundan elde edilen 10 m mekansal çözünürlüklü arazi kullanım haritaları ile Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) temin edilen mahalle nüfus verileri ile birleştirilmiştir.

Çalışmanın hedefi Kepez ilçesindeki farklı mahallelerde hava kirliliği seviyelerini karşılaştırmak ve bu kirliliğin yoğunluğunu etkileyen faktörleri tespit etmektir. Bu bağlamda, LULC, LST ve TROPOMI verileri kullanılarak çeşitli analizler yapılmış ve Google Colaboratory üzerinde Python ile yıllık kirleticisi, LST ve nüfus verileri grafiklerle gösterilmiş, veriler arasındaki korelasyonlar belirlenmiştir. Bulgular Kepez ilçesinde hava kirliliğinin mekansal ve zamansal dağılımını anlamak için önemli ipuçları sağlamaktadır. İnsan faaliyetleri ve yüzey sıcaklıklarının artışının özellikle O₃, NO₂ ve CO gibi kirleticilerin seviyelerini etkileyen başlıca faktörler olarak öne çıktığı gözlemlenmiştir.

Bu hedefler doğrultusunda karar vericiler bölgesel sorunların konumu, nedenleri ve mekansal çıktıları hakkında bilgi edinerek, sahada etkin mücadele etme yeteneklerini arttırabilecektir. Günümüzde kamu ve yerel yönetimlerin en önemli çalışma başlıklarından biri olan iklim değişikliği, bu çalışmayı daha da değerli kılmaktadır. Bu bağlamda elde edilen veriler ve analizler, iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik kararların alınmasına katkı sağlayacaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Fosil Yakıt Sınıflaması

Fosil yakıt; oksijensiz (oksijen eksik) ortamlara gömülmüş ve milyonlarca yıl boyunca yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kalmış biyolojik kökenli hidrokarbon içeren materyallerin ve bitki kalıntılarının organik maddesi olarak tanımlanır (ABD Enerji Bakanlığı). Fosil yakıtların üç temel türü kömür, petrol ve doğal gazdır.

Genel olarak fosil yakıtlar enerji arzımızın kritik bir bileşeni olup ekonomimizde önemli bir rol oynarlar. Ancak, olumsuz çevresel etkilere sahiptirler ve sınırlı bir kaynaktır. Sürdürülebilir bir geleceğe doğru bakarken, alternatif enerji kaynaklarını düşünmek ve fosil yakıtları daha verimli ve sorumlu bir şekilde kullanmak önemlidir.

İklim değişikliği şüphesiz günümüzün en baskın sorunlarından biridir. Sera gazlarının salınımı nedeniyle küresel ısınma, gezegenimiz ve sakinleri için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı, sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olup, iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden biri olarak belirlenmiştir.

2.1.1. Kömür

Kömür; bitki kalıntılarının sıkışma, sıcaklık ve basınç etkisiyle parçalanması ve dönüşümü sonucunda oluşan katı, kırılabilir, yanıcı ve karbon içeren bir kaya türüdür (Speight 2005). Organik olarak kömür genellikle karbon, hidrojen ve oksijen içerirken, inorganik olarak çeşitli kül oluşturan bileşikler de içerebilir (Miller 2005). Her kömürün bileşimi ve karakteri, öncelikle orijinal organik ve inorganik birikimin doğasına ve daha sonra geçirdiği diyajenez derecesine bağlı olarak belirlenir (Thomas 2020).

Karbon içeriğine göre kömür; bitümlü, alt-bitümlü, antrasit ve linyit gibi sınıflandırılır (Nunex 2019; Dincer ve Abu-Rayash 2020; Siddik ve Islam 2021) ancak kaliteleri genellikle derinlik ve zaman, basınç, sıcaklık, bitişik kaya türleri gibi faktörlere bağlıdır (Stephenson 2018; Siddik ve Islam 2021).

Kömür, öncelikle karbon olmak üzere çeşitli diğer elementler, özellikle kükürt içeren bir bileşiktir. Dünya genelinde elektrik üretimi için en büyük tek kaynak olarak kullanılmakta olup, aynı zamanda karbon dioksit emisyonlarının da en büyük kaynağıdır ki bu da küresel ısınmanın başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir (Kumar 2013).

2.1.2. Petrol

Petrol teriminin ilk belgelenmiş kullanımı, Latince *petra* (kaya) ve *oleum* (yağ) kökenli olarak, Constantinus Africanus (yaklaşık 1020-1087) tarafından yapılmıştır (McDonald 2011; Hsu ve Robinson 2017).

Ham petrol tek bir kimyasal bileşik değildir, binlerce, bazen yüz binlerce farklı bileşik içerir. Bazıları CH_4 (metan) gibi basitken, bazıları $C_{35}H_{50}$ gibi karmaşık bileşiklerdir (Leffler 2008). Bunların hepsi genellikle hidrokarbon olarak adlandırılan, hidrojen ve karbon atomlarının birleşimleridir (Leffler 2008). Hidrokarbonlar petrolün

%50–98'ini oluşturur ve geri kalanı genellikle karbon, hidrojen, oksijen, azot veya kükürt içeren organik bileşiklerin yanı sıra iz miktarlarda organometalik bileşiklerden oluşur (Gad 2024). Petrolün yeterli derinliğe gömüldükten sonra termal çatlama yoluyla eski denizler, göller ve lagünlerde birikmiş organik maddelerden oluştuğu kabul edilmiştir (Lijmbach 1975; Posthuma 1977). Bu organik madde gömüldüğünde bir dizi süreç gerçekleşir ve bunun sonucunda petrol ve gaz oluşur (Posthuma 1977).

Petrol dünya çapında birçok kullanım alanına sahiptir. Başlıca kullanım alanları; benzin, dizel yakıt, kerosen ve sıvılaştırılmış petrol gazı gibi çeşitli yakıt türleridir. Ayrıca plastikler, boya, kauçuk, asfalt gibi malzemelerin üretiminde hammadde olarak da kullanılır (Eneh, 2011). Petrol enerji kaynağı olarak özellikle endüstriyel, ticari ve evsel amaçlar için kullanılan en önemli kaynaklardan biridir, bu da onu insan ihtiyaçları için temel doğal kaynaklardan biri yapmaktadır (Asif vd. 2022; Rivelino vd. 2024).

2.1.3. Doğal Gaz

Doğal gaz; inorganik bileşiklerin az miktarda bulunduğu karmaşık bir hidrokarbon karışımı olan petrolün bir alt kategorisidir ve sıvı petrol olan petrolün gaz halidir, bu nedenle her zaman sıvı petrolle birlikte bulunur (Guo ve Ghalambor 2005). Dünya'nın derinliklerinde oluşan doğal gaz, genellikle CH₄ den oluşur, ancak aynı zamanda hidrokarbon gaz sıvıları ve hidrokarbon olmayan gazların küçük miktarlarını da içerebilir (Speight 2014a, 2017a; Faramawy vd. 2016; Speight 2019).

Doğal gaz, yüksek yanma potansiyeline sahip olan bir gazdır ve bu özelliğiyle endüstriyel, ticari ve evsel kullanım alanlarında geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Kömür veya petrolden daha az kükürt, karbon ve azot emisyonuna sahip olup, yanma sonrası neredeyse hiç kül parçacığı bırakmaz (Kumar 2013).

2.2. Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri

Fosil yakıtlar yüzyıllardır küresel enerji dengesinin kritik bir bileşeni olmuş, dünyanın çoğunlukla elektrik ve taşımacılık yakıtlarını sağlamıştır (Zhang vd. 2023; Alagoz ve Alghawi 2023). Ancak fosil yakıtların kullanımı aynı zamanda sera gazı emisyonlarının önemli bir nedeni olup, bu emisyonlar iklim değişikliğinin başlıca sebeplerindendir (Ma vd. 2023; Alagoz ve Alghawi 2023).

Sera gazları başlıca karbondioksit (CO₂) ve kükürt içermektedir. Bu gazlar atmosferde ısının hapsolmesine ve önemli ölçüde sıcaklık artışına ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır (Mohd Mokhta vd. 2019; Ma vd. 2021; Jeffry vd. 2021).

Sera etkisi, çeşitli insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak atmosferdeki doğal dengeyi bozan önemli bir sorundur (Mikhaylov vd. 2020). Bu etki, sanayi ve evlerde kullanılan kömür, petrol, doğal gaz gibi yanıcı minerallerin yanmasıyla ortaya çıkan yüksek miktardaki karbon dioksit ve zararlı bileşiklerin atmosfere salınmasıyla tetiklenir. Ayrıca otomobiller ve kamyonlar gibi taşımacılık araçlarından yayılan egzoz gazları da atmosferi kirletir ve sera etkisini güçlendirir (Mikhaylov vd. 2020).

Fosil yakıtların yakılması iklim istikrarına verilen karmaşık zararların yanı sıra atmosferik kirliliği de üretir ve kısa ve uzun zaman dilimlerinde birçok hastalığı tetikler

veya kötüleştirir (Armaroli ve Balzani 2011). Uzmanlar uzun süredir fosil yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin kardiyopulmoner sağlık sorunlarına yol açtığını anlamışlardır (Landrigan vd. 2018; Kotcher vd. 2019) ve bilim insanları giderek artan şekilde fosil yakıtların kullanımıyla büyük ölçüde tetiklenen iklim değişikliği ile ilişkili önemli sağlık etkilerini belgelemektedirler (USGCRP 2016; Kotcher vd. 2019).

Dünya şu anda yaşadığı en büyük sorunlardan biri iklim değişikliği olup, fosil yakıtların kullanımı önemli ölçüde sera gazı emisyonlarını artırmaktadır.

2.3. Atmosfer, Hava Kirliliği ve Hava Kirleticiler

Atmosfer; Dünya'yı çevreleyen, yeryüzünden 560 km yukarıya kadar uzanan bir gaz karışımıdır (UCAR 2024). Yaklaşık %78'ini NO₂ oluşturmaktadır. Bu gaz karışımının günlük ve mevsimsel dalgalanmaları insan sağlığı üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir (Jamal vd. 2004; Aksoy 2023).

Atmosfer farklı katmanlardan oluşmaktadır. Bunlar; Troposfer, Stratosfer, Mezosfer, Termosfer, İyonosfer ve Ekzosfer'dir. Yeryüzünü etkileyen hava olayları Troposfer'de meydana gelir ve gazların %80'i bu katmanda yer alır (Vallero 2014). Atmosferdeki gazlar değişken (Çizelge 2.1.) veya sabit konsantrasyonlu (Çizelge 2.2.) olabilmektedir.

Çizelge 2.1. Değişken konsantrasyonlardaki atmosfer gazları (Godish 1997; Jamal vd. 2004; Aksoy 2023)

Gaz	Formül	Konsantrasyon (ppmv)
Su buharı	H ₂ O	0.1-300 000
Karbondioksit	CO ₂	360
Metan	CH ₄	1.72
Azot oksit	NO	0.33
Karbon monoksit	CO	0.11
Ozon	O ₃	0.02
Amonyak	NH ₃	0.004
Azot dioksit	NO ₂	0.001
Kükürt dioksit	SO ₂	0.001
Azot dioksit	NO ₂	0.0005
Hidrojen sülfür	H ₂ S	0.00005

Atmosferik kirleticilerin birincil kaynakları doğal veya antropojenik olup, antropojenik emisyonlar esas olarak dünya nüfusunun enerji ve gıda temini ile ilişkilidir (Lagzi vd. 2013). Hava kirleticilerinin doğal kaynakları volkanik patlamalar, kum fırtınaları, yıldırım ve orman yangınları iken, antropojenik kaynaklar fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, kömür madenciliği, solvent kullanımı, doğal gaz sızıntıları ve çöplüklerdir; yanma ile ilgili olmayan kaynaklar ise özellikle uçucu organik bileşikler ve CH₄ açısından önemlidir (Miller 2005).

Çizelge 2.2. Sabit konsantrasyonlardaki atmosfer gazları (Godish 1997; Jamal vd. 2004; Aksoy 2023)

Gaz	Formül	Konsantrasyon (ppmv)
Nitrojen	N ₂	780840
Oksijen	O ₂	209460
Argon	Ar	9340
Neon	Ne	18.18
Helyum	He	5.24
Kripton	Kr	1.14
Hidrojen	H ₂	0.50
Ksenon	XeO ₂	0.09

Hem antropojenik hem de doğal faaliyetler tarafından atmosfere salınan çeşitli hava kirleticiler, asitleşme, hava kalitesinin bozulması, küresel ısınma/iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasının incilmesi, bitki örtüsü, topraklar, yeraltı suyu, sucul ekosistemler, insan sağlığı ve aynı zamanda yapılaşmış çevre üzerinde zararlı etkiler gibi birçok mevcut ve potansiyel çevre sorununun nedenidir (Lagzi vd. 2013).

Atmosferik emisyonların birçok farklı kaynağı vardır, bunlar; sanayi, enerji temini (elektrik santralleri, rafineriler, yakma tesisleri, fabrikalar, fosil yakıt çıkarma ve üretim sahaları vb.), ulaşım, hayvanlar ve insanlar, tarımsal faaliyetler, doğal ve yönetilen bitki örtüleri, toprak vb. olarak örneklendirilebilir (EEA 2009, Lagzi vd. 2013).

2.3.1. Ozon (O₃)

Stratosferde O₃, güneşin zararlı ultraviyole ışınlarını engellemede önemli bir rol oynar, ancak yer seviyesinde O₃ insanlar için zararlıdır. O₃ suda çözünmediğinden canlılarda solunum sisteminin derinliklerine ulaşarak akciğerlerde olumsuz etkiler gösterir (Sağlık Bakanlığı 2024). Artan çevresel O₃ konsantrasyonları, astım krizlerinin sıklığının artmasıyla ve enfeksiyonlara karşı artan duyarlılıkla ilişkilendirilir (Vallero 2014). Yaz aylarında hava sıcaklığının artması ile O₃ gazı yer seviyesine iner. Sanayi tesisleri, termik santraller ve motorlu araçlardan dolayı da şehirlerde O₃ kirliliği oluşmaktadır. O₃ konsantrasyonlarının yükselmesi çoğunlukla sıcak ve güneşli günlerde meydana gelse de kirleticisi bir hava kütleinin hareketi ile bir bölgeden başka bir bölgeye taşınabilir (Vallero 2014). O₃'ün atmosferik yarı ömrü yazın 1-2 hafta, kışın ise 1-2 aydır (Brasseur vd. 1999; Akimoto 2003).

2.3.2. Kükürt dioksit (SO₂)

SO₂; kükürt içeren fosil yakıtların yanmasıyla elde edilir ve dünyanın birçok yerinde önemli bir hava kirleticisidir (DSÖ 2021). SO₂, keskin ve boğucu bir kokuya sahip, suda hızla çözünebilir, renksiz bir gazdır. Kolaylıkla su ile reaksiyona girerek asidik bir çözelti oluşturur (sülfürik asit). SO₂, kömür yakıldığında birincil bir kirleticisi olarak oluşur (Tiwarı vd. 2018). Yüksek kükürt içeren kömürlerin herhangi bir ön işlem yapılmadan yakılması, atmosferdeki SO₂ emisyonlarının artmasının başlıca nedenlerinden biridir. Dikkate değer bir şekilde, SO₂ solunum yolu tahriş edici bir madde olup, bitkilere zarar verir ve özellikle sülfat partiküller atmosferde askıda kaldığında görüş problemlerine neden

olur (Vallero 2014). SO₂, kömürün yakılması, araç emisyonları ve petrol/gaz sahaları ve rafinerilerden kaynaklanan emisyonlar yoluyla üretilir (Godish 2003; Curtis vd. 2006).

2.3.3. Azot dioksit (NO₂)

Birçok azot oksit (NO_x) türü vardır, ancak insan sağlığı açısından en çok ilgilenilen hava kirleticisi türü NO₂'dir. NO₂, karakteristik keskin bir kokuya sahip, kırmızımsı kahverengi bir gazdır. Yüksek sıcaklıklarda yanma sonucu genellikle NO, az miktarda da NO₂ oluşur. NO atmosferdeki düşük konsantrasyonlardan dolayı tehlikeli değildir. Atmosfere salınan NO oksidasyon yoluyla NO₂'ye dönüşür ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Kısa süreli NO₂ maruziyeti (yani <24 saat), astım nöbetlerinin sayısını ve şiddetini artırma ve sağlıklı bireylerde hava yolu iltihabına neden olma gibi solunum etkilerine yol açabilir (Anonim 2013, Vallero 2014). Ayrıca NO₂ görünür radyasyonu absorbe eder ve küresel iklim değişikliğinde potansiyel olarak doğrudan bir rol oynar (DSÖ 2021). NO₂ emisyonunun en önemli kaynakları araçlar, ısıtma sistemleri ve enerji santralleri gibi yanma süreçleridir.

2.3.4. Formaldehit (HCHO)

HCHO, fotokimyanın önemli bir kirleticisidir, troposferde en bol bulunan reaktif karbonil bileşiklerinden biridir ve atmosferin oksidasyon kapasitesinde ve radikal kimyasında kritik bir rol oynar (de Edwards vd. 2014; Blas vd. 2019; Bao vd. 2022; Liu vd. 2023). HCHO, hidrokarbonların fotokimyasal reaksiyonlarında önemli bir ara üründür ve esas olarak hidrokarbonların foto-oksidasyonundan üretilir ve fosil yakıt yanması, biyokütle yanması, endüstriyel faaliyetler ve bitki örtüsü gibi kaynaklardan doğrudan salınabilir (Wang vd. 2017).

2.3.5. Karbon monoksit (CO)

CO; ahşap, benzin, kömür, doğal gaz ve kerosin gibi karbon esaslı yakıtların eksik yanmasıyla ortaya çıkan renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Bu gaz hem insanlar hem de hayvanlar için yüksek konsantrasyonlarda çok zararlıdır. CO seviyelerinin yol açtığı en iyi bilinen sağlık etkisi kanın COHb konsantrasyonlarının artması sonucu oksijen bulunabilirliğinin (yani hipoksi) azalmasıdır. COHb oluştuğunda, kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır ve dokulara oksijen salınımını düşürür (Vallero, 2014). CO konsantrasyonu başlıca araçlar, ısıtma sistemleri, termik santraller ve biyokütle yakmaktan kaynaklanmaktadır (Godish 2004). CO'nun atmosferik yarı ömrü 1 ila 2 ay arasındadır (Akimoto 2003). CO nun moleküler ağırlığı havanınkinin benzeridir (28.01 karşısında yaklaşık olarak 29) ve hava ile herhangi bir oranda serbestçe karışarak kitle taşıma yoluyla havayla birlikte hareket eder (DSÖ 2021).

2.3.6. Su buharı (H₂O)

H₂O, en güçlü doğal sera gazı olarak, iklim değişikliğini anlamamızda hayati bir rol oynar (Scheepmaker vd. 2016). CO₂ ve diğer sera gazlarının artan seviyeleri nedeniyle Dünya'nın yüzeyinin ve troposferin ısınmasının ardından, atmosferdeki su buharı içeriği de artar ve atmosferin ısınmasına daha fazla katkıda bulunur (Inamdar ve Ramanathan 1998; Garane vd. 2023). Yine de belirli koşullar altında su buharı içeriğinin artması ve buna bağlı

olarak bulutluluğun artması atmosferin soğumasına yol açabileceğinden, negatif bir geri beslemenin ortaya çıkması mümkündür (Garane vd. 2023).

2.3.7. Partikül madde (PM)

Partikül madde (PM); havada asılı katı partiküller veya sıvı damlacıklardan oluşan kimyasal ve fiziksel olarak çeşitli aerosollerin geniş bir sınıfını temsil eder (Thurston 2017). Bu aerosoller, aerodinamik çaplarına göre sınıflandırılır; tipik olarak PM₁₀ ve PM_{2.5} olarak adlandırılan bu sınıflar, sırasıyla $\leq 10 \mu\text{m}$ ve $\leq 2.5 \mu\text{m}$ boyutlarındaki partikülleri içerir (Newell vd. 2022). Atmosferdeki aerosol partiküller okyanuslardan ve kuru kıta bölgelerinden kaynaklanan su damlacıkları, deniz tuzu, mineral tozlar, volkanik kül ve antropojenik kaynaklar gibi çeşitli doğal ve insan kaynaklı kaynaklardan oluşmaktadır (Lagzi vd. 2013).

PM_{2.5}, azot, sülfür, karbon ve diğer metaller içeren partikül maddeden oluşur ve kan dolaşımına geçerek ciddi sağlık etkilerine neden olabilir (Yang vd. 2019b; Ly vd. 2021; Gokul vd. 2023). PM₁₀ ise uzun süre maruz kalmanın bağışıklık, solunum, dolaşım ve endokrin sistemlerinde ciddi hasarlara ve kansere yol açabileceği epidemiyolojik araştırmalarla gösterilmiştir (Gondalia vd. 2019; Gokul vd. 2023).

2.4. Uzaktan Algılama ile Hava Kirleticilerinin Tespiti

UA; nesnelerin ve olayların özelliklerini uzak mesafelerden temas olmadan ölçmek için kullanılan bir tekniktir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında UA metotları yüksek kapsama alanları sayesinde izlenmeyen alanlar için bilgi sağlama açısından önemlidir (Guo vd. 2019; Theys vd. 2019; Ünal Çilek 2022). UA teknolojilerinde genellikle uydular, uçaklar veya dronlar gibi UA araçları kullanılır. Bu teknoloji, arazi yüzeyleri, su kütleleri, bitki örtüsü ve atmosfer gibi unsurların değişkenlerini ölçmek için kullanılabilir. Büyük ölçekli hava kirliliği olaylarını izlemek ve analiz etmek için uydu görüntüleme gibi UA araçları kullanılabilir. Atmosferdeki gazların ve partiküllerin dağılımını, hareketini ve konsantrasyonunu izlemek bu yöntemlerle mümkündür. 1978'de TOMS, 1995'te GOME, 2004'te OMI ve 2017'de Sentinel-5P TROPOMI gibi uydu verileri, 40 yılı aşkın süredir hava kalitesinin izlenmesi ve takibi için kullanılmaktadır (Burrows vd. 1999; Nacef vd. 2016; Khorrami vd. 2019, Ünal Çilek 2022).

Özellikle büyük şehirlerde UA hava kalitesini izlemek ve hava kirliliği kaynaklarını tespiti için önemli bir araçtır. Uydu görüntüleme gibi UA teknikleri şehirlerde trafik yoğunluğu, endüstriyel tesisler, yangınlar ve diğer kaynaklardan kaynaklanan hava kirliliği olaylarını tespit etmekte ve izlemekte yardımcı olabilir. Karar vericiler ve yöneticiler bu bilgiyi hava kalitesini iyileştirmek için kullanabilirler.

2.5. Önceki Çalışmalar

Sanayi devrimi ve sonrasında fosil yakıtların artan kullanımı şehirleşme ve nüfus artışı gibi faktörlerle birlikte hava kirliliği seviyesi dünya genelinde giderek artmaktadır. Bu durum birçok bilimsel araştırmanın odağında yer almıştır. Başta SO₂, NO₂, CO, PM, O₃ olmak üzere zararlı gazlar, atmosferdeki kirleticilerin başlıca bileşenleridir. Bu kirleticilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar genellikle belirli coğrafi bölgeler ve kirleticiler türleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Hava kirliliği üzerine

yapılan araştırmalar kirleticilerin kaynaklarını, dağılımını ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu literatür çalışması hava kirliliği ile ilgili çeşitli çalışmaların özetini sunmaktadır.

Tayanç (2000), çalışmasında düşük kaliteli fosil yakıtların tüketimi nedeniyle hava kirleticilerin konsantrasyonunun yüksek seviyelere ulaştığı sıcak mevsimlerde hava kirliliğini değerlendirmek amacıyla İstanbul'da kükürt dioksit konsantrasyon seviyeleri araştırmıştır. Sonuçlar 1985-1991 döneminde hava kirleticilerin konsantrasyonlarında artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu artışın nedenlerinden birinin daha temiz fosil yakıtlar yerine düşük kaliteli fosil yakıtlara geçiş olduğunu belirtmiştir.

Xu vd. (2000), çalışmalarında ortamdaki kükürt dioksit ve toplam asılı parçacıklar ile olası ilişkileri belirlemek için 1992 takvim yılı için Çin'in Shenyang kentindeki günlük ölüm verilerini analiz etmişlerdir. Her iki toplam asılı partikül konsantrasyonu ve kükürt dioksit konsantrasyonları DSÖ'nün önerdiği kriterleri çok aştığını ve her gün ortalama 45.5 kişi hayatını kaybettiğini belirlemişlerdir.

Garipoğlu (2002), çalışmasında 1990-2000 yılları arasındaki verileri kullanarak Türkiye'deki birçok şehirde hava kirliliğinin hala devam ettiğini belirlemiştir. Araştırma atmosfer kirleticilerinin ağırlıklı olarak evsel ısınma, sanayi ve trafik kaynaklı olduğunu ortaya koymuştur. Kirleticilerin önem dereceleri ise şehirlerin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Pearce vd. (2006), yaptıkları çalışmada kış aylarında özellikle yüksek düzeyde partikül kirliliğine sahip bir şehir olan Christchurch, Yeni Zelanda'da evsel ısıtmadan kaynaklanan hava kirliliği ile ilgili çevresel adalet sorunlarını incelemek için atmosferik dağılım modelinden hesaplanan doğru ve coğrafi olarak ayrıntılı kirlilik tahminlerini kullanmışlardır. Şehirdeki küçük alanlar için partikül kirliliği tahminlerini yaş, etnik köken, gelir ve yoksunluk gibi çeşitli demografik ve sosyoekonomik göstergelerle karşılaştırarak Christchurch'te hava kirliliğine maruz kalma konusunda sosyal bir değişim olup olmadığını değerlendirmişlerdir. Ayrıca aşırı kirlilik olaylarına maruz kalma konusunda sosyal bir değişim olup olmadığını da incelemişlerdir.

Balat (2007), çalışmasında kömür enerjisinin çevre kirliliği üzerindeki etkisini ele almaktadır. Dünyadaki sera sorununun kömürün yanmasından kaynaklanan ana emisyonların; SO₂, nitrojen oksitler (NO_x), partiküller, CO₂ ve civa (Hg) olduğunu belirtmiştir.

Feizizadeh ve Blaschke (2013), yaptıkları çalışmada, İran'ın Tebriz şehrinde LST türeterek UHI'leri tanımlamayı, bu adaların LULC ve hava kirliliği ile ilişkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. ASTER ile uzaktan algılanan termal görüntülerden elde edilen LST değerleri kullanılarak istatistiksel bir yaklaşımla UHI'lerin yoğunluğu değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonuçları LST'nin LULC tarafından önemli ölçüde etkilendiğini ve UHI'lerin LST ve LULC ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca LST'nin bitki örtüsü ve nemden büyük ölçüde etkilendiği belirlenmiş olup, su birimlerinde ve yeşillik alanlarda düşük sıcaklıklar bulunduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklar ise inşaat bölgeleri ve sanayi siteleri ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları UHI'ler ile hava kirliliği arasında yüksek bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Ancak

mekansal analiz hava kirliliği için farklı bir desen ortaya koymuştur. Tebriz şehrinde, pazar alanı UHI bölgeleri ile ilişkilendirilmiştir ve en yüksek PM değerlerini göstermektedir.

Tepe ve Doğan (2017), çalışmalarında $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ tespit etmek için Temmuz 2014 - Temmuz 2015 tarihlerinde 1 yıllık bir süreyle Antalya'daki Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısına yerleştirilen örnekleme cihazı ile 24 saat boyunca her iki günde bir örnek toplamışlardır. Toplanan örnekler Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde Enerji Ayrımlı X ışını Flüoresans (EDXRF) yöntemiyle analiz edilmiş ve içerdikleri 15 metal (Mn, Mg, Cu, Cr, Ca, As, Fe, Zn, Al, Si, K, S, Ti, Pb, FeNi) belirlenmiştir.

Phillips vd. (2018), çalışmalarında İngiltere ve Galler'deki yerel yönetim bölgelerinde erken yaştaki hava kirliliği ile sonraki ölümler arasındaki ilişkileri değerlendirmeyi amaçlamışlardır. 1951-1952 yıllarında kömür ve ilgili katı yakıtların kullanımı hakkında rutin olarak toplanan coğrafi veriler hava kirliliği endeksi olarak kullanılmışlardır. Bu veriler ile 1993-2012 yılları arasında yerel yönetim bölgelerinde 35-74 yaş arası kadın ve erkekler arasında hem tüm nedenlere bağlı hem de hastalığa özgü ölüm arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Bu veriler 60 yıldan uzun bir süre önce yaşamın erken dönemlerinde yaşanan kömür bazlı kirliliğin, çok çeşitli hastalıklardan kaynaklanan ölüm oranlarını artırarak insan sağlığını etkilediğini göstermektedir.

Cersosimo vd. (2020), çalışmalarında İtalya'daki Po Vadisinde Sentinel-5P TROPOMI enstrümanı tarafından elde edilen NO_2 verilerine uygulanan bir yeniden örnekleme prosedürü sunmaktadırlar. Burada yeniden örnekleme yüzey gözlemleri daha doğru bir karşılaştırma yapmak için gerçekleştirilmiştir. Seviye-2 3.5 km x 5.5 km TROPOMI NO_2 verileri yeniden örnekleme tekniği olan ordinary kriging uygulanarak Seviye-3'e dönüştürülmüş ve 1 km x 1 km düzenli bir örnekleme elde edilmiştir. Çalışma Mayıs 2018-Nisan 2020 tarihleri arasında kapsamaktadır. Sonuç olarak hafta içi ve hafta sonu günleri dikkate alınarak NO_2 konsantrasyonları arasında karşılaştırma yapıldığında trafik ve endüstriyel faaliyetler ile güçlü bir korelasyon gözlemlenmiştir. TROPOMI ile hava kalitesi istasyonları arasında Seviye 2 veriden Seviye 3'e geçildiğinde aralarındaki korelasyonun arttığı gözlemlenmiştir ve bu sayede uydu verilerinde yeniden örneklemenin önemli olduğu belirlenmiştir.

Ialongo vd. (2020), çalışmalarında Finlandiya Helsinki şehri için uydu tabanlı TROPOMI NO_2 verileri ile yer tabanlı Pandora spektrometresi NO_2 verileri karşılaştırması yapılmıştır. Hem Tropomi hem de Pandora verilerinden >0.75 olan veri kalitesine uygun olanlar seçilerek analiz yapılmıştır. Karşılaştırma için Pandora istasyonuna denk gelen TROPOMI pikselleri dikkate alınmıştır. TROPOMI ve Pandora NO_2 toplam sütunları arasındaki ortalama göreceli ve mutlak sapma sırasıyla yaklaşık %10 ve 0.12×10^{15} mol/cm²'dir. Uydu ve yer tabanlı gözlemler arasında korelasyon $r = 0.68$ bulunmuştur. Ayrıca çalışmada Pandora spektrometresi yakınında bulunan (birkaç metre) hava kirliliği ölçüm istasyonu ile TROPOMI verileri arasında tutarlılık olduğu belirlenmiştir.

Kaplan ve Avdan (2020), çalışmalarında Kuzey Makedonya Cumhuriyeti'nde Sentinel-5P TROPOMI enstrümanı kullanılarak 6 aylık ortalama NO_2 ve CO incelenmesi amaçlamışlardır. Çalışma alanının coğrafi ve demografik verileri uydu verileri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analize göre NO_2 ile demografik veriler arasında yüksek pozitif

korelasyon $r = 0.78$; $R^2 = 0.61$ ve CO ile rakım arasında yüksek negatif korelasyon $r = -0.90$; $R^2 = 0.80$ olduğu ortaya konmuştur.

Balamurugan vd. (2021), çalışmalarında Almanya'daki 8 büyük şehrin Koronavirüs Hastalığı 2019 (COVID-19) pandemi döneminde NO₂ ve O₃ konsantrasyonlarını değerlendirmektedir. Çalışmada Almanya Federal Çevre Ajansının 38 yer istasyonu verisi, Sentinel-5 TROPOMI uydu verisi ve daha doğru bir sonuca ulaşmak için saatlik ERA5 meteorolojik verileri GEOS-Chem model simülasyonları ile kullanılmıştır. COVID-19 pandemi döneminde meteoroloji dikkate alınarak yapılan çalışmada bölgede istasyon ve TROPOMI NO₂ verilerinde sırasıyla %23 ve %16 azalma, O₃ verilerinde ilkbahar aylarında %4 lük bir artış yaz aylarında ise %3 lük bir azalış görülmektedir.

Fuladlu ve Altan (2021), yaptıkları çalışmada Sentinel-3 ile elde edilen LST'nin, Sentinel-5 ile elde edilen hava kirleticiler ile entegrasyonunu önermiş ve bu ilişkiyi İran'ın Tahran eyaleti örneğindeki hava kirliliği izleme istasyonlarıyla incelemişlerdir. PM ortalama konsantrasyonuna dayanarak SO₂ ve NO₂ özellikle Tahran metropolünde ve kentsel alanın çekirdeğinde yoğunlaşmakta olduğunu bulmuşlardır. PM_{2.5}, SO₂ ve NO₂ ile rakım arasında negatif bir korelasyon bulmuşlardır ve rakımın artması LST, CO ve O₃ değerlerini negatif yönde etkilemektedir. Buna karşın CO ve O₃ değerleri LST ile pozitif korelasyon olduğunu göstermişlerdir, bu durum Tahran eyaletinde LST, CO ve O₃ değerlerinin karşılıklı etkilerini ortaya koymaktadır.

Bolat (2022), çalışmasında Antalya ilinde 2021 yılının 28 Temmuz - 12 Ağustos tarihleri arasında çıkan orman yangınlarının şehrin hava kalitesine olan etkilerini incelemiştir. PM_{2.5}, PM₁₀, CO, SO₂ ve O₃ gibi hava kirleticilerinin günlük ve yıllık konsantrasyonları hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda 2021 yılı üç yaz ayına ait hava kirleticilerinin konsantrasyonlarının 2020 yılı ile yaklaşık benzerlik gösterdiği belirtilmiş ve gerçekleşen orman yangınlarının Antalya ve çevresinde hava kalitesini aşırı derecede olumsuz yönde etkileyen tek ve önemli bir faktör olmadığı vurgulanmıştır.

Çakmak (2022), çalışmasında Marmara Bölgesini Sentinel-5P TROPOMI uydu görüntüleri ile izleyerek NO₂, CO, SO₂ gaz emisyonlarını Google Earth Engine (GEE) ile belirlemiştir. GEE kullanarak kirleticilerin en yoğun olduğu illeri tespit etmiştir. 2019 - 2022 yılları arasında yersel istasyon verileri ile Kriging enterpolasyon ile haritalar hazırlanmış ve uydu verileri ile hazırlanan haritalar ile karşılaştırılarak korelasyon istatistiği incelenmiştir.

Çeker (2022), yaptığı çalışmada Marmara bölgesinde uydu verileri kullanarak NO₂ kirliliğinin COVID-19 pandemi dönemindeki değişimini incelemiştir. Sentinel-5P TROPOMI NO₂ verileri ile yersel ölçüm istasyon verilerini kullanarak normal dönemler ile kapanma günlerindeki NO₂ yoğunluğunu karşılaştırmıştır. Uydu verileri yardımıyla pandemi döneminde yoğun kentsel bölgelerde NO₂ kirliliğinin azaldığını göstermiştir. Ayrıca kirliliğin mevsimsel dağılımı ve ilçelerin etkilenme durumları istatistiksel analizler ve görseller ile açıklanmış, yorumlanmış ve tartışılmıştır.

Çilek (2022), çalışmasında Adana ve Mersin kentlerinde Sentinel-5P TROPOMI enstrümanı kullanılarak COVID-19 dönemi olan Ocak 2019-Ocak 2022 tarihleri arasında hava kalitesinde etkili olan NO₂ konsantrasyonu analizi yapılmıştır. Sonuç olarak sürekli

şehir yapısı, karayolları vb. alanlarda yüksek NO₂ konsantrasyonu, ticari ve endüstriyel alanlarda çok yüksek NO₂ konsantrasyonu sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma sayesinde Sentinel-5P TROPOMI ile şehirlerde hava kalitesinin incelenmesi doğrulanmıştır.

Karakoç (2022), yaptığı çalışmada UA ve CBS entegrasyonu ile Çankırı ili hava kalitesini mekansal olarak modellemiştir. Araştırmada Sentinel-2 ve yersel ölçüm verilerini kullanarak Kriging ve Çoklu regresyon yöntemlerini uygulamıştır. Regresyon analizlerinden elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla 0.80 ve 0.79 olup çalışmanın yeterli doğruluğa ulaştığını göstermektedir.

Makineci (2022), çalışmada GEE platformu kullanılarak elde edilen Sentinel-5P ve T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait hava kalitesi yer istasyonları verileri analiz edilerek İstanbul merkez ilçelerindeki on yedi aylık (Ocak 2020 – Mayıs 2021) NO₂ ve CO emisyonları için zamansal bir analiz yapılmıştır.

Morozova vd. (2022), çalışmalarında Rusya'nın 20 büyük şehri için 2019-2020 yılları arasında Sentinel-5P uydusu kullanılarak CO, HCHO, NO₂, SO₂ ve AI seviyelerini ele almaktadır. Veriler bulut tabanlı GEE platformu kullanılarak elde edilmiştir. Tropomi Hava Kalitesi İndeksi kullanılarak şehirlerdeki hava kirliliği değerlerini hesaplanmıştır. Sonuçlar 20 şehirden 15'inin normalden düşük veya yüksek bir hava kirliliği seviyesine sahip olduğunu göstermektedir.

Nasehi vd. (2022), yaptıkları çalışmada kentsel alanlarını etkileyen iki mekansal olgu olan LST ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. LST verileri Landsat 8 OLI sensörü görüntülerinden tek kanallı algoritma kullanılarak temin etmişlerdir. Hava kirliliği ise NO_x, NO₂, NO, PM_{2.5} ve SO₂ konsantrasyonlarıyla gösterilmiştir. Sonuçlara baktıklarında şehrin yüksek kirletici konsantrasyonuna sahip olan batı ve güney bölgeleri, aynı zamanda en yüksek sıcaklıklara sahip olduğunu, şehrin kirletici konsantrasyonlarının daha düşük olduğunu, kuzey bölgeleri de diğer bölgelere göre daha soğuk olduğunu belirlemişlerdir. En yüksek R ve R² değerlerini SO₂ için elde etmişlerdir (sırasıyla 20.89 ve 45.99). Ayrıca SO₂ ve PM_{2.5}, LST ile en yüksek korelasyona sahip olduğunu bulmuşlardır.

Sünsüli ve Kalkan (2022), yaptıkları çalışmada Sentinel-5P uydusu ve T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait hava kalitesi yer istasyonları verileri kullanılarak COVID-19 pandemisi dönemi olan 2019 sonu, 2020 ve 2021 yıllarında Marmara Bölgesindeki troposferik NO₂ değerlerinin karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda Pearson korelasyon testi yapılarak uydu verileri ile yer istasyonu verilerinin yüksek bir oranda korelasyonunun olduğu R=0.85 ortaya konulmuştur.

Hassaan vd. (2023), yaptıkları çalışmada Kuzey Mısır'ın yoğun nüfuslu bölgelerinin hava kirliliğine olan hassasiyetini CO ve PM_{2.5}'i Sentinel-5P görüntülerinden elde ederek ve aynı anda yerinde ölçümlerle doğrulayarak belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada dört adımlı bir metodoloji uygulanmıştır: çalışma alanında veri toplama, veri manipülasyonu, elde edilen hava kalitesi verilerinin doğrulanması ve hava kirliliğine olan hassasiyetin haritalanması. Çalışma sonucunda Sentinel-5P görüntülerinin hava kalitesini izleme ve yoğun nüfuslu bölgelerin hava kirliliğine olan hassasiyetini değerlendirme konusunda değerli bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Rahaman vd. (2023), yaptıkları çalışmada Delhi ve Dhaka için yaz ve kış ayları boyunca (2019-2021) NO₂ konsantrasyonlarındaki değişiklikleri, LST ve bitki örtüsü dinamiklerini analiz etmişlerdir. NO₂ konsantrasyon verileri, Sentinel-5P kullanılarak GEE üzerinden elde edilmiş ve LST, Normalize bitki indeksi (NDVI) ve Geliştirilmiş bitki örtüsü indeksi (EVI) için Landsat-8 görüntüleri kullanılmıştır. Dhaka'nın durumu Delhi'ye göre daha kötü olup, LST ve NO₂ konsantrasyonlarında önemli bitki örtüsü kaybı tespit edilmiştir. Çalışmadaki Pearson korelasyon değeri, toplam NO₂ konsantrasyonu ile ortalama NDVI ve LST arasında negatif bir ilişkiyi, toplam NO₂ konsantrasyonu ile ortalama EVI arasında ise pozitif bir ilişkiyi göstermektedir. Veriler, lineer regresyon kullanılarak daha da değerlendirilmiş olup, kış 2019 için NO₂ ve EVI için maksimum R² değeri 0.2998 olarak hesaplanmıştır.

Zhang vd. (2023), yaptıkları çalışmada Rusya ve Ukrayna arasındaki büyük ölçekli savaşın, insan emisyon faaliyetleri üzerinde nasıl bir etki yaptığını, TROPOMI ve EMI enstrümanları kullanarak, atmosferik NO₂ konsantrasyonlarını değerlendirmektedir. Ukrayna'da çoğu şehirde NO₂ konsantrasyonlarında %107 ila %27.3 arasında önemli düşüşler meydana gelmiştir. Bu durum Ukrayna sınırlarında bulunan büyük Rus şehirlerindeki artışların tam tersi olduğu belirlenmiştir.

Bala vd. (2024), yaptıkları çalışmada Hindistan'ın farklı iklim bölgelerinde bulunan dört şehirde, 2022 yılının Ocak-Aralık döneminde LST, Normalleştirilmiş Fark Yapay Alan İndeksi (NDBI) ve NDVI ile Aerosol İndeksi (AI) ve hava kirleticilerinin ilişkisini incelemişlerdir. Çalışma hava kirleticilerinin konsantrasyonunun muson mevsiminde düşük, yaz ve son-muson mevsimlerinde ise yüksek olduğunu göstermiştir. LST, NDBI ve NDVI'nin farklı hava kirleticileri ile ilişkisi şehirlere ve mevsimlere göre değişiklik göstermiştir. Özellikle AI ve NO₂ için korelasyon katsayıları diğer kirleticilere göre daha yüksektir. Bikaner'de yüzey şehir serin ada etkisi, LST ile NO₂ arasında güçlü negatif ilişki göstermiştir ($R > 0.41$). Varanasi'de ise yüzey şehir sıcak ada etkisi, AI, CO, NO₂ ve O₃ gibi hava kirleticileri ile güçlü pozitif korelasyon göstermiştir (AI için $R > 0.61$, CO için $R > 0.31$, NO₂ için $R > 0.59$, O₃ için $R > 0.32$). Şehirlerde NDVI hava kirleticileri ile genellikle negatif korelasyon göstermiştir. Sonuç olarak bir şehirdeki bitki örtüsünün artırılmasının o şehirdeki hava kalitesini iyileştirebileceği ve hava kirleticilerinin miktarını azaltılabileceği belirlenmiştir.

Sarker vd. (2024), yaptıkları çalışmada Bangkok Metropol Bölgesi'nde 2003-2020 yılları arasında günlük LST ile sınır ötesi hava kirliliği (TAP) arasındaki nedensel ilişkiyi bilgi kuramı perspektifinden incelemişlerdir. Çalışma bölge genelinde LST'nin artan bir trend gösterdiğini ve gündüz LST'nin gece LST'sinden daha hızlı arttığını ortaya koymuştur. Kurak dönemde yüksek aerosol optik derinliği (AOD) yüklemeleri görülürken, yağışın başlangıcında ise düşük yüklemeler dikkat çekmiştir. TAP'ın Bangkok Metropolü'ndeki günlük yüzey sıcaklığı önemli ölçüde etkilediği belirlenmiş, özellikle Bangkok'un batısındaki Nakhon Pathom ve Samut Sakhon illerinden kaynaklanan hava kirleticilerinin Bangkok'un LST'si üzerinde diğer illere göre daha büyük bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Suthar vd. (2024), yaptıkları çalışmada 2019-2022 yılları arasında yaz ve kış mevsimlerinde LST'nin bitki örtüsü, yükseklik ve hava kirleticileri ile ilişkisini incelemişlerdir. Çalışmada hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen hava kirleticileri ve hava parametreleri verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda NDVI ve

Dijital Yükseklik Modeli (DEM) ile LST arasında yaz ve kış mevsimlerinde negatif bir ilişki bulunmuştur. LST ile bireysel hava kirleticileri arasındaki ilişki yaz ve kış mevsimlerinde değişken göstermiş, R^2 değerleri 0.52 ile 0.79 arasında değişmiştir. Tüm parametrelerin aynı anda dikkate alındığı durumda ilişki daha da güçlenmiştir (yaz mevsiminde R^2 0.69 ile 0.82, kış mevsiminde R^2 0.74 ile 0.80). Taguchi yöntemi sonuçları farklı hava kirleticilerinin LST'deki değişim üzerinde değişken etkiye sahip olduğunu ve etkilerinin sırasının $PM_{2.5} > SO_2 > O_3 > CO > NO_2$ olduğunu göstermiştir. Bulgular, özellikle O_3 (yaz) ve $PM_{2.5}$ (kış) artan LST'ye önemli katkı sağladığını ortaya koymaktadır.



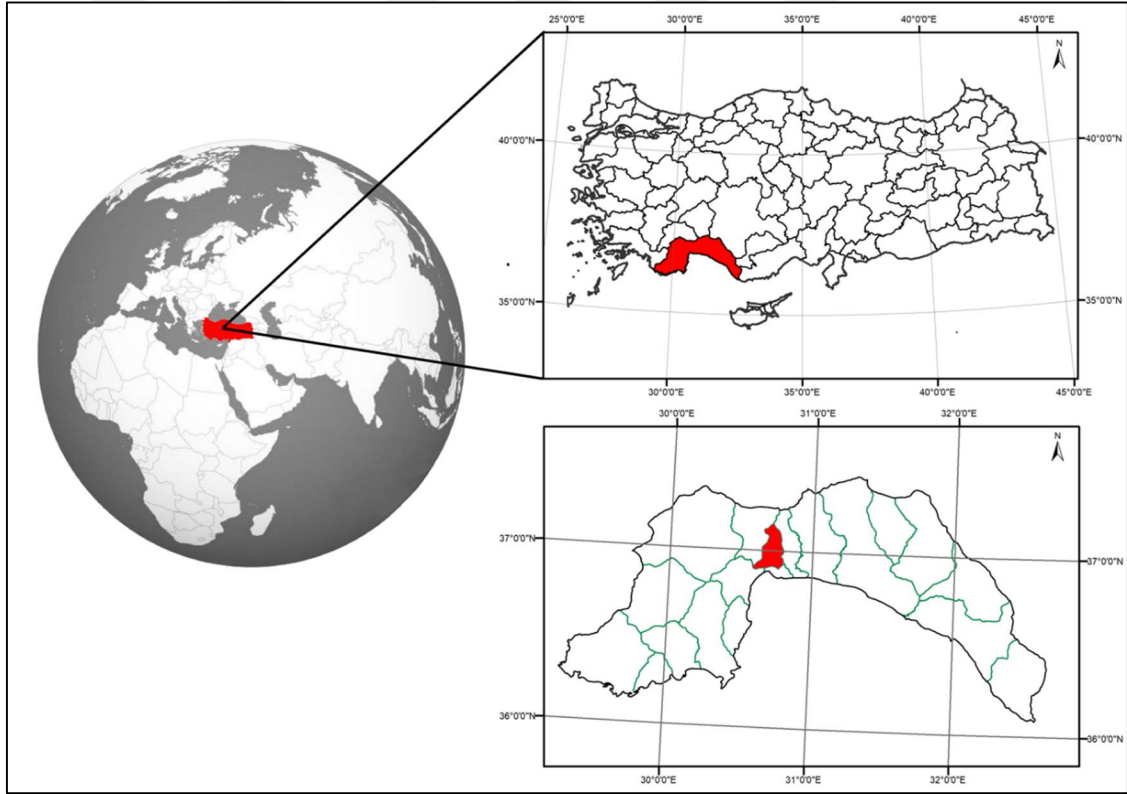
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Antalya turizm, tarım ve sanayi açısından Türkiye'nin önemli illerindendir. İnceleme alanı Türkiye'nin güney batısında yer alan Antalya ilinin merkezinde yer alan ilçelerinden Kepez'dir. Toplam 68 mahalleden oluşmaktadır ve yüzölçümü 397.869 dekadır. Bu alanın yaklaşık %22'sini tarım arazileri oluşturur. Kızıllı, Çamlıca, Kirişçiler, Duacı ve Odabaşı Mahalleleri tamamen ormanlık alan içerisinde yer almaktadır. Yaygın bitki örtüsü makidir. İlçe aynı zamanda tarihi açıdan da oldukça önemli oluşumları kapsar (Kepez Kaymakamlığı 2024).

Çalışma alanının Kepez olarak seçilmesindeki en önemli faktör nüfus yoğunluğu, tarım, sanayi, organize sanayi tesisleri barındırması gibi çok yönlü değerlendirmelerin bir arada yapılabilmesi olmalıdır. Çalışma alanının haritası Şekil 3.1.'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı

Antalya 2.5 milyonu aşkın nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık beşinci ilidir. TÜİK verilerine göre Kepez'in nüfusu 2023 yıl sonu itibarıyla 614 bindir. Bu da Antalya nüfusunun %22'sini oluşturmaktadır ve en kalabalık ilçesidir. Kepez son on yılda Antalya'nın nüfus yoğunluğu açısından en hızlı gelişen ilçesi olmuştur. Nüfus popülasyonundaki bu artış aynı zamanda ilçenin altyapı ve üstyapı gelişimini de

etkilemiştir. TÜİK'ten resmi yazışma ile alınan verilere göre Kepez ilçesine ait 0-18 yaş ve 65 yaş üstü bireylerin yıllara göre dağılımları Çizelge 3.1.'de yer almaktadır. Verilerden de gözleneceği üzere Kepez ilçesinin yaklaşık %30'a yakın bir kısmını 0-18 yaş grubu bireyler, yaklaşık %6'lık kısmını ise 65 yaş üstü bireyler oluşturmaktadır. Bu yaş gruplarının tespit edilmesindeki temel amaç fosil yakıtlardan yetiştirme çağındaki olan ve 65 yaş üstü sınıfındaki bireylerin etkisinin daha üst seviyelerde olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sayede mahalle bazında risk altında olan bireylerin tespiti yapılabilecek, bu mahallelerde ekstra önlemler için öneriler sunulabilecektir.

Çizelge 3.1. Kepez ilçesi yıllara ve yaş sınıflamasına göre nüfus dağılımı

Yıl	0-18 yaş nüfus	65 yaş üstü nüfus	Toplam nüfus
2019	167077	31787	556033
2020	169799	35137	574183
2021	172645	37401	591895
2022	174868	39125	608675
Ortalama	171097	35862	582696

3.1.2 Çalışmada kullanılan platformlar ve veri setleri

3.1.2.1. Sentinel-5P TROPOMI

Sentinel-5P uydusu, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Hollanda tarafından ortak finanse edilmiş olup, üzerinde tek yük olan TROPOMI (Troposferik İzleme Cihazı) spektrometresini taşır. 13 Ekim 2017'de ESA tarafından fırlatılan bu enstrüman dünyadan yansıyan ve yayılan güneş radyasyonunu ölçmek için pasif UA tekniklerini kullanır. Spektrometre, elektromanyetik spektrumun çeşitli aralıklarında görüntüleme yapar: ultraviyole (UV), görünür (VIS), yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR). Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3. de Sentinel-5P uydusu ve TROPOMI ile ilgili bilgiler verilmiştir.

TROPOMI verisi farklı seviyelerde temsil edilmektedir. Herkese açık olmayan seviye 0, dört spektrometreden gelen ilk sinyal verilerini içerir. Herkese açık olan seviye 1, 270-300 nm, 300-320 nm, 320-405 nm, 405-500 nm, 675-725 nm, 725-775 nm, 2305-2345 nm ve 2345-2385 nm spektral bantları için kalibre edilmiş ışıma verilerini ve 270-775 nm ve 2305-2385 nm'lik kalibre edilmiş güneş ışıması verilerini içermektedir (Anonim 2022; Savenets vd. 2022). Seviye 2 veri, O₃ toplam ve troposferik sütunu, NO₂, SO₂, CO, CH₄, HCHO ve aerosol kimyasal türlerin atmosferik bileşimi hakkında bilgi içerir.

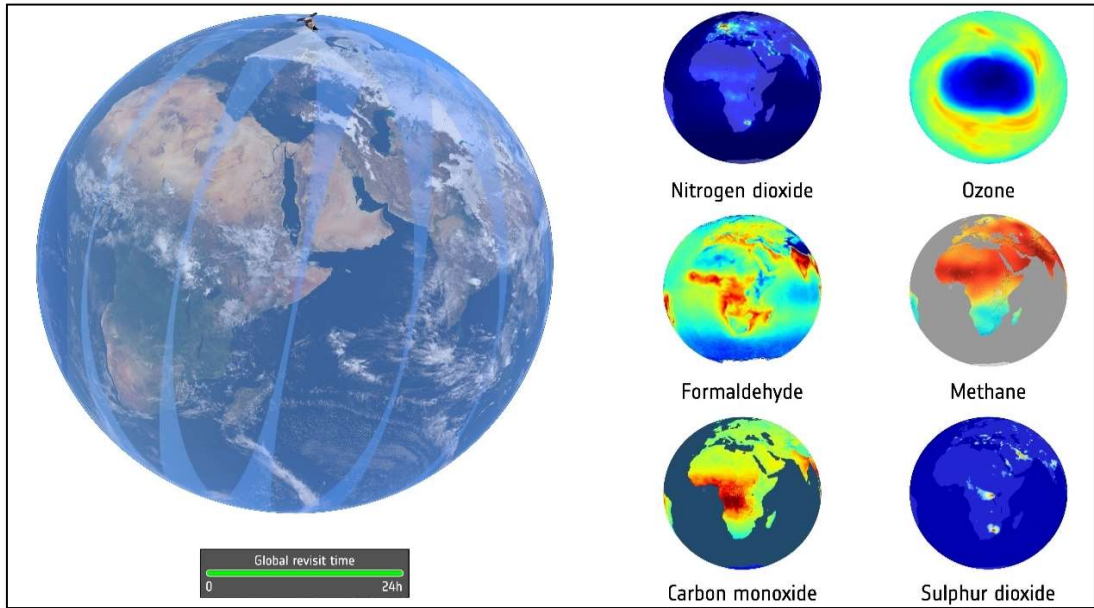
Sentinel-5P uydusu hava kalitesini etkileyen çeşitli atmosferik gazların, aerosollerin ve bulut dağılımlarının yoğunluklarını her 24 saatte bir izlemektedir (Ünal Çilek 2022). Veriler; Al, O₃ (mol/m²), NO₂ (mol/m²), SO₂ (mol/m²), CO (mol/m²), CH₄ (ppbV) ve HCHO (mol/m²) gibi kimyasalların troposferin dikey sütununda toplam içeriğini belirlemeyi mümkün kılar (Şekil 3.2.).

Çizelge 3.2. Sentinel-5P uydusu özellikleri (ESA-2 2024)

Fırlatma Tarihi	13 Ekim 2017
Enstrüman	Troposferik İzleme Cihazı (TROPOMI)
Zamansal çözünürlük	Günlük küresel kapsama (13:30 lokal güneş zamanı)
Spektral çözünürlük	Ultraviyole ve görünür (270–495 nm)
Mekansal çözünürlük	7 km x 3.5 km (Seviye 2)
Görev	Hava kalitesini ve iklimi etkileyen çok sayıda atmosferik gaz, aerosol ve bulut dağılımı hakkında küresel bilgi sağlamak.

Çizelge 3.3. TROPOMI spektral bantlarının temel özellikleri (Veefkind vd. 2017; Kaplan ve Yiğit Avdan, 2020)

Band	Spektral kapsam (nm)	Açıklık (km)	Spektral çözünürlük (nm)	Zamansal Çözünürlük	Mekansal Çözünürlük (km ²)
UV	1 2	270 - 320	0.49	Günlük	7x28
VIS	3 4	320 - 495	0.54		7x3.5
NIR	5 6	675 - 775	0.38		
SWIR	7 8	2305 - 2385	0.25		7x7

**Şekil 3.2.** Sentinel-5P veri ürünleri (ESA-1 2024)

3.1.2.2. Terra ve Aqua MODIS

MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi), Terra ve Aqua uydularında bulunan önemli bir enstrümandır. Terra MODIS ve Aqua MODIS enstrümanları dünya üzerindeki aynı alanı yaklaşık üç saat arayla görüntülemektedir. Dünya'nın tamamı her bir ila iki günde bir görüntülenir ve sensörler bulutlardan arındırılmış yüzey gözlemlerini optimize etmek için birlikte çalışarak 36 spektral dalga boyu grubunda veri toplar (NSIDC 2024). MODIS'in atmosferik bileşenlerin, toprak kaplamasının, deniz yüzeyinin ve bulutların izlenmesi gibi görevleri bulunmaktadır.

MODIS günlük olarak 1200 km x 1200 km alanı kapsayan 1 km mekansal çözünürlükte gündüz ve gece LST değerleri sağlar (Parida vd. 2021). LST tahminleri, atmosferik olarak düzeltilmiş uzun dalga kızılötesi kanalları (31 ve 32. bantlar) kullanılarak split-window algoritması ile elde edilir (Wan ve Dozier 1996; Parida vd. 2021). LST, yüzey özellikleri ve çevre hakkında temel bilgiler sağlayabilir. Bölgesel veya küresel ölçekte LST tahmini yapmak için genellikle uydu sensörlerinden elde edilen termal kızılötesi (TIR) ölçümleri kullanılır (Li vd. 2013; Liu vd. 2023). Çizelge 3.4. de Terra ve Aqua uyduları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.4. Terra ve Aqua uydusu özellikleri (USGS 2024)

	Terra	Aqua
Fırlatma Tarihi	18 Aralık 1999	4 Mayıs 2002
Enstrüman	Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS)	
Zamansal Çözünürlük	Günlük kapsam	
Spektral Çözünürlük	620 - 14.385 µm arası değişen 36 bant	
Mekansal Çözünürlük	1–2 bant – 250 metre, 3–7 bant– 500 metre 8–36 bant – 1000 metre	
Görev	Orman yangını izleme, sıcaklık ve emisyon değişiklikleri, arazi yüzeyi değişimi, bitki örtüsü ve ekosistem dinamikleri, doğal afetler ve tarım çalışmaları dahil olmak üzere bir dizi arazi ve su uygulama alanına katkıda bulunur.	

3.1.2.3. Nüfus verisi

Türkiye'nin ekonomik, demografik, sosyal ve kültürel verilerinin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve yayınlanması TÜİK tarafından yürütülmektedir. Bu bilgiler toplumun her alanında karar alma aşamalarında güvenilir yol göstericilerdir.

3.1.2.4. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC)

LULC, dünya yüzeyinde gözlemlenen arazinin biçimleri ve o arazinin doğal veya insan etkisi altında kullanımına ilişkin küresel ve bölgesel veri setlerini içerir.

Esri tarafından ücretsiz olarak sağlanan ArcGIS Living Atlas of the World platformu, Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanarak 10 m çözünürlüğünde bir LULC haritaları sunmaktadır (Şekil 3.3.). Bu haritalar Sentinel 2 L2A yüzey yansıtma verisinin

görünür mavi, yeşil, kırmızı, yakın kızılötesi ve iki kısa dalga kızılötesi bandını kullanan, 20.000'den fazla site üzerinden örneklenen ve beş milyardan fazla elle etiketlenmiş Sentinel 2 pikseli kullanılarak eğitilen derin öğrenme modeli tarafından üretilmektedir (Karra 2021). Bu verilerin kullanılması ile 9 farklı sınıf içeren hassas ve detaylı bir arazi kullanımı tematik haritası oluşturmayı mümkün kılar. Platform tarafından sunulan sınıflar açıklamaları ile Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü sınıf tanımları (Karra 2021)

	Sınıf	Açıklama
1	Su	Yıl boyunca çoğunlukla su bulunan bölgelerdir; düzensiz veya geçici su bulunduran alanları kapsamayabilir. Nehirler, göletler, göller, okyanuslar, tuz düzlükleri.
2	Ağaçlar	Yüksek ve yoğun bitki örtüsünün olduğu alanlardır. Ormanlık, plantasyonlar, bataklıklar.
3	Su basmış bitki örtüsü	Çoğunlukla otlar, çalılar, ağaçlar, çıplak zemin karışımından oluşan mevsimsel olarak sular altında kalan alan, yüzen bitki örtüsü, pirinç tarlaları ve diğer yoğun sulanan ve sular altında kalan tarım alanları.
4	Tarım	İnsanlar tarafından dikilmiş/sıralanmış tahıllar, otlar ve ağaç boyutunda olmayan tarım ürünleri; mısır, buğday, soya, yapılandırılmış arazinin boş tarlaları.
5	Yapı	İnsan yapısı yapılar; ana yol ve demiryolu ağları, evler, yoğun köyler/kasabalar/şehirler, asfalt kaplı yollar.
6	Çıplak Alan	Yıl boyunca çok seyrek veya hiç bitki örtüsü olmayan kaya veya toprak alanları, açıkta kalan kaya veya toprak, çöl ve kum tepeleri, kuru tuz düzlükleri, kurumuş göl yatakları, madenler.
7	Kar/Buz	Geniş alanlarda kalıcı buzullar, kar örtüsü, kar alanları.
8	Bulut	Kalıcı bulut örtüsü nedeniyle arazi örtüsü bilgisi bulunmamaktadır.
9	Mera	Yüksek olmayan bitki örtüsüne sahip homojen otlarla kaplı açık alanlar. Doğal çayırılar ve tarlalar, parklar, golf sahaları, çimler, meralar, orta derecede seyrek çalılar.



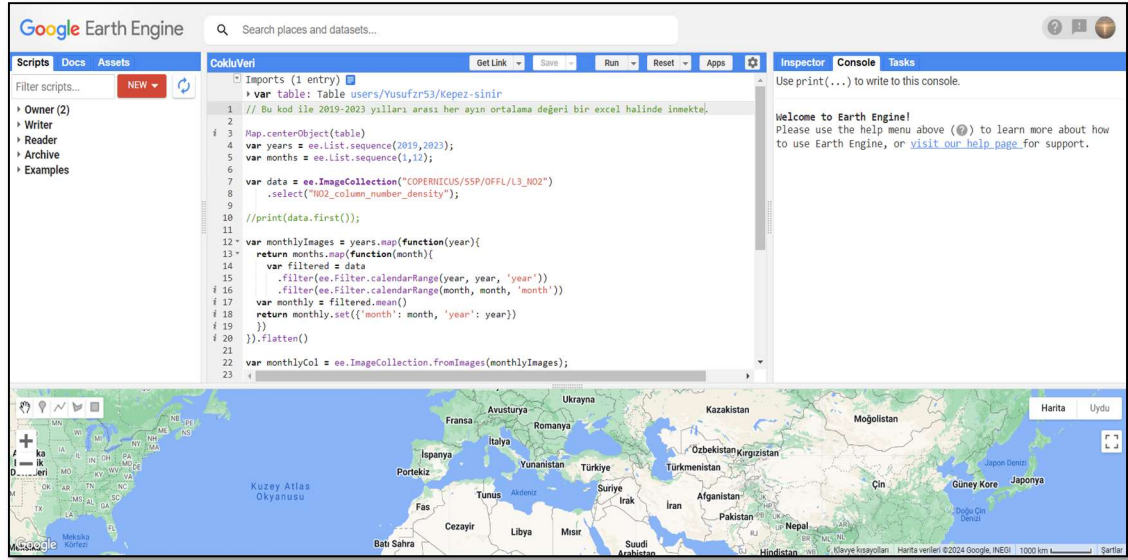
Şekil 3.3. ArcGIS Living Atlas of the World platformu (Esri-Sentinel 2 LULC 2023)

3.1.2.5. Google Earth Engine

Google tarafından geliştirilen bir platform olan GEE, UA verilerinin bulut tabanlı işlenmesi için güçlü bir açık kaynak web platformudur. Kullanıcıların güçlü sistemlere gerek olmadan büyük verileri kapsamlı ve hızlı bir şekilde analiz edebilmesini sağlayan GEE kendi web arayüzünde JavaScript programlama dilini kullanır (Şekil 3.4.). Farklı uygulamalar üzerinden Python gibi diğer programlama dilleri ile de işlem yapmak mümkündür. TROPOMI ve MODIS gibi UA enstrümanlarının veri arşivinin GEE bulut platformuna entegrasyonu, bilgiyi uygulamak için analitik yetenekleri önemli ölçüde genişletmektedir (Gorelick vd. 2017; Morozova vd. 2022).

Sentinel-5P TROPOMI, verileri Copernicus platformunda Seviye 2 (geometrik düzeltme yapılmış) olarak verilirken, GEE bunları zaman yerine enlem/boylam olarak gruplayarak Seviye 3 (Ortorektifikasyon uygulanmış) verilere dönüştürüp sunmaktadır (Savenets 2021). Bu sayede Seviye 1-2 veri setlerinde gerekli olan ön işleme veya kalite güvencesi çalışması gerektirmez. GEE veri kalitesi filtreleme işlemini, kötü kalitedeki tespitleri analizden çıkarmak için %75'ten düşük kalite güvencesine sahip pikselleri filtreleyen ve kaldıran “harppconvert” programı aracılığıyla yapmaktadır (Anonim 2021; Crosman 2021). GEE, dönüşüm esnasında orijinal Seviye 2 verilerini Seviye 3 verilere dönüştürürken veri kaybını önlemek için verilerin asıl çözünürlüğü olan (3.5 km x 7 km) veri boyutuna göre daha küçük bir piksel boyutu (1 km) kullanılarak gerçekleştirilir. Bu nedenle mekansal çözünürlük 1113.2 m'ye denk gelmektedir (GEE 2024).

Terra ve Aqua MODIS arazi yüzey sıcaklığı verileri GEE platformunda açık olarak sunulmaktadır. Bu veriler 1000 m çözünürlüğe sahip olup günlük ve küresel ölçekte çözünürlük sunmaktadırlar.



Şekil 3.4. GEE kod editörü (GEE 2024)

3.1.2.6. Python

Python programlama dili veri analizi ve görselleştirme için oldukça güçlü araçlar sunmaktadır. Veri analizi ve görselleştirme için yaygın olarak kullanılan Python kütüphaneleri arasında Pandas, Matplotlib ve Seaborn bulunmaktadır. Pandas kütüphanesi; verilerin yüklenmesi, temizlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılır. Matplotlib; veri görselleştirme için temel bir kütüphanedir ve grafikleri oluşturmak için geniş bir yelpazede araçlar sunar. Seaborn ise; Matplotlib üzerine inşa edilmiş bir kütüphane olup, daha estetik ve bilgi dolu görselleştirmeler yapmayı kolaylaştırır.

3.1.2.7. QGIS

QGIS; coğrafi bilgilerin toplanması, depolanması, düzenlenmesi, analiz edilmesi ve haritalanması için kullanılan açık kaynak bir CBS yazılımıdır. QGIS, kullanıcılarına verilerin işlenmesi, görselleştirilmesi ve analizi için geniş bir araç yelpazesi sunar. Bu yazılımın sunduğu olanaklar sayesinde karmaşık coğrafi veriler etkili bir şekilde yönetilebilir ve analiz edilebilir. Özellikle CBS analizlerinde QGIS'in güçlü ve esnek araçları kullanıcıların verileri detaylı bir şekilde incelemesine ve sonuçları görsel olarak sunmasına olanak tanır.

3.2. Metot

Çalışma 2019-2023 yılları arasındaki beş yıllık dönemde Antalya ili Kepez ilçesi için elde edilen çeşitli veri kaynaklarına dayanmaktadır. Bu veriler arasında TROPOMI kirlenme, MODIS LST, Esri LULC ve TÜİK nüfus verileri bulunmaktadır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan veri setleri

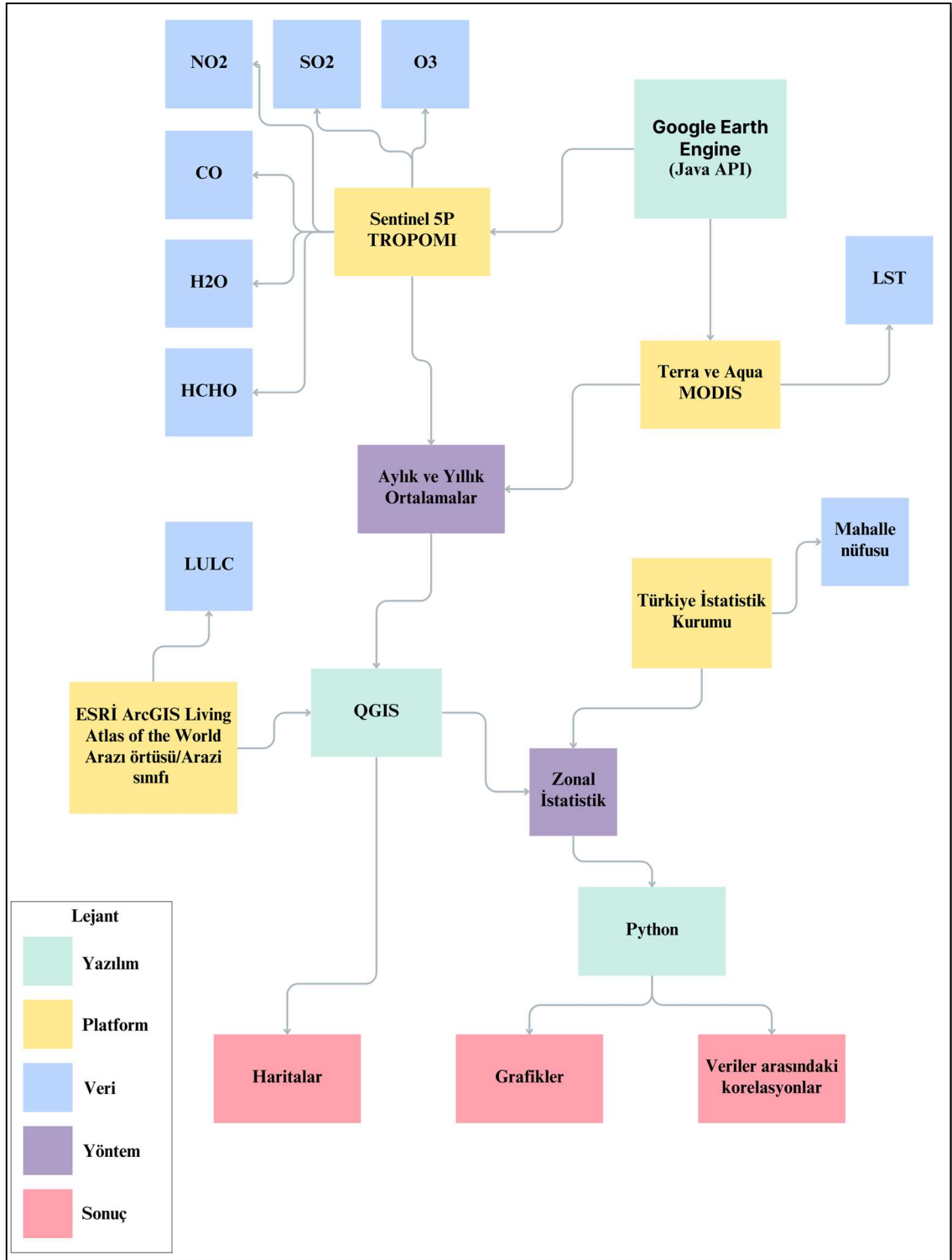
Kaynak	Platform	Veri	Çözünürlük	Yıllar	Birim
Google Earth Engine	Sentinel-5P TROPOMI	CO, H ₂ O, NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , HCHO	1113.2 m	2019-2023	mol/m ²
	Terra ve Aqua MODIS	LST	1000 m	2019-2023	°C
ESRI ArcGIS Living Atlas of the World	Sentinel 2	LULC	10 m	2023	-
TÜİK	Microsoft Excel	Mahalle nüfusu	-	2019-2023	-

GEE platformunda JavaScript kodu kullanılarak çalışma bölgesinin 2019-2023 yılları için aylık ve yıllık ortalama TROPOMI NO₂, CO, SO₂, HCHO, H₂O ve O₃ konsantrasyonları ile MODIS LST değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler bölgedeki hava kalitesini ve yüzey sıcaklıklarını detaylı bir şekilde analiz etmek için kullanılmıştır. Ayrıca ESRI platformundan elde edilen Sentinel 2 uydu görüntüleri ile oluşturulmuş 10 m mekansal çözünürlüklü LULC haritası ve TÜİK'ten alınan mahalle toplam nüfus verileri temin edilmiştir. Bu veriler bölgenin arazi kullanımını ve demografik özelliklerini analiz etmek için kritik öneme sahiptir.

Haritalandırma işlemleri QGIS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. QGIS'te, TROPOMI ve LST verileri ile LULC verileri üst üste bindirilerek detaylı haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalar bölgedeki kirlilik dağılımını ve yüzey sıcaklıklarını görselleştirmek için kullanılmıştır. Ayrıca QGIS'in Zonal İstatistik aracı kullanılarak ilçenin tüm mahallelerindeki kirlilik ve yüzey sıcaklığı verileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler mahalle bazında kirlilik ve sıcaklık dağılımlarını anlamak için önemli bilgiler sunmuştur.

Analiz edilen veriler Python'un Matplotlib ve Seaborn kütüphaneleri kullanılarak mahalle bazlı grafiklerle görselleştirilmiştir. Bu grafikler verilerin daha anlaşılır ve yorumlanabilir bir şekilde sunulmasını sağlamıştır. Ayrıca kirletici madde, LST ve nüfus verileri arasındaki ilişkileri daha net bir şekilde ortaya koymak için korelasyon analizleri yapılmış ve bu analizler sonucunda bir korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Bu matris, farklı veriler arasındaki ilişkileri belirlemek ve anlamak için kullanılmıştır.

Çalışma ile ilgili iş akış şeması Şekil 3.5.'te verilmiştir. Bu şema, çalışma sürecinin tüm adımlarını ve kullanılan yöntemleri görsel olarak özetlemektedir.



Şekil 3.5. İş akış şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Çalışmada arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş O₃, SO₂, NO₂, CO, HCHO, H₂O, ve LST haritaları oluşturulmuş ve bu verilerin mahalle bazlı zonal istatistik grafikleri analiz edilmiştir. Ayrıca bu kirleticilerin birbirleriyle, LST ile ve mahalle nüfusu ile olan korelasyonları incelenmiştir. Elde edilen bulgular hava kirleticileri ve yüzey sıcaklığının farklı mahallelerdeki dağılımını ve yoğunluğunu ortaya koyarak bu faktörlerin mahalle nüfusu ile olan ilişkisini değerlendirmeye yöneliktir.

4.1.1. Uydu tabanlı hava kirletici ölçümleri

Analizlerin tamamlanmasının ardından çeşitli çıktı haritaları oluşturulmuştur. Bu haritaların altlığında arazi sınıflaması bulunmaktadır. Bu sınıflar 5 farklı arazi sınıfını temsil edecek şekilde belirlenmiş ve her bir arazi sınıfı, farklı desenlerle haritalarda gösterilmiştir. Sınıflar, çıplak arazi (çapraz düz çizgi), mera (düz, kesik çizgi), orman (daire), tarım alanı (küçük noktalar) ve yapıli alanlar (iki yöne çapraz düz çizgi) olarak tespit edilmiştir.

Bu beş farklı arazi sınıfı üzerine, Sentinel-5P TROPOMI uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen O₃, SO₂, NO₂, HCHO, CO ve H₂O kirleticilerinin konsantrasyon haritaları bindirilmiştir. Ayrıca bu haritalara arazi yüzey sıcaklığı haritası da eklenmiştir. Bu veriler çevresel koşulların farklı arazi türleri üzerindeki etkilerini incelemek ve görselleştirmek amacıyla kullanılmıştır.

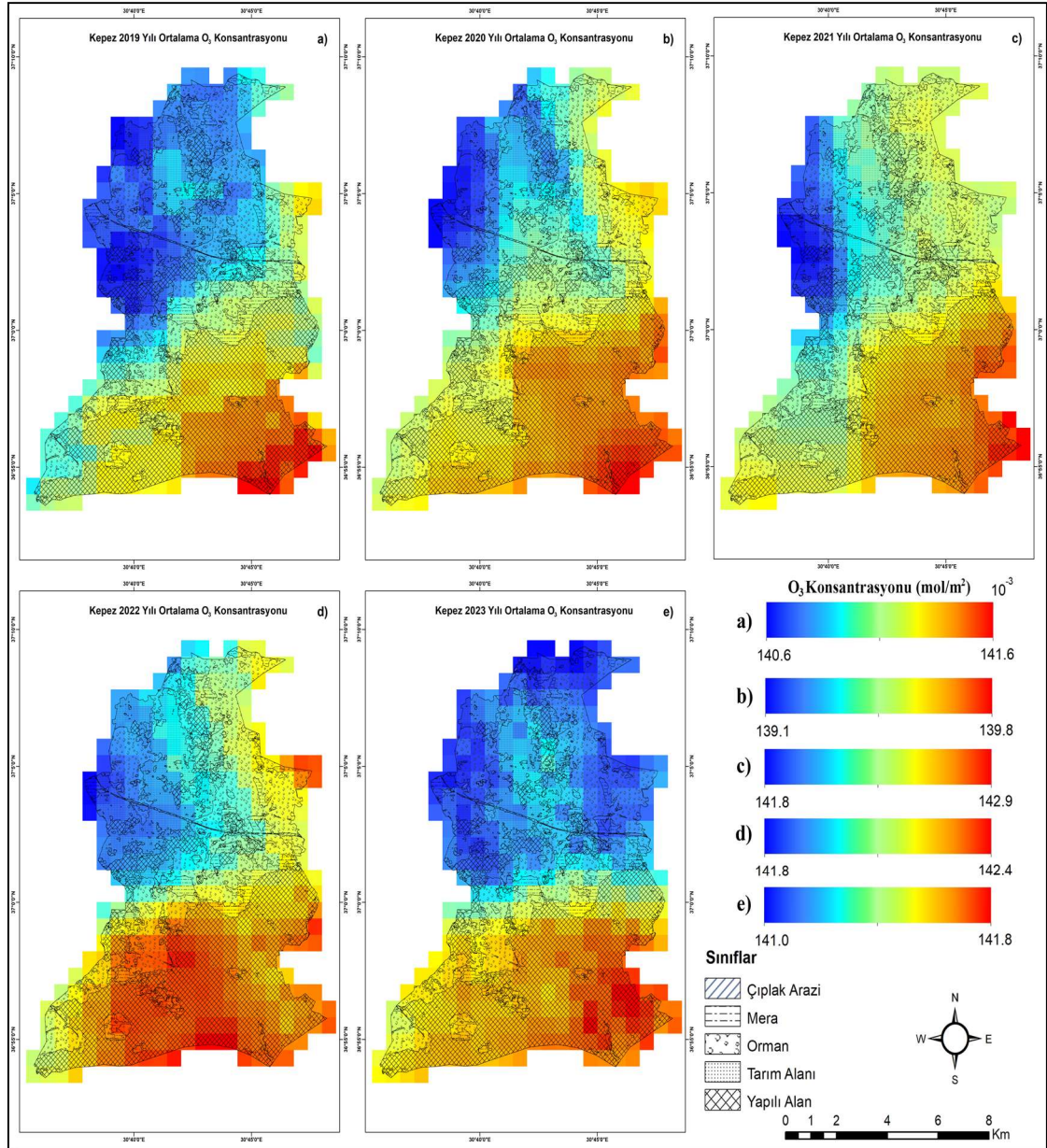
GEE platformu üzerinden sağlanan beş yıllık TROPOMI ve MODIS verileri, QGIS programı aracılığıyla haritalara dönüştürülmüştür. GEE platformu uydu verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesi için güçlü bir araçtır ve bu çalışmada çevresel verilerin etkin bir şekilde analiz edilmesini sağlamıştır. Beş yıllık dönemi kapsayan bu veriler 2019, 2020, 2021, 2022 ve 2023 yıllarına ait olup, bu yıllar arasındaki değişkenliklerin incelenmesine olanak tanımaktadır.

Haritalarda bulunan hava kirlilik lejantındaki renk skalası standart olarak tercih edilen, maviden kırmızıya değişen renk ve tonlarda yapılmıştır. Bu renk skalası düşük konsantrasyonları mavi tonlarında, yüksek konsantrasyonları ise kırmızı tonlarında göstermektedir. Bu sayede kirleticilerin yoğunluk dağılımları harita üzerinde kolayca anlaşılır ve görsel olarak etkili bir şekilde sunulmaktadır. Renk skalasının bu şekilde kullanılması haritaların daha kolay yorumlamasını sağlar ve kirleticilerin mekansal dağılımını daha net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak çalışmada elde edilen veriler ve oluşturulan haritalar Kepez ilçesindeki çevresel koşulların detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanımış ve arazi kullanım türleri ile kirleticiler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Bu haritalar hem görsel olarak bilgilendirici hem de analiz açısından değerli olup, çevresel yönetim ve planlama çalışmalarında kullanılabilecek önemli bir veri seti sunmaktadır.

4.1.1.1. Ozon (O₃) konsantrasyonu

Ölçüm değerlerine göre en düşük O₃ konsantrasyonu 2020 yılında ($139.1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 - 139.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$), en yüksek O₃ konsantrasyonu ise 2021 yılında ($141.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 - 142.9 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$) tespit edilmiştir. Yıllara göre O₃ konsantrasyonu yüksekten düşüğe doğru sırasıyla 2021, 2022, 2023, 2019 ve 2020 olarak sıralanabilir. Burada en düşük ortalama O₃ konsantrasyonunun, COVID-19 kapanmalarının yaşandığı 2020 yılına denk gelmesi dikkat çekicidir. Şekil 4.1.'de Kepez ilçesi 2019-2023 yılları için arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş O₃ konsantrasyonu haritaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Kepez ortalama O₃ konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

2019 (a): O₃ konsantrasyonları $140.6 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $141.6 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2019 yılında O₃ konsantrasyonu, haritanın kuzey ve batı bölgelerinde daha düşük ve güney ve doğu bölgelerinde daha yüksek olarak gözlemlenmektedir. Güneydeki yüksek O₃ konsantrasyonları genellikle yapılı alanlar sınıfında gözlemlenmiştir.

2020 (b): Ozon konsantrasyonları $139.1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $139.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2020 yılında O₃ konsantrasyonları, 2019 yılına kıyasla daha düşük değerlere sahiptir. Özellikle kuzey ve batı bölgelerinde bu düşüş belirgindir. Tarım alanlarındaki O₃ konsantrasyonları görece daha düşük gözükmetedir.

2021 (c): O₃ konsantrasyonları $141.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $142.9 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2021 yılında O₃ konsantrasyonları, kuzeyde ve batıda tekrar artış göstermiştir. Güneydeki yüksek O₃ konsantrasyonları devam etmektedir. Güneydeki yapılı alan bölgelerinde yüksek O₃ konsantrasyonu devam etmektedir. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise O₃ konsantrasyonu biraz artış göstermiştir.

2022 (d): O₃ konsantrasyonları $141.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $142.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2022 yılında O₃ konsantrasyonları, 2021 yılına benzer bir dağılım göstermektedir. Ancak güneydeki yüksek konsantrasyon alanları biraz daha genişlemiş gözükmetedir. Güneydeki yapılı alan sınıflarında O₃ konsantrasyonları yüksek seviyelerde kalmaya devam etmektedir. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise değişiklik yoktur.

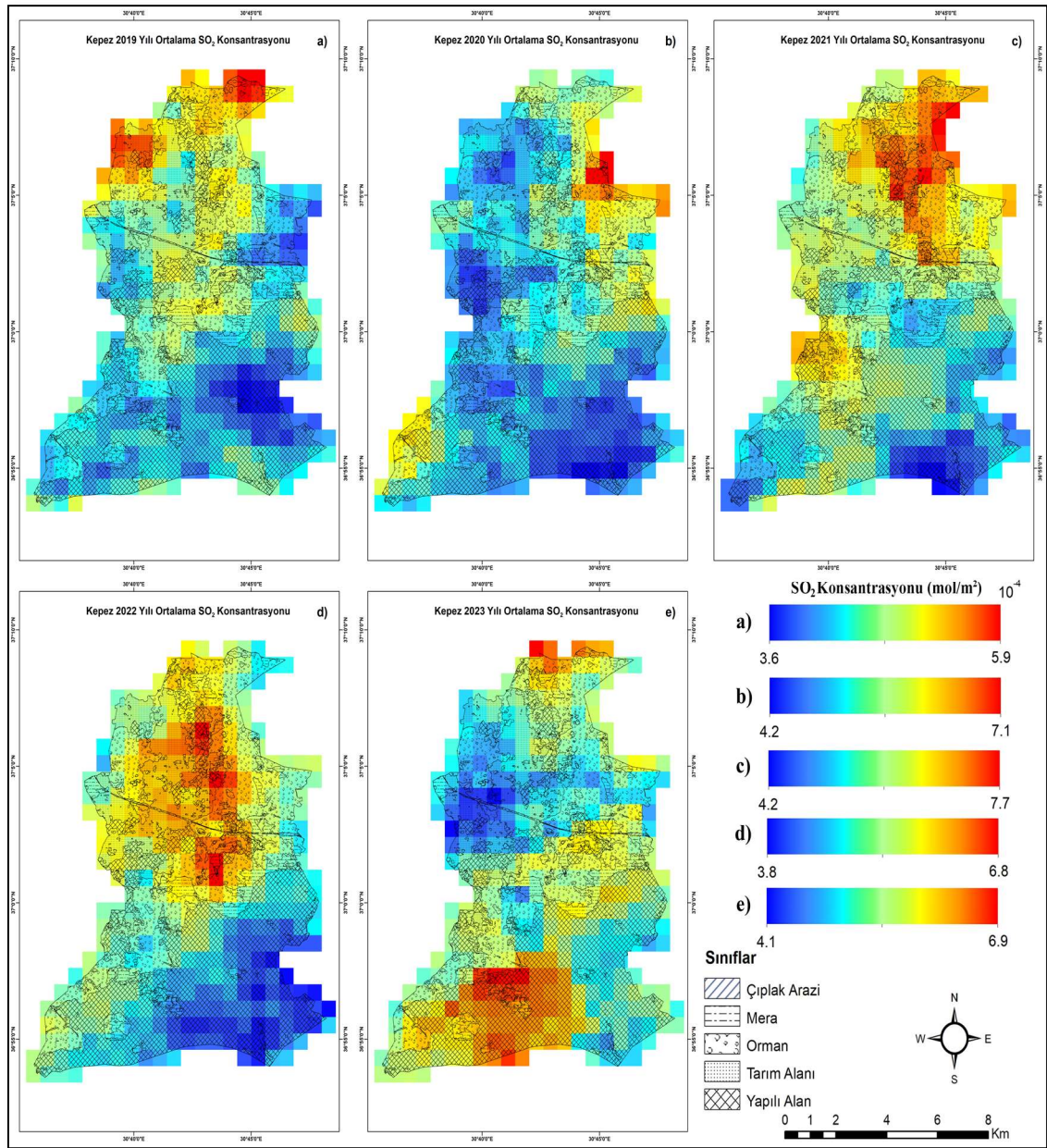
2023 (e): O₃ konsantrasyonları $141.0 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $141.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2023 yılında O₃ konsantrasyonları genel olarak düşmüştür. Kuzey ve batı bölgelerdeki düşük O₃ konsantrasyonları, güney ve doğudaki yüksek O₃ konsantrasyonlarına kıyasla belirgindir. Tarım ve çıplak arazi bölgelerindeki O₃ konsantrasyonları azalmıştır. Ormanlık ve mera alanlarındaki O₃ konsantrasyonları ise stabildir.

4.1.1.2. Kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonu

Ölçüm değerlerine göre en düşük konsantrasyon olan yıl 2019 ($3.6 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ – $5.9 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$), en yüksek konsantrasyon olan yıl ise 2021 yılı ($4.2 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ – $7.7 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$) tespit edilmiştir. Yıllara göre SO₂ konsantrasyonu yüksekten düşüğe doğru sırasıyla 2021, 2020, 2023, 2022, 2019 olarak sıralanabilir. Şekil 4.2.'de Kepez ilçesi 2019-2023 yılları için arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş SO₂ konsantrasyonu haritaları görülmektedir.

2019 (a): SO₂ konsantrasyonları $3.6 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ ile $5.9 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2019 yılında SO₂ konsantrasyonu, haritanın kuzey ve doğu bölgelerinde daha yüksek ve güney bölgelerinde daha düşük olarak gözlemlenmektedir. Kuzeydeki yüksek SO₂ konsantrasyonları genellikle yapılı ve tarım arazilerinde gözlemlenmiştir.

2020 (b): SO₂ konsantrasyonları $4.2 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ ile $7.1 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2020 yılında SO₂ konsantrasyonları, 2019 yılına kıyasla genel olarak kuzey ve doğu bölgelerinde daha düşük değerlere sahiptir. Bir önceki yıla kıyasla tarım alanlarındaki SO₂ konsantrasyonları görece daha düşük gözükmetedir.



Şekil 4.2. Kepez ortalama SO₂ konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

2021 (c): SO₂ konsantrasyonları 4.2×10^{-4} mol/m³ ile 7.7×10^{-4} mol/m³ arasında değişmektedir. 2021 yılında SO₂ konsantrasyonları, kuzeyde ve doğuda tekrar artış göstermiştir. Özellikle kuzeydeki yapıli alanlarda yüksek konsantrasyonlar bulunmaktadır. Yapılı ve tarım alanlarında yüksek SO₂ konsantrasyonları devam etmektedir. Güneydeki yapıli alanlarda 2020 yılına göre SO₂ konsantrasyonlarının arttığı gözükmeğmektedir.

2022 (d): SO₂ konsantrasyonları 3.8×10^{-4} mol/m³ ile 6.8×10^{-4} mol/m³ arasında değişmektedir. 2022 yılında SO₂ konsantrasyonları, 2021 yılına benzer bir dağılım göstermektedir. Ancak merkezdeki yüksek konsantrasyon alanları biraz daha genişleşmiş gözükmeğmektedir. Merkezdeki yapıli alanlarda ve tarım alanlarında yüksek SO₂

konsantrasyonları devam etmektedir. Güneydeki yapıli alanlarda 2021 yılına göre konsantrasyon seviyesi düşmüştür.

2023 (e): SO₂ konsantrasyonları 4.1×10^{-4} mol/m² ile 6.9×10^{-4} mol/m² arasında değişmektedir. 2023 yılı diğer yıllardan tamamen farklı bir harita ortaya koymuştur. Haritanın kuzeyinde SO₂ konsantrasyonlarda düşüş meydana gelirken güneydeki yapıli alanlardaki yükseliş dikkat çekmektedir. Güneydeki yapıli alan bölgelerindeki SO₂ konsantrasyonları artmış, Güneydeki tarım alanlarındaki konsantrasyonlar ise azalmıştır. Ormanlık ve mera alanlarındaki SO₂ konsantrasyonları stabildir.

4.1.1.3. Azot dioksit (NO₂) konsantrasyonu

Haritalar incelendiğinde NO₂ konsantrasyonlarının yıllara göre sırasıyla 2023, 2021, 2022, 2019 ve 2020 yıllarında yüksekten düşüğe doğru sıralandığı görülmüştür. En düşük NO₂ konsantrasyonu 2020 yılında (6.7×10^{-5} mol/m² – 8.6×10^{-5} mol/m²) kaydedilmiştir; bu yılın COVID-19 kapanmalarının yaşandığı yıl olması dikkat çekicidir. Beş yıllık ölçümler içinde en yüksek NO₂ değeri ise 2023 yılında (7.4×10^{-5} mol/m² – 10.2×10^{-5} mol/m²) ölçülmüştür.

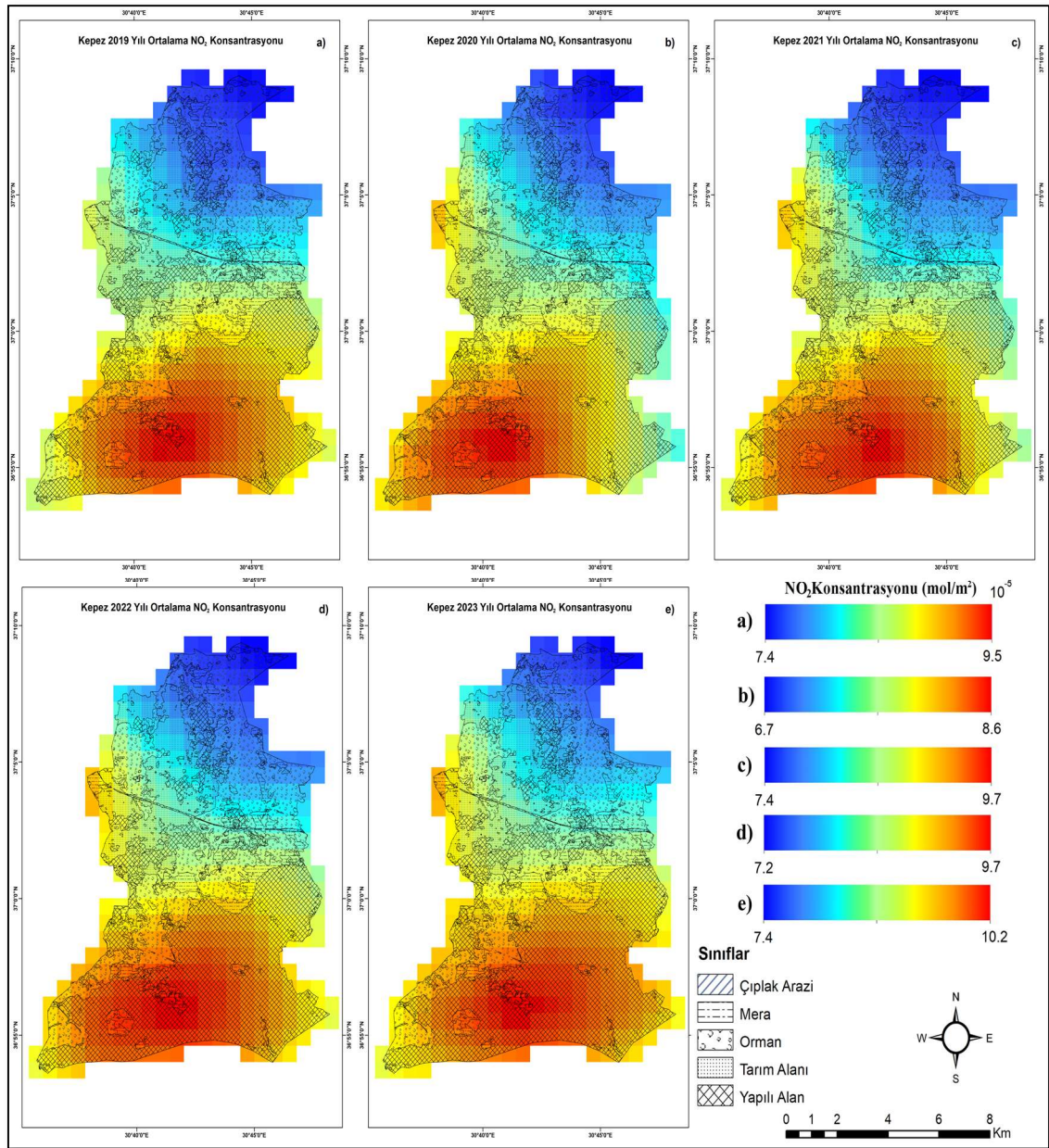
Genel olarak haritalar incelendiğinde düşük NO₂ konsantrasyonlarının ormanlık alanlar ve mera gibi doğal alanlarda yoğunlaştığı, yüksek NO₂ konsantrasyonlarının ise şehirleşmiş alanlarda yaygın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca tarım alanlarının da yüksek NO₂ konsantrasyonlarına katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Şekil 4.3. de Kepez ilçesi 2019-2023 yılları için arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş NO₂ konsantrasyonu haritaları görülmektedir.

2019 (a): NO₂ konsantrasyonları 7.4×10^{-5} mol/m² ile 9.5×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2019 yılında NO₂ konsantrasyonu, haritanın kuzey ve batı bölgelerinde daha düşük ve güney bölgelerinde daha yüksek olarak gözlemlenmektedir. Güneydeki yüksek NO₂ konsantrasyonları genellikle yapıli alanlarda gözlemlenmiştir.

2020 (b): NO₂ konsantrasyonları 6.7×10^{-5} mol/m² ile 8.6×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2020 yılında NO₂ konsantrasyonları, 2019 yılına kıyasla daha düşük değerlere sahiptir. Yapıli alanlardaki NO₂ konsantrasyonları 2019 yılına göre daha düşük gözükmektedir.

2021 (c): NO₂ konsantrasyonları 7.4×10^{-5} mol/m² ile 9.7×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2021 yılında NO₂ konsantrasyonları, kuzeyde ve batıda tekrar artış göstermiştir. Güneydeki yüksek NO₂ konsantrasyonları devam etmektedir. Güneydeki yapıli alanlardaki yüksek NO₂ konsantrasyonları devam etmektedir. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise NO₂ konsantrasyonu biraz artış göstermiştir.

2022 (d): NO₂ konsantrasyonları 7.2×10^{-5} mol/m² ile 9.7×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2022 yılında NO₂ konsantrasyonları, 2021 yılına benzer bir dağılım göstermektedir. Güneydeki yüksek konsantrasyon alanları biraz daha genişleşmiş gözükmektedir. Güneydeki yapıli alanlardaki NO₂ konsantrasyonları yüksek seviyelerde kalmaya devam etmektedir. Ormanlık alanlarda ise değişiklik yoktur.



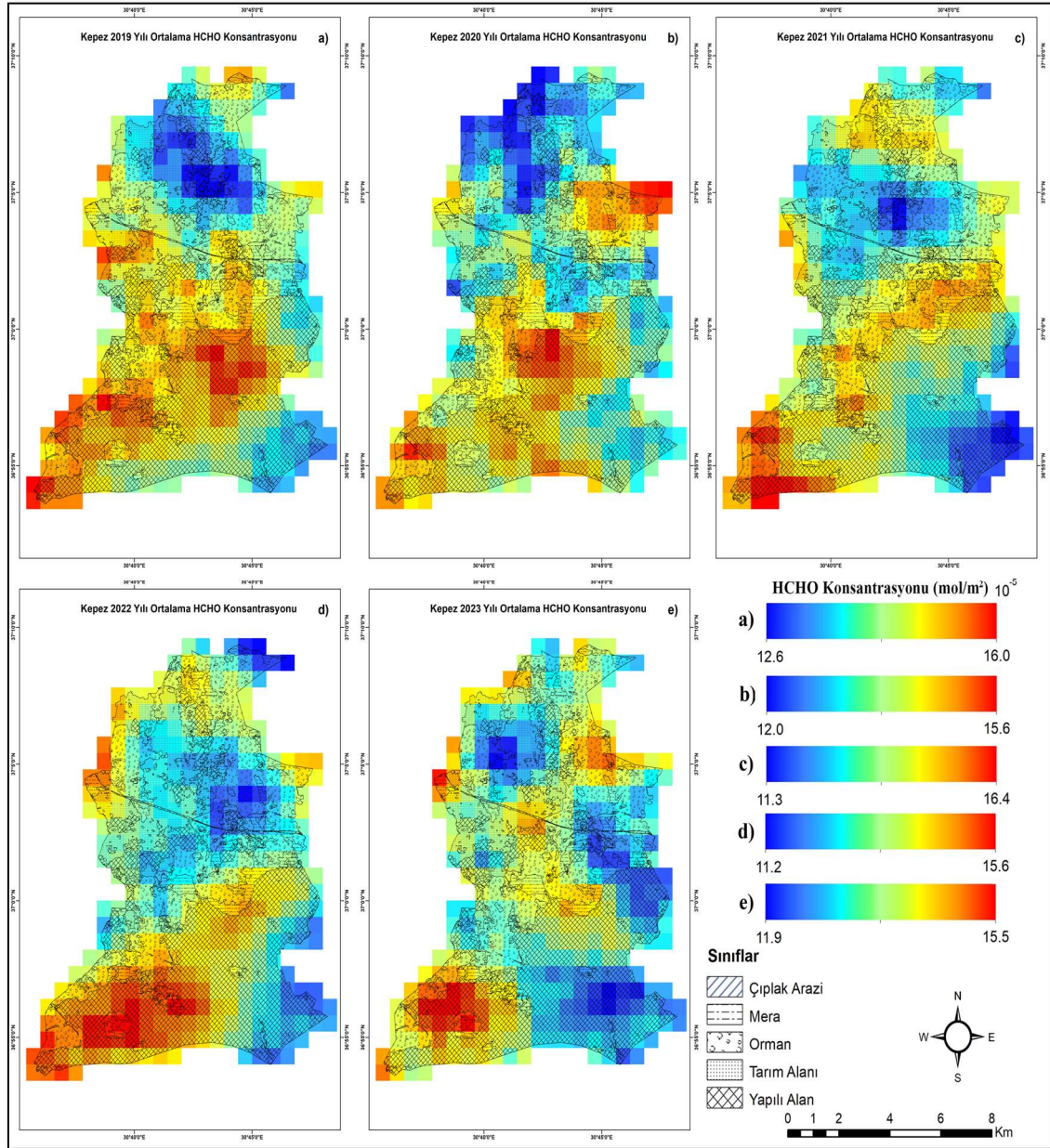
Şekil 4.3. Kepez ortalama NO_2 konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

2023 (e): NO_2 konsantrasyonları 7.4×10^{-5} mol/m² ile 10.2×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2023 yılında NO_2 konsantrasyonları bir önceki yıllarda olduğu gibi seyretmektedir. Diğer yıllarda olduğu gibi güneydeki yapıli alanlarda yüksek kuzeydeki ormanlık alanlarda düşük NO_2 konsantrasyonları devam etmektedir.

4.1.1.4. Formaldehit (HCHO) konsantrasyonu

Sonuçlar incelendiğinde yıllara göre HCHO konsantrasyonu yüksekten düşüğe doğru sırasıyla 2022, 2023, 2020, 2021, 2019 olarak sıralanabilir. En yüksek değer 2021 yılında (11.3×10^{-5} mol/m² – 16.4×10^{-5} mol/m²) olarak ölçülmüştür. 2022 yılı en düşük

değerin ölçüldüğü yıldır ($11.2 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2 - 15.6 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$). Şekil 4.4. de Kepez ilçesi 2019-2023 yılları için arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş HCHO konsantrasyonu haritaları görülmektedir.



Şekil 4.4. Kepez ortalama HCHO konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

2019 (a): HCHO konsantrasyonları $12.6 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$ ile $16.0 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2019 yılında HCHO konsantrasyonu, haritanın güney ve batı bölgelerinde daha yüksek, kuzey ve doğu bölgelerinde daha düşük olarak gözlemlenmektedir. Güneydeki yüksek HCHO konsantrasyonları genellikle yapıli alanlarda gözlemlenmiştir. Kuzeydeki orman ve mera alanlarında ise daha düşük konsantrasyonlar bulunmaktadır.

2020 (b): HCHO konsantrasyonları 12.0×10^{-5} mol/m² ile 15.6×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2020 yılında HCHO konsantrasyonları, 2019 yılına kıyasla genellikle benzer değerlere sahiptir. Yapılı alan bölgelerinde HCHO konsantrasyonları artışlar meydana gelmiştir. Orman ve mera alanlarında ise değişiklikler gözlemlenebilir.

2021 (b): HCHO konsantrasyonları 11.3×10^{-5} mol/m² ile 16.4×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2021 yılında HCHO konsantrasyonları, kuzeyde ve doğuda artış göstermiştir. Güneydeki yüksek HCHO konsantrasyonları devam etmektedir. Yapılı alanlar ve tarım arazilerinde yüksek HCHO konsantrasyonları devam etmektedir. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise HCHO konsantrasyonu artış göstermiştir.

2022 (d): HCHO konsantrasyonları 11.2×10^{-5} mol/m² ile 15.6×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2022 yılında güneydeki yüksek konsantrasyon alanları biraz daha genişlemiş gözükmemektedir. Güneydeki yapılı alanlarda HCHO konsantrasyonları artış göstermiştir. Ormanlık alanlarda ise değişiklik yoktur.

2023 (e): HCHO konsantrasyonları 11.9×10^{-5} mol/m² ile 15.5×10^{-5} mol/m² arasında değişmektedir. 2023 yılı, 2022 yılına kıyasla kuzeydeki konsantrasyonların tekrar arttığını, batıda ve güneyde ise düşük konsantrasyonlu alanlarda artış olduğunu işaret etmektedir. Yapılı alanlardaki HCHO konsantrasyonları azalmıştır. Ormanlık ve mera alanlarındaki HCHO konsantrasyonları ise stabildir.

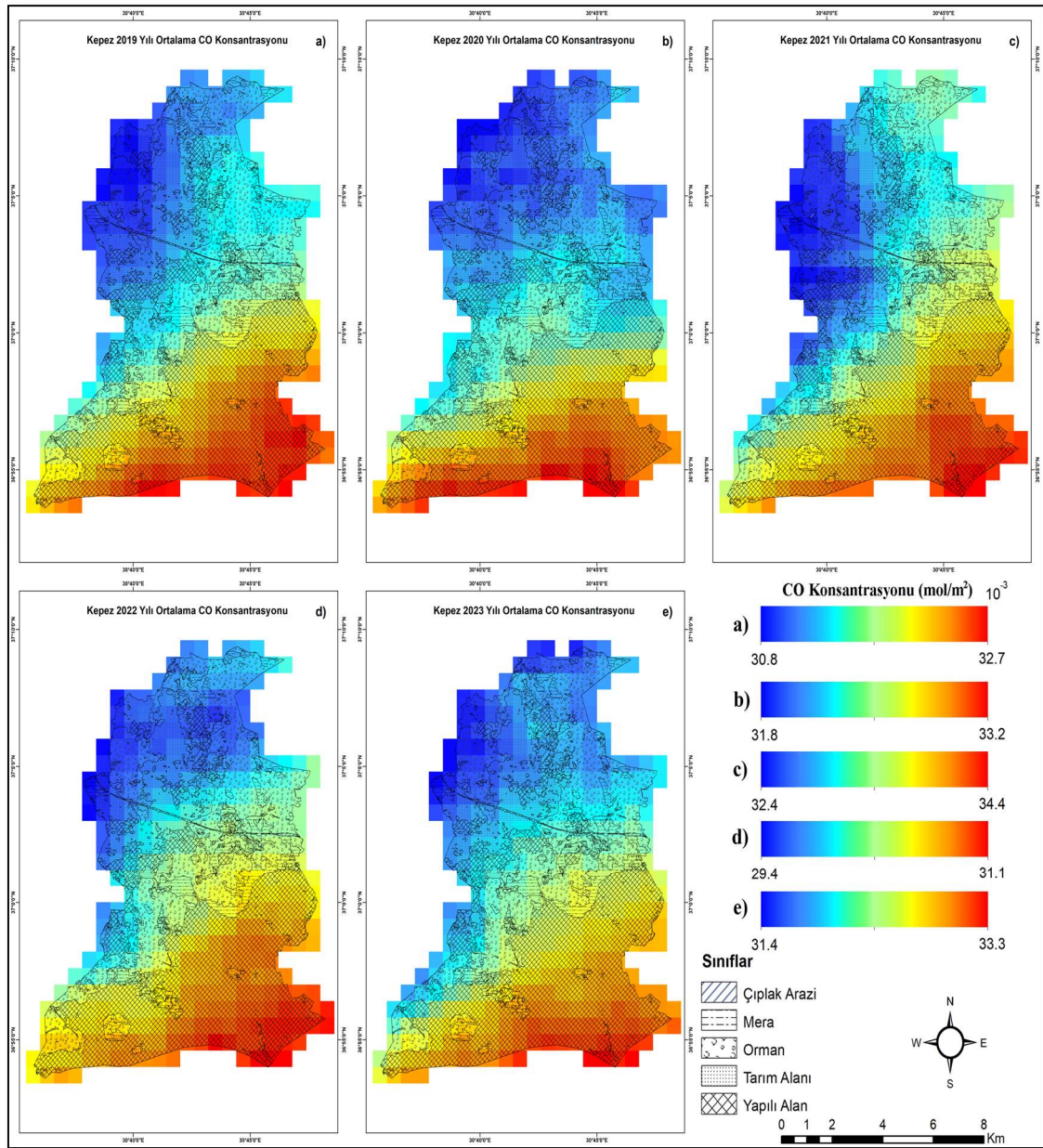
4.1.1.5. Karbon monoksit (CO) konsantrasyonu

Sonuçlar incelendiğinde yıllara göre CO konsantrasyonu yüksekten düşüğe doğru sırasıyla 2021, 2020, 2023, 2019, 2022 olarak sıralanabilir. 5 yıllık ölçümlerde en yüksek CO değeri 2021 yılında (32.4×10^{-3} mol/m² – 34.4×10^{-3} mol/m²) olarak ölçülmüştür. En düşük ölçüm değeri ise 2022 yılında (29.4×10^{-3} mol/m² – 31.1×10^{-3} mol/m²) ölçülmüştür. 5 yıllık haritalara incelendiğinde CO konsantrasyonunun en yüksek trafiğin yoğun olduğu Kepez ilçesinin güney ve güneydoğu sınırındaki yapılaşma alanlarında, en düşük konsantrasyonun ise kuzey kesimindeki ormanlık ve tarım alanlarında olduğu görülmektedir.

Genel eğilim tüm haritalarda Kepez'in güney kesiminde CO konsantrasyonunun daha yüksek olduğu, kuzeye doğru yoğunluğun azaldığı şeklindedir. Şekil 4.5. de Kepez ilçesi 2019-2023 yılları için arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş CO konsantrasyonu haritaları görülmektedir.

2019 (a): CO konsantrasyonları 30.8×10^{-3} mol/m² ile 32.7×10^{-3} mol/m² arasında değişmektedir. 2019 yılında CO konsantrasyonu, haritanın güney ve batı bölgelerinde daha yüksek ve kuzey bölgelerinde daha düşük olarak gözlemlenmektedir. Güneydeki yüksek CO konsantrasyonları genellikle yapılı alanlarda gözlemlenmiştir. Kuzeydeki orman ve mera alanlarında ise daha düşük konsantrasyonlar bulunmaktadır.

2020 (b): CO konsantrasyonları 31.8×10^{-3} mol/m² ile 33.2×10^{-3} mol/m² arasında değişmektedir. 2020 yılında CO konsantrasyonları, 2019 yılına kıyasla genellikle daha düşük değerlere sahiptir. Özellikle kuzey ve doğu bölgelerinde azalma belirgindir. Güneydeki yapılı alanlarda CO konsantrasyonları azalmıştır. Orman ve mera alanlarında ise değişiklikler gözlemlenebilir.



Şekil 4.5. Kepez ortalama CO konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

2021 (c): CO konsantrasyonları $32.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $34.7 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2021 yılında CO konsantrasyonları, kuzeyde ve doğuda tekrar artış göstermiştir. Güneydeki yüksek CO konsantrasyonları devam etmektedir. Yapılı alanlar ve tarım arazilerinde yüksek CO konsantrasyonları mevcuttur. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise CO konsantrasyonu artış göstermiştir.

2022 (d): CO konsantrasyonları $29.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $31.1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2022 yılında güneydeki CO konsantrasyonları, 2021 yılına benzer bir dağılım göstermektedir. Güneydeki yapıları alanlarda CO konsantrasyonları yüksek

seviyelerde kalmaya devam etmektedir. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise düşüş mevcuttur.

2023 (e): CO konsantrasyonları $31.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ ile $33.3 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$ arasında değişmektedir. 2023 yılında CO konsantrasyonları bir önceki yıllarda olduğu gibi seyretmektedir. Diğer yıllarda olduğu gibi güneydeki yapıli alanlarda yüksek kuzeydeki ormanlık ve tarım alanlarında düşük CO konsantrasyonları devam etmektedir.

4.1.1.6. Su buharı (H₂O) konsantrasyonu

Sonuçlar incelendiğinde yıllara göre H₂O konsantrasyonu yüksekten düşüğe doğru sırasıyla 2022, 2023, 2019, 2021, 2020 olarak sıralanabilir. 5 yıllık ölçümlerde en yüksek H₂O değeri 2020 yılında ($1218 \text{ mol/m}^2 - 1389 \text{ mol/m}^2$) olarak ölçülmüştür. En düşük ölçüm değeri ise 2022 yılında ($1035 \text{ mol/m}^2 - 1159 \text{ mol/m}^2$) olarak ölçülmüştür. Bölgenin 2019'dan 2023'e kadar yıllık ortalama H₂O konsantrasyonunun haritalarına bakıldığında, H₂O konsantrasyonunun yıllar içinde bölgesel farklılıklar gösterdiği ve özellikle güney bölgelerde daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.6. da Kepez ilçesi 2019-2023 yılları için arazi sınıflaması üzerine bindirilmiş H₂O konsantrasyonu haritaları görülmektedir.

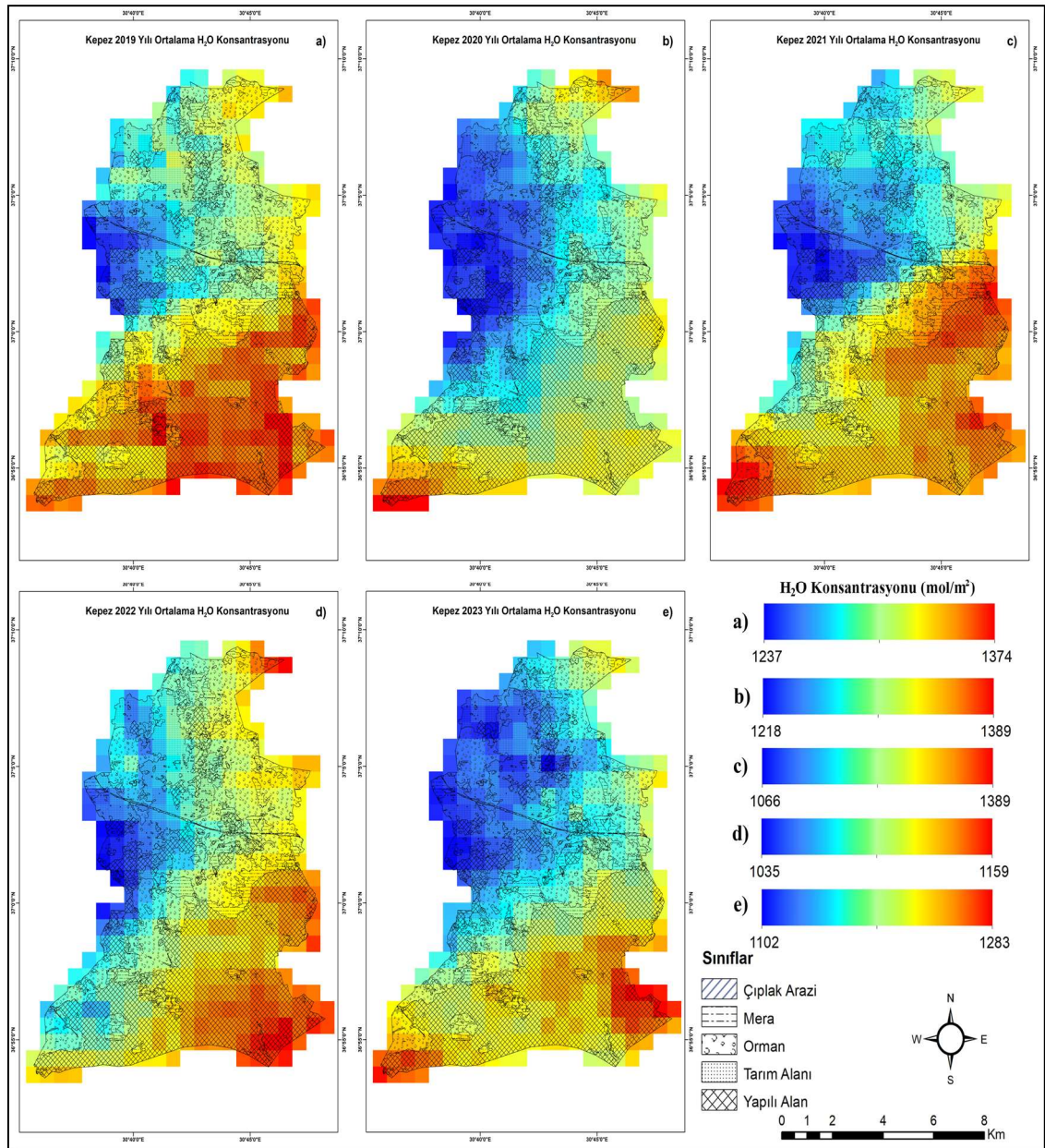
2019 (a): H₂O konsantrasyonları 1237 mol/m^2 ile 1374 mol/m^2 arasında değişmektedir. 2019 yılında H₂O konsantrasyonu, haritanın güney ve batı bölgelerinde daha yüksek ve kuzey bölgelerinde daha düşük olarak gözlemlenmektedir. Güneydeki yüksek H₂O konsantrasyonları genellikle yapıli alanlarda gözlemlenmiştir. Kuzeydeki orman, mera ve tarım alanlarında ise daha düşük konsantrasyonlar bulunmaktadır.

2020 (b): H₂O konsantrasyonları 1218 mol/m^2 ile 1389 mol/m^2 arasında değişmektedir. 2020 yılında H₂O konsantrasyonları, 2019 yılına kıyasla genellikle daha düşük değerlere sahiptir. Özellikle kuzey ve batı bölgelerinde azalma belirgindir. Kuzeydeki yapıli alanlarda H₂O konsantrasyonları azalmıştır. Orman, mera ve tarım alanlarında ise büyük değişiklikler gözlemlenmektedir.

2021 (c): H₂O konsantrasyonları 1066 mol/m^2 ile 1389 mol/m^2 arasında değişmektedir. 2021 yılında H₂O konsantrasyonları, kuzeyde, doğuda ve güneyde tekrar artış göstermiştir. Yapılı alanlarda yüksek H₂O konsantrasyonları mevcuttur. Kuzeydeki ormanlık alanlarda ise H₂O konsantrasyonu artış göstermiştir.

2022 (d): H₂O konsantrasyonları 1035 mol/m^2 ile 1159 mol/m^2 arasında değişmektedir. 2022 yılında H₂O konsantrasyonları, 2021 yılına benzer bir dağılım göstermektedir. Güneydeki yapıli alanlarda H₂O konsantrasyonları yüksek seviyelerde kalmaya devam etmektedir. Ormanlık alanlarda ise değişiklik yoktur.

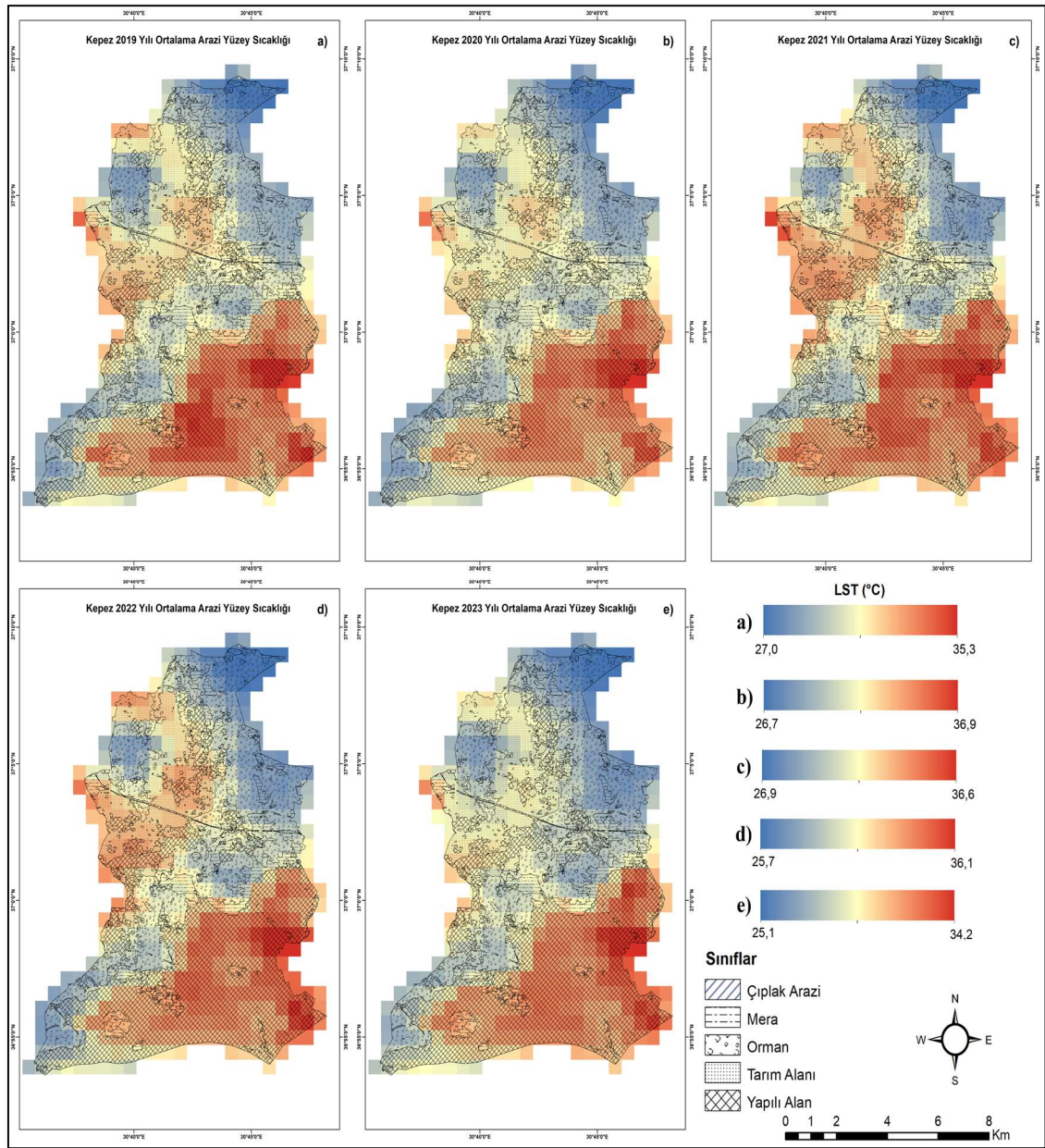
2023 (e): H₂O konsantrasyonları 1102 mol/m^2 ile 1283 mol/m^2 arasında değişmektedir. 2023 yılında H₂O konsantrasyonları genel olarak düşmüştür. Kuzeydeki düşük H₂O konsantrasyonları belirgin olup, güney ve batıdaki yüksek H₂O konsantrasyonları azalmıştır. Yapılı alanlardaki H₂O konsantrasyonları azalmıştır. Ormanlık ve mera alanlarındaki H₂O konsantrasyonları ise stabildir.



Şekil 4.6. Kepez ortalama H_2O konsantrasyonları ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

4.1.1.7. Kepez ilçesi arazi yüzey sıcaklığı haritası

Haritalar Kepez bölgesindeki yıllık ortalama LST yoğunluğunu 2019'dan 2023'e kadar göstermektedir (Şekil 4.7.). Bu beş yıllık süreç boyunca elde edilen veriler, yüzey sıcaklıklarının mekansal ve zamansal dağılımını incelemek amacıyla kullanılmıştır. LST değerleri ile oluşturulan haritalar, farklı arazi kullanım sınıflamaları üzerine bindirilerek beş yıllık LST harita çıktısı oluşturulmuştur. Bu yöntemle bölgede farklı arazi kullanım türlerinin yüzey sıcaklıklarına olan etkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.



Şekil 4.7. Kepez ortalama LST değerleri ve arazi sınıfları haritası 2019 yılı (a), 2020 yılı (b), 2021 yılı (c), 2022 yılı (d), 2023 yılı (e)

Sonuçlar incelendiğinde beş yıl boyunca yüzey sıcaklık dağılımının genel anlamda değişmediği görülmektedir. Ancak bazı yıllar arasında küçük farklar gözlemlenmiştir. En yüksek LST değerine sahip yıl 2020 yılı olarak tespit edilmiştir. Bu durum, o yıl meydana gelen belirli iklim koşullarına veya insan aktivitelerine bağlı olabilir. İlçenin güney bölgesi yıllar içinde genel olarak daha yüksek sıcaklıklar göstermekte, kuzey bölgesi, sürekli olarak daha serin kalmaktadır. Arazi kullanım türlerinin (mera, orman, tarım alanı, yapıli alan) sıcaklık dağılımı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu gözlemlenebilir. Özellikle yapıli alanların daha yüksek sıcaklıklarla ilişkilendirildiği görülmektedir.

2019 (a): Sıcaklıklar 27.0°C ile 35.3°C arasında değişmektedir. Haritanın güney kısmındaki yapılaşma alanlarında yüksek sıcaklık bölgeleri görülmektedir, kuzeyde ise daha serin alanlar yer almaktadır.

2020 (b): Sıcaklıklar 26.7°C ile 36.9°C arasında değişmektedir. 2019 yılına benzer bir dağılım vardır. Kuzey bölgeler hala daha serindir.

2021 (c): Sıcaklıklar 26.9°C ile 36.6°C arasında değişmektedir. Kuzey ve doğudaki yüksek sıcaklık bölgeleri belirginleşmiş ve daha geniş bir alana yayılmıştır.

2022 (d): Sıcaklıklar 25.7°C ile 36.1°C arasında değişmektedir. 2021 yılına benzer bir dağılım vardır.

2023 (e): Sıcaklıklar 25.1°C ile 34.2°C arasında değişmektedir. Güneydeki yüksek sıcaklık alanları belirgin bir şekilde azalmakta ve daha dengeli bir sıcaklık dağılımı görülmektedir.

4.1.2. Mahalle bazlı zonal istatistik

Bu süreçte her mahalle için TROPOMI atmosferdeki gaz konsantrasyonu verileri analiz edilmiştir. Aynı işlem MODIS arazi yüzey sıcaklığı verileri için de yapılmıştır. Bu analiz 2019-2023 yılları arasındaki beş yıllık dönemde her mahallenin hava kirliliği ve yüzey sıcaklığı seviyelerindeki değişimleri ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda her mahallenin yıllık bazda hava kirliliği ve yüzey sıcaklığı seviyeleri belirlenmiş ve bu seviyelerin zaman içindeki değişimini gösteren grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler mahalle bazında kirlilik ve sıcaklık eğilimlerini görselleştirmekte ve olası kirlilik kaynaklarının tespit edilmesine katkı sağlamaktadır.

4.1.2.1. Ozon (O₃) yıllık ortalama konsantrasyonları

Kepez ilçesi O₃ konsantrasyonları mahalle bazında yıllık incelenmiştir (Şekil 4.8.). Genel olarak, O₃ konsantrasyonlarının yıllar içinde değişim gösterdiği ancak mahalleler arasında belirli bir tutarlılık sergilediği görülmektedir. 2021 yılı, en yüksek O₃ konsantrasyonlarına sahip yıl olarak dikkat çekmektedir. Bunu 2022, 2023, 2019 ve 2020 yılları takip etmektedir. Son beş yıldaki en yüksek O₃ değeri (0.1427 mol/m²) Altınova Sinan mahallesinde 2021 yılında ölçülmüştür. En düşük O₃ değeri (0.1391 mol/m²) ise 2020 yılında Başköy mahallesinde ölçülmüştür. Mahalle bazında incelendiğinde, Altınova Sinan, Beşkonaklılar ve Göksu mahallelerinin genellikle yüksek O₃ konsantrasyonlarına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölgelerde sanayi ve kırsal yerleşimin yaygın olması, kömür tüketimi yapıyor olması etkili neden olarak yorumlanabilir. Öte yandan Başköy, Çamlıca, Kirişçiler, Kızıllı, Odabaşı ve Ünsal mahalleleri düşük O₃ konsantrasyonlarıyla dikkat çekmektedir. Bu mahallelerin düşük O₃ konsantrasyonuna sahip olmasının nedeni yerleşim merkezi dışı mahalleler olmasıdır.

4.1.2.2. Kükürt dioksit (SO₂) yıllık ortalama konsantrasyonları

O₃'ün aksine SO₂ ölçümleri hem yıllık bazda hem de mahalle bazında düzenli bir dağılım göstermemektedir (Şekil 4.9.). 2023 yılı en yüksek konsantrasyona sahip yıl olarak

gözlenmektedir. Beş yılın en yüksek konsantrasyona ait mahalleleri 2023 yılında ölçülmüş olup, Teomanpaşa ($0.00025215 \text{ mol/m}^2$) ve Ulus'tur ($0.00025215 \text{ mol/m}^2$). Bunun aksine Teomanpaşa 2020 yılında beş yılın en düşük konsantrasyonuna ($0.0001380 \text{ mol/m}^2$) sahiptir.

4.1.2.3. Azot dioksit (NO_2) yıllık ortalama konsantrasyonları

Tespit edilen NO_2 ölçümleri tıpkı O_3 gibi beş yılda düzenli bir grafik çizmektedir (Şekil 4.10.). Sırasıyla en yüksek konsantrasyondan en düşüğe doğru 2023, 2022, 2021, 2019, 2020 olduğu grafikten okunmaktadır. NO_2 konsantrasyonu açısından en yüksek değerler 2023 yılında Yavuz Selim, Kütükçü, Barış, Kuzeyyaka, Yeni Emek ve Atatürk mahallelerinde ($0.0001032 \text{ mol/m}^2$) tespit edilmiştir. En düşük NO_2 değeri ise 2020 yılında Kızıllı mahallesinde ($0.00007689 \text{ mol/m}^2$) ölçülmüştür.

4.1.2.4. Formaldehit (HCHO) yıllık ortalama konsantrasyonları

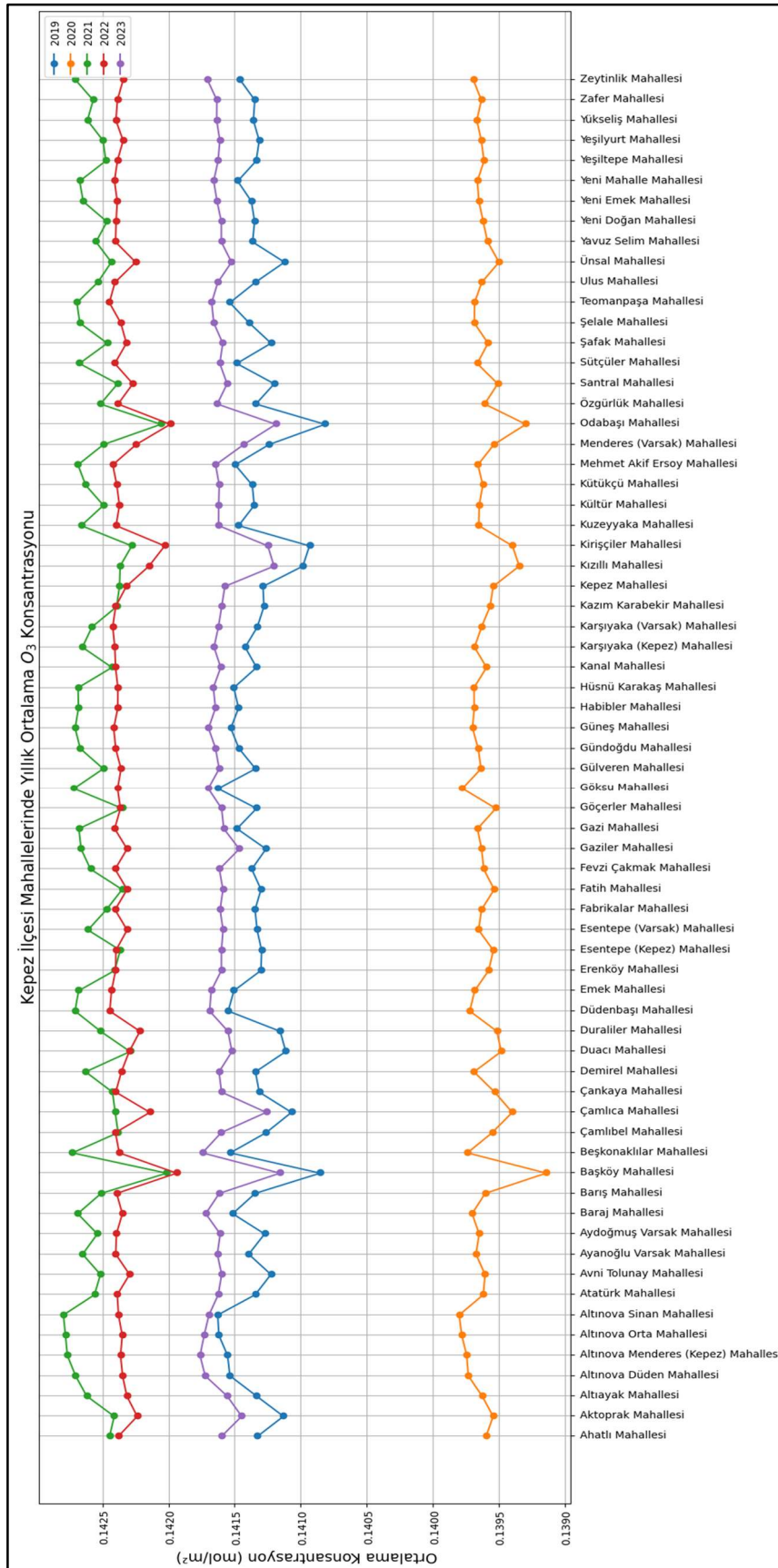
Kepez ilçesi HCHO konsantrasyonları mahalle bazında yıllık incelenmiştir (Şekil 4.11.). Tespit edilen HCHO ölçümleri hem yıllık bazda hem de mahalle bazında tıpkı SO_2 gibi düzenli bir dağılım göstermemektedir. Grafik incelendiğinde 2019 yılı en yüksek konsantrasyona sahip yıl olarak gözlenmektedir. Beş yılın en yüksek konsantrasyona ait mahallesi 2021 yılında ölçülmüş olup, Avni Tolunay mahallesi ($0.0001596 \text{ mol/m}^2$) dir. Bunun aksine Altınova Orta mahallesi 2021 yılında beş yılın en düşük konsantrasyonuna ($0.0001337 \text{ mol/m}^2$) sahiptir. 2019 yılında Göçerler ve Demirel, 2021 yılında Gülveren ve Yeşilyurt, mahalleleri en yüksek değerin ölçüldüğü mahallelerdir.

4.1.2.5. Karbon monoksit (CO) yıllık ortalama konsantrasyonları

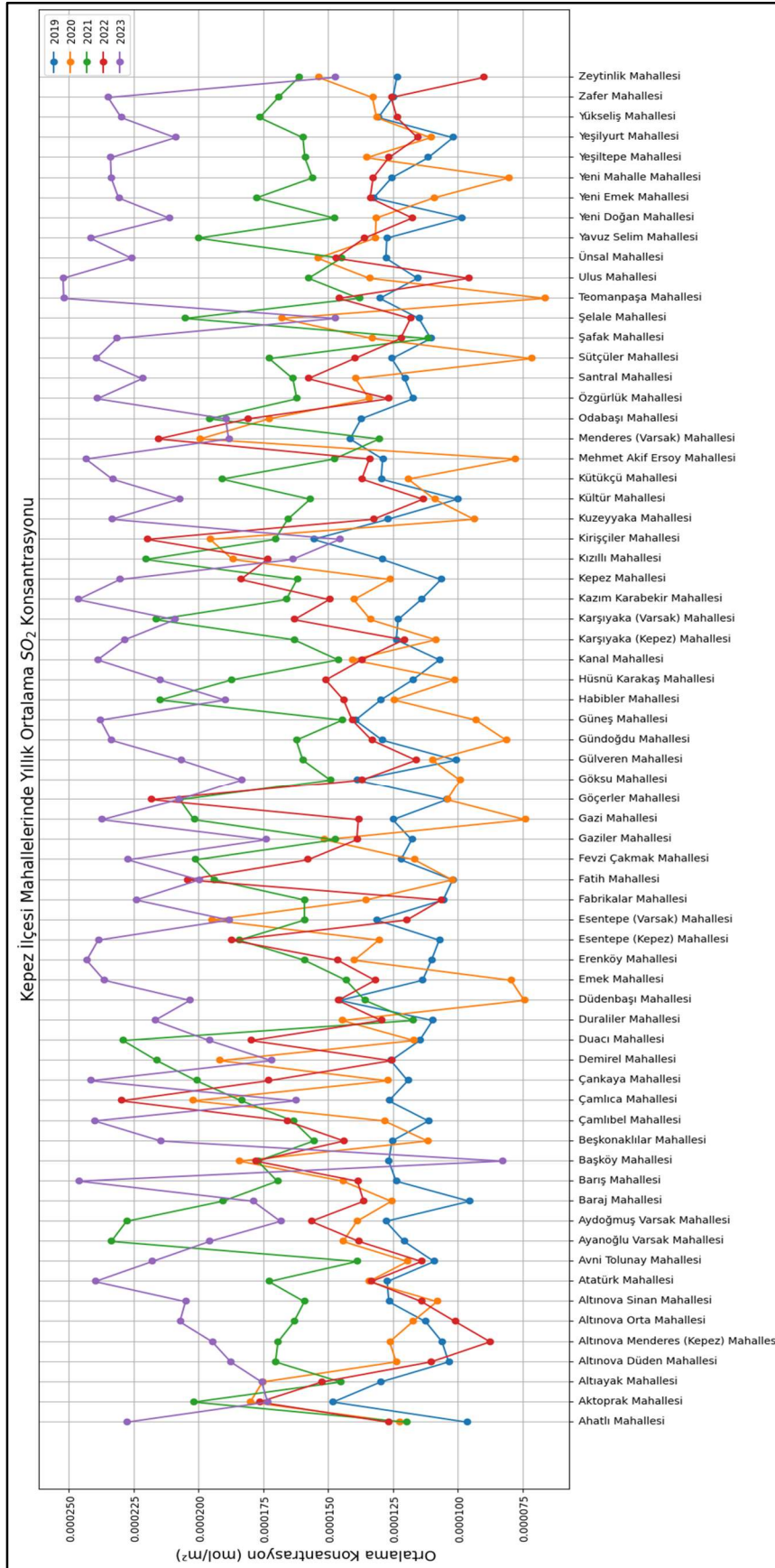
Şekil 4.12.'de yer alan grafiğin genel yorumlanmasında CO konsantrasyonlarında yıllar içerisinde küçük dalgalanmalar gösterdiği ancak büyük ölçüde istikrarlı olduğu tespit edilmiştir. Yıllara göre sırasıyla en yüksek konsantrasyondan en düşüğe doğru 2021, 2023, 2020 2019, 2022 olduğu grafikten okunmaktadır. 2020 ve 2023 yılları birbirine çok yakın ortalama değerler sunmaktadır. CO konsantrasyonunda en yüksek değerler 2023 yılında Altınova Sinan (0.03438 mol/m^2), Göksu (0.03435 mol/m^2), Altınova Orta (0.03432 mol/m^2) mahallelerinde tespit edilirken, en düşük Başköy (0.02967 mol/m^2), Kızıllı (0.02983 mol/m^2), Odabaşı (0.02997 mol/m^2), Duacı (0.03002 mol/m^2) mahallelerinde ölçülmüştür.

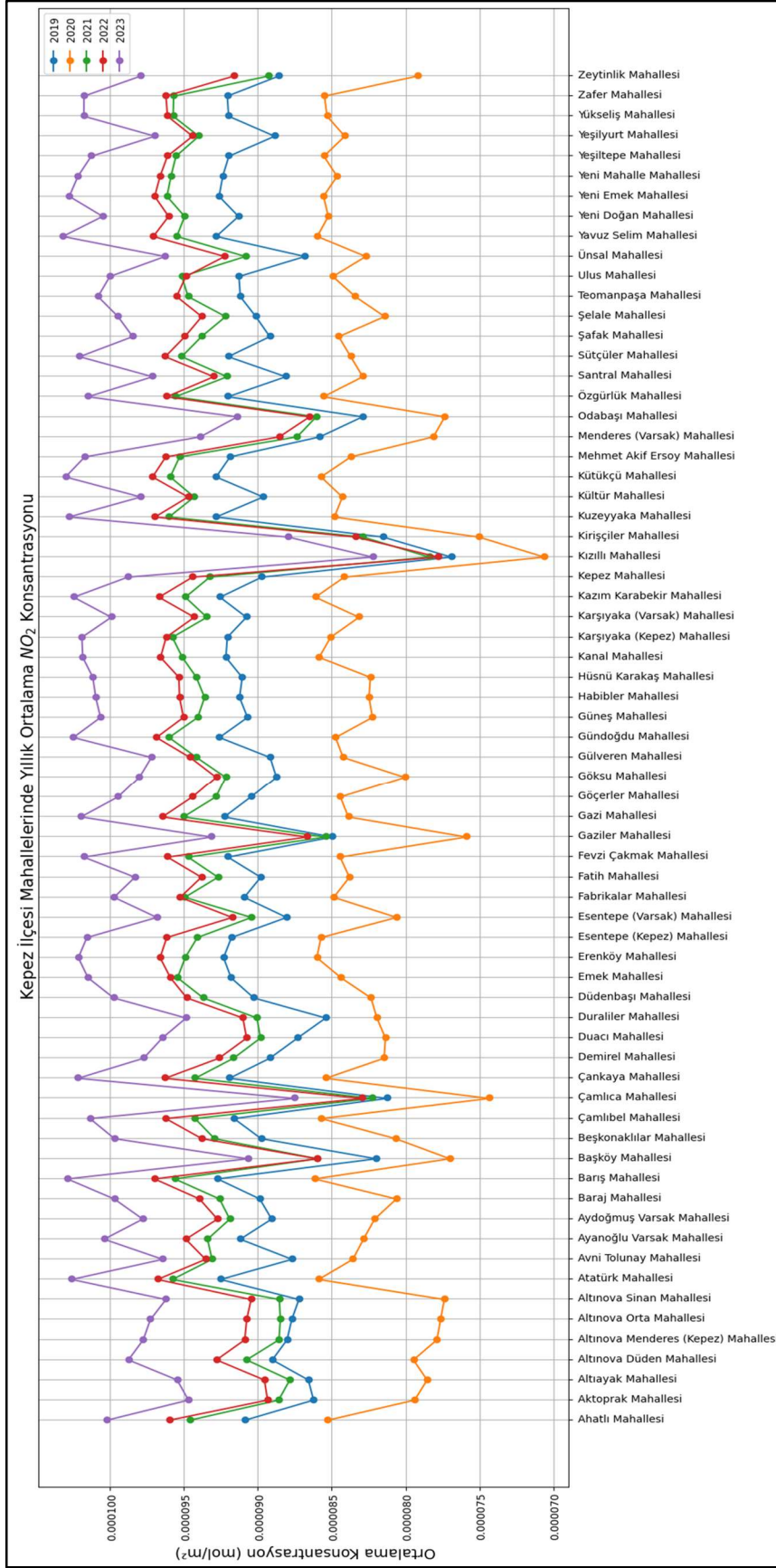
4.1.2.6. Su buharı (H_2O) yıllık ortalama konsantrasyonları

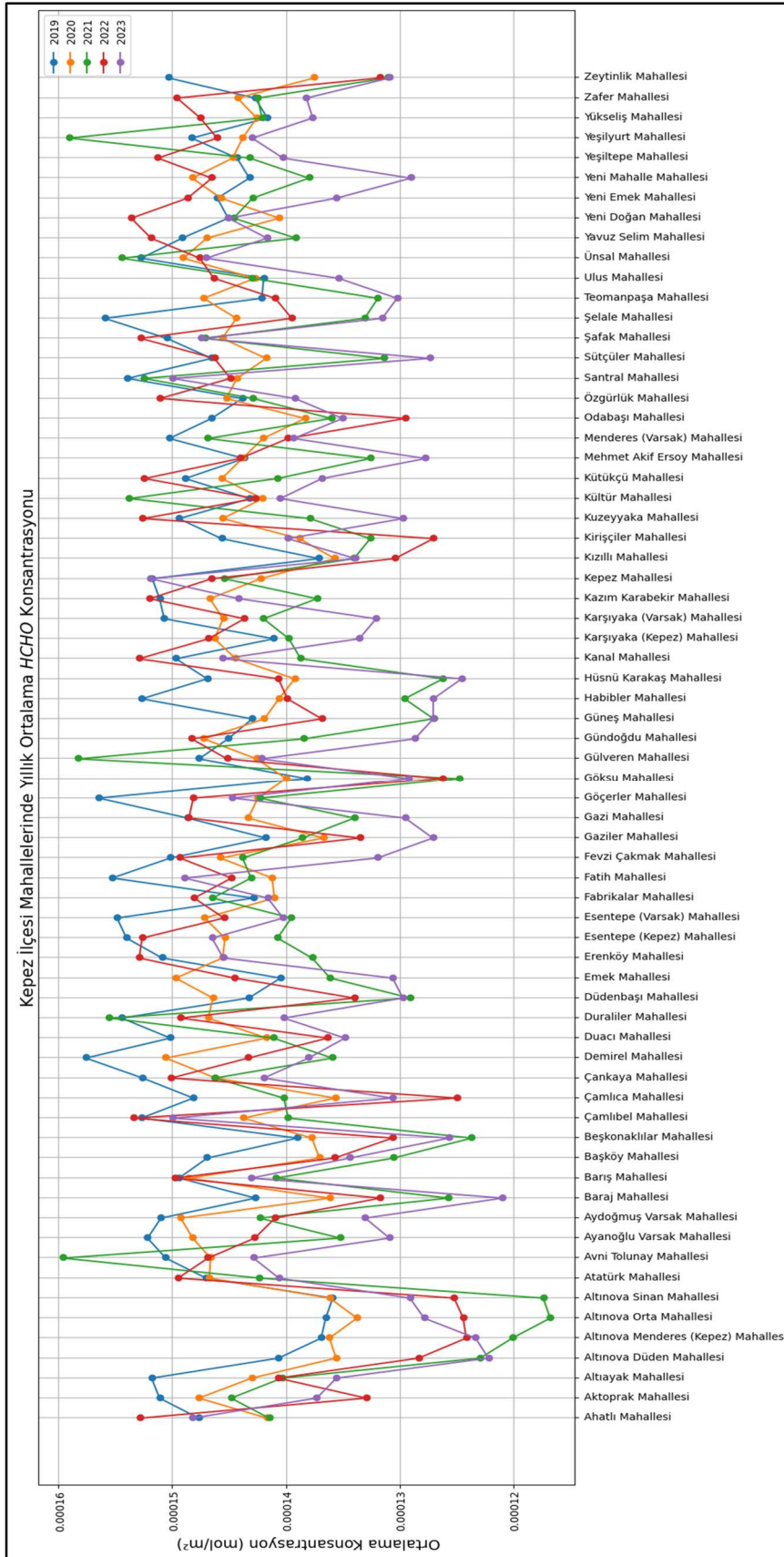
Yıllara göre sırasıyla en yüksek konsantrasyondan en düşüğe doğru 2019, 2020, 2023 2021, 2022 olduğu Şekil 4.13.'deki grafikten okunmaktadır. Belirlenen beş yılın en yüksek H_2O değerine sahip mahalleleri; Kuzeyyaka $1365.68 \text{ (mol/m}^2\text{)}$, Emek (1365.06 mol/m^2), Teomanpaşa (1365.064) mahalleleri olarak sıralanabilir. Beş yılın en düşük H_2O değerleri ölçülen mahalleleri ise; Odabaşı (1054.18 mol/m^2), Başköy (1066.16 mol/m^2), Duacı (1077.95 mol/m^2), Kirişçiler (1078.54 mol/m^2), mahalleleri olarak sıralanabilir.



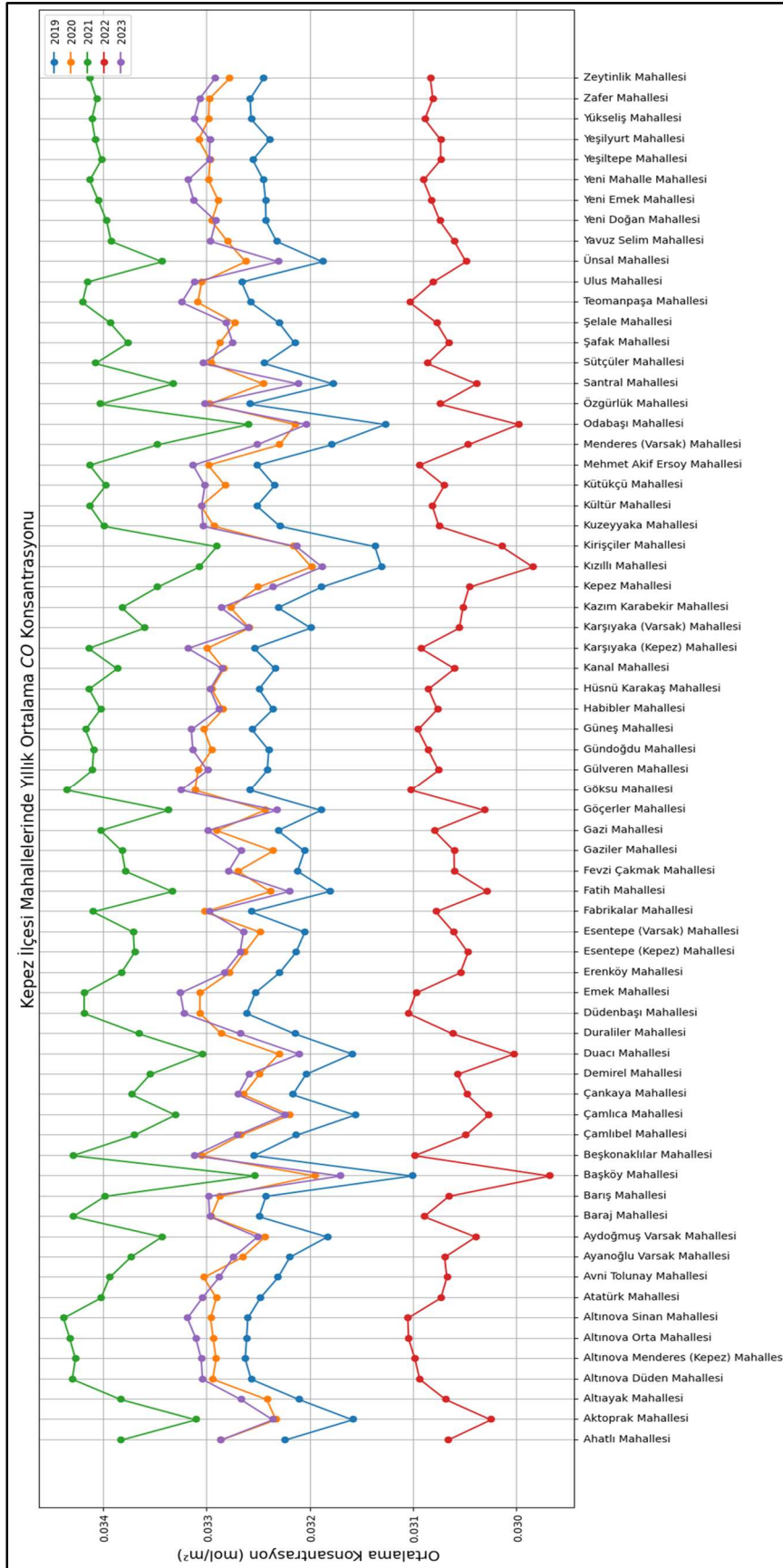
Şekil 4.8. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama O₃ konsantrasyonu.

Şekil 4.9. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonu

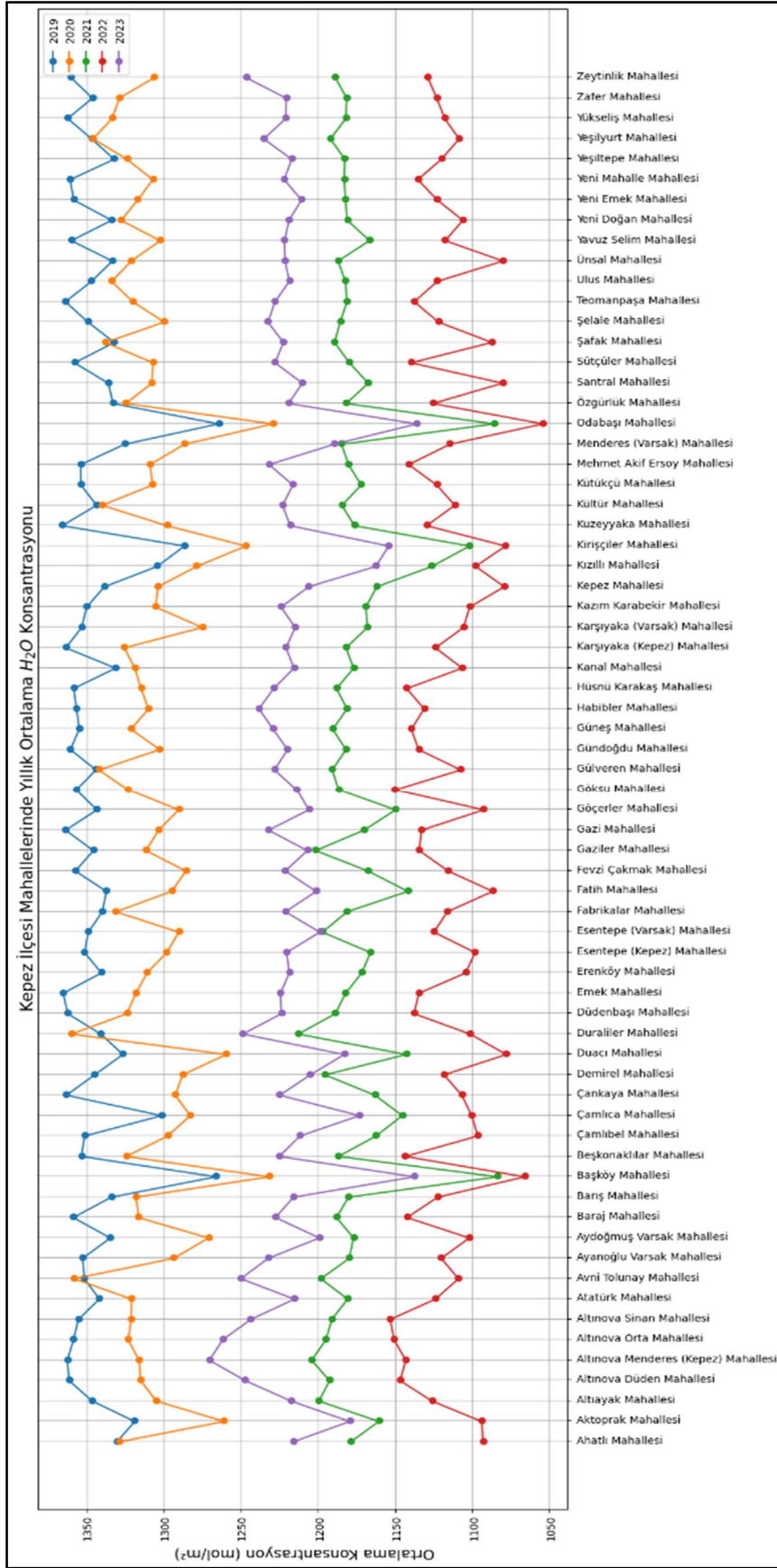
Şekil 4.10. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama NO₂ konsantrasyonu



Şekil 4.11. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama HCHO konsantrasyonu

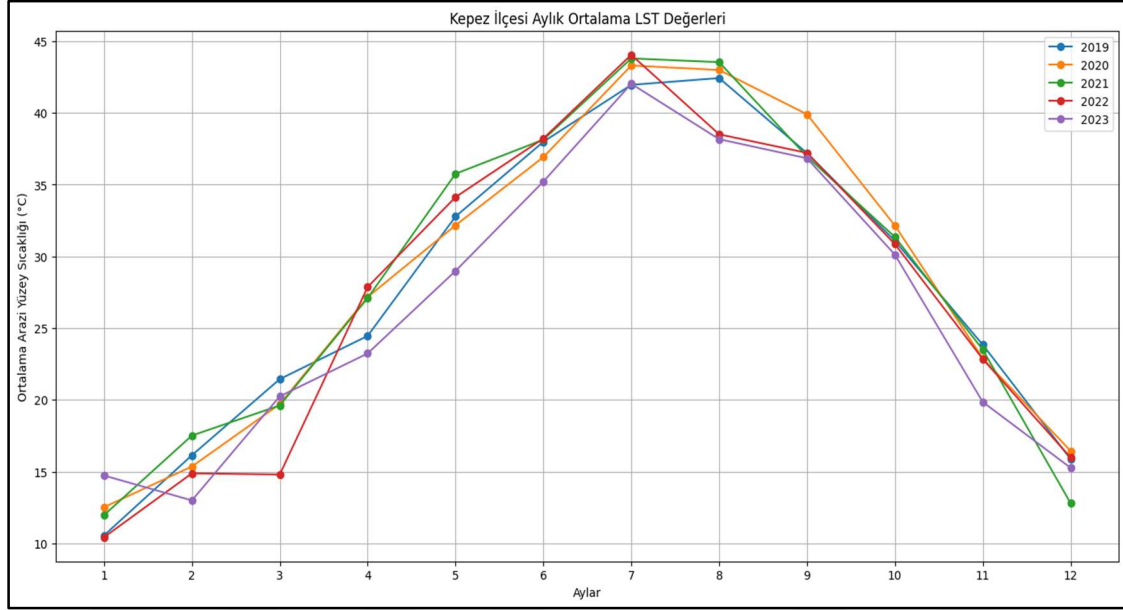


Şekil 4.12. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama CO konsantrasyonu

Şekil 4.13. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama H_2O konsantrasyonu

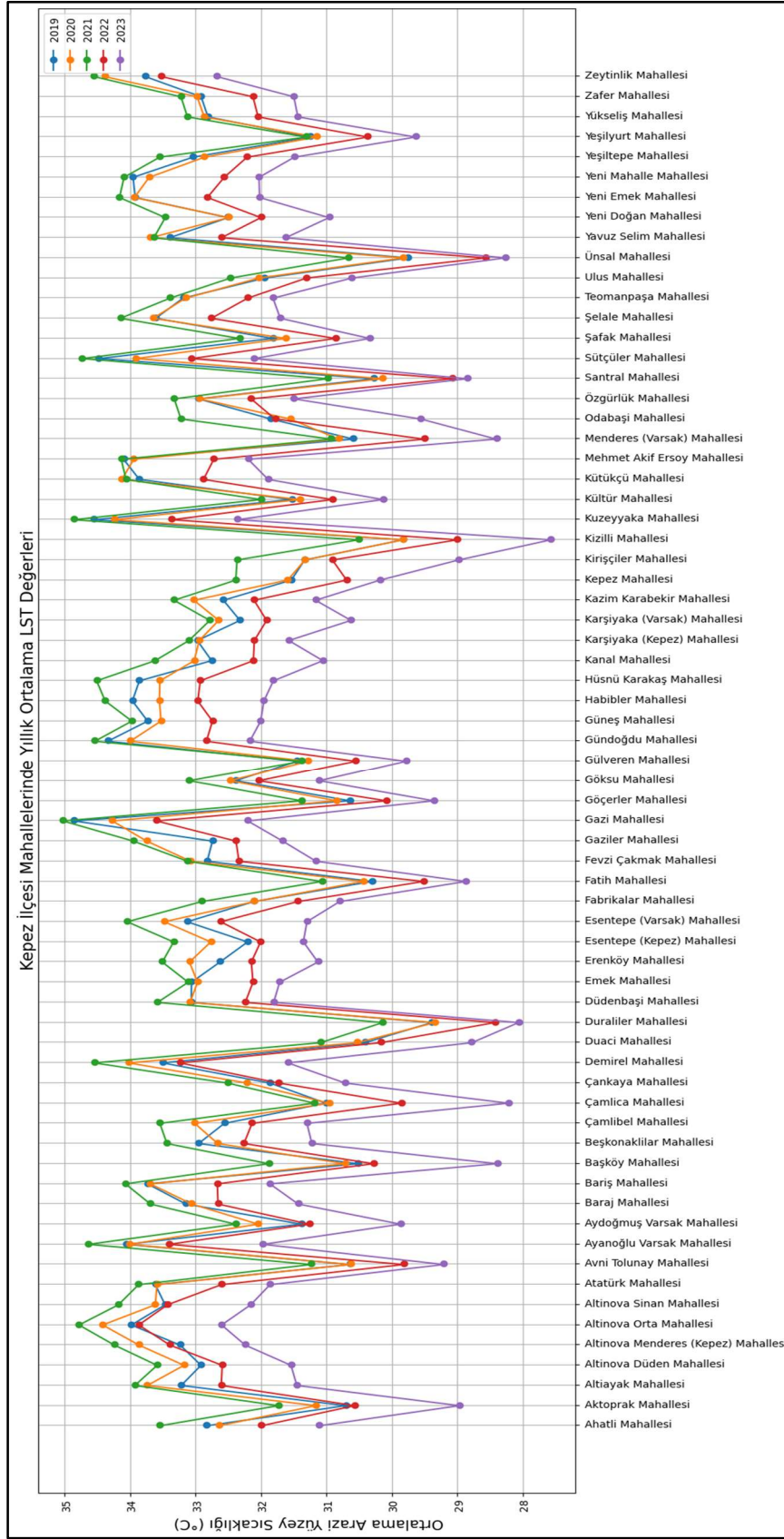
4.1.2.7. Arazi yüzey sıcaklığı

Şekil 4.14.'deki grafik Kepez İlçesi'nin 2019-2023 yılları arasındaki ortalama aylık LST değerlerini göstermektedir. Tüm yıllar boyunca sıcaklıklar Ocak ayından itibaren yükselmekte, Temmuz veya Ağustos aylarında en yüksek seviyelere ulaşmakta ve sonrasında tekrar düşmekte olan bir sıcaklık eğilimini göstermektedir. Sıcaklıklar Temmuz ve Ağustos aylarında 45°C civarında zirveye ulaşırken, Ocak ve Aralık aylarında 10°C civarına düşmektedir.



Şekil 4.14. Kepez aylık LST değerleri

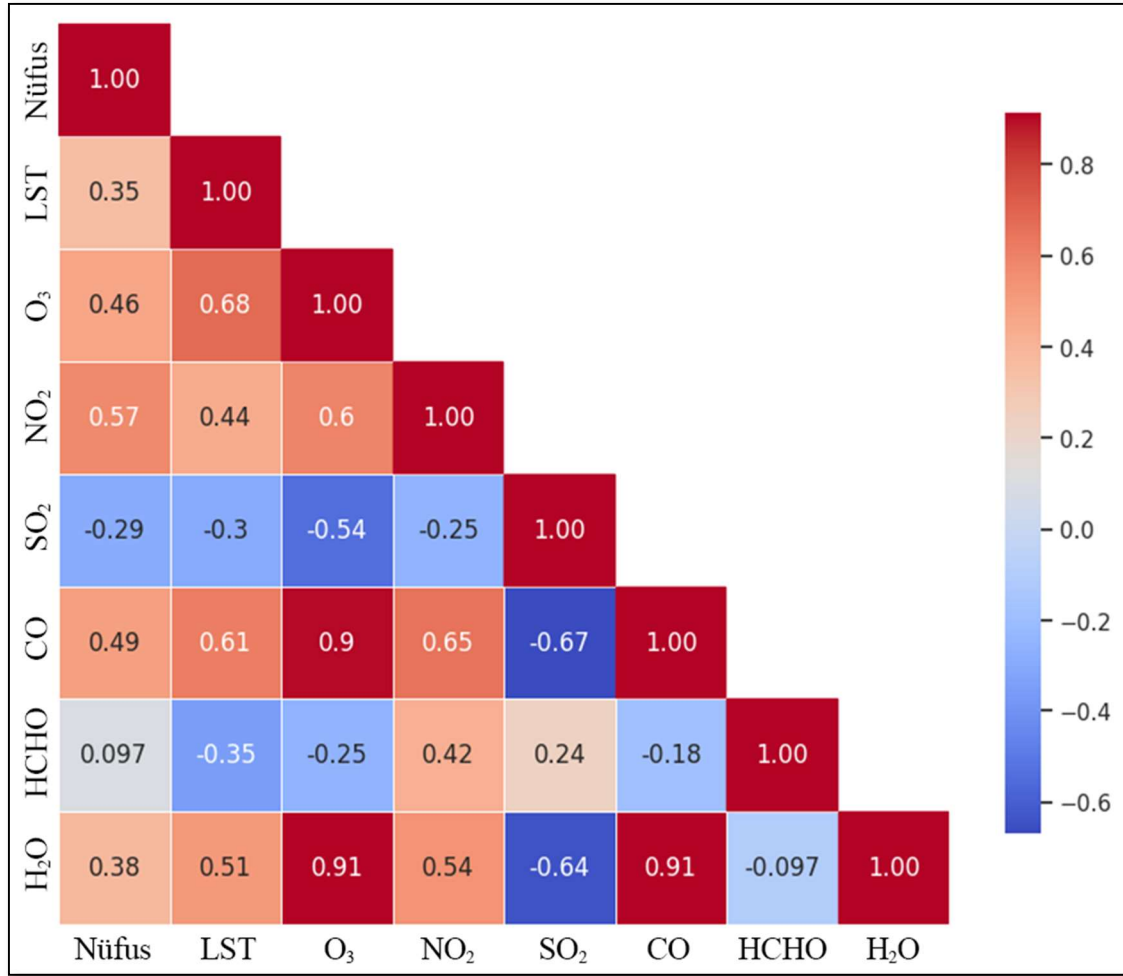
Kepez ilçesi mahalle bazlı yıllık ortalama LST grafiği (Şekil 4.15.) incelendiğinde, dış mahallelerin ortalama sıcaklık değerlerinin merkez mahallelerine göre daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum, şehir merkezine olan yakınlığın yüzey sıcaklığı üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir. Merkez mahallelerin daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip olması yoğun yapılaşma, insan aktiviteleri ve ısı adası etkisi gibi faktörlerle açıklanabilirken; dış mahallelerin daha düşük sıcaklıklara sahip olması bu bölgelerdeki yeşil alanların ve doğal yüzeylerin serinletici etkisine bağlanabilir. LST açısından en yüksek değerler Altınova Sinan, Göksu, Altınova Orta, Altınova Düden, Beşkonaklılar ve Baraj mahallelerinde, en düşük değerler ise Başköy, Kızıllı, Odabaşı, Duacı ve Kirişçiler mahallelerinde ölçülmüştür.



Şekil 4.15. Kepez ilçesi mahallelerinde yıllık ortalama LST değerleri

4.1.3. Veriler arasındaki korelasyon

Kepez ilçesine bağlı 68 mahallede Zonal istatistik yöntemi ile elde edilen 5 yıllık ortalama TROPOMI, MODIS ve TÜİK nüfus verileri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için korelasyon matrisi hesaplanmıştır (Şekil 4.16.). Genel olarak nüfus yoğunluğu, arazi yüzey sıcaklıkları ve belirli hava kirleticileri (O_3 , NO_2 , CO) arasında pozitif korelasyonlar bulunmaktadır, bu da insan faaliyetlerinin artışıyla bu kirleticilerin seviyelerinin arttığını göstermektedir.



Şekil 4.16. Korelasyon matrisi

TROPOMI verilerinin kendi aralarındaki korelasyonlar, hava kirleticilerinin birbirleriyle olan ilişkilerini anlamak için önemli bilgiler sağlar. O_3 ile CO arasında (0,90) ve O_3 ile H_2O arasında (0,91) çok yüksek pozitif korelasyonların bulunması, bu kirleticilerin benzer kaynaklardan yayıldığını, atmosferde benzer davranışlar sergilediğini ve birbirlerini etkilediklerini göstermektedir. Benzer şekilde, CO ile H_2O arasındaki çok yüksek pozitif korelasyon (0,91) de bu durumu desteklemektedir.

NO_2 ile O_3 (0,60), NO_2 ile H_2O (0,54) ve NO_2 ile CO (0,65) arasındaki orta seviyede pozitif korelasyonlar, NO_2 seviyelerinin O_3 , H_2O ve CO seviyelerinin artmasıyla

birlikte arttığını göstermektedir. Bu, genellikle trafik yoğunluğu ve endüstriyel faaliyetlerin etkisini yansıtmaktadır.

Bununla birlikte SO_2 ile CO (-0.67), SO_2 ile O_3 (-0.54) ve SO_2 ile H_2O (-0.64) arasındaki orta seviyede negatif korelasyonlar, SO_2 seviyelerinin arttığı bölgelerde diğer kirleticilerin seviyelerinin azaldığını göstermektedir. Bu durum SO_2 'nin genellikle farklı kaynaklardan yayıldığını ve bu kirleticilerin atmosferde farklı kimyasal süreçlere ve dağılımlara sahip olduğunu gösterebilir.

TÜİK mahalle nüfus verileri ile TROPOMI verileri arasındaki korelasyonlar incelendiğinde NO_2 (0.57) ile orta seviyede pozitif korelasyon, O_3 (0.46) ve CO (0.49) ile zayıf seviyede pozitif korelasyonlar bulunmaktadır. Bu değerler nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde bu kirleticilerin seviyelerinin de arttığını göstermektedir ve insan faaliyetlerinin hava kirliliği üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Son olarak LST verileri ile TROPOMI verileri arasındaki korelasyonlarda H_2O (0.51), CO (0.61) ve O_3 (0.68) ile orta seviyede pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir. Bu tespit yüzey sıcaklığının yükseldiği bölgelerde H_2O , CO ve O_3 seviyelerinin arttığı yorumuna neden olabilir. Yüksek yüzey sıcaklıkları, bu kirleticilerin atmosferde daha fazla bulunmasına ve kimyasal reaksiyonlarla oluşmasına katkıda bulunabilir.

Korelasyon matrisi ile yapılan tüm bu tespitler Kepez ilçesindeki mahallelerde hava kirliliğinin kaynaklarını ve dağılımını anlamak açısından önemli ipuçları sağlamaktadır. İnsan faaliyetleri ve yüzey sıcaklıklarının artışı, özellikle O_3 , NO_2 ve CO gibi kirleticilerin seviyelerini etkileyen başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır.

4.2. Tartışma

Bu çalışmada Kepez ilçesinde 2019-2023 yılları arasında hava kirleticilerinin (NO_2 , CO, SO_2 , O_3 , H_2O ve HCHO) mekansal ve zamansal dağılımı incelenmiş ve bu kirleticilerle LST ve mahalle nüfus verileri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bulgular Kepez'in özellikle güney bölgelerinde hava kirliliği düzeylerinin yüksek olduğunu ve bu kirlilik seviyelerinin insan faaliyetleri, şehirleşme ve yüzey sıcaklıkları ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

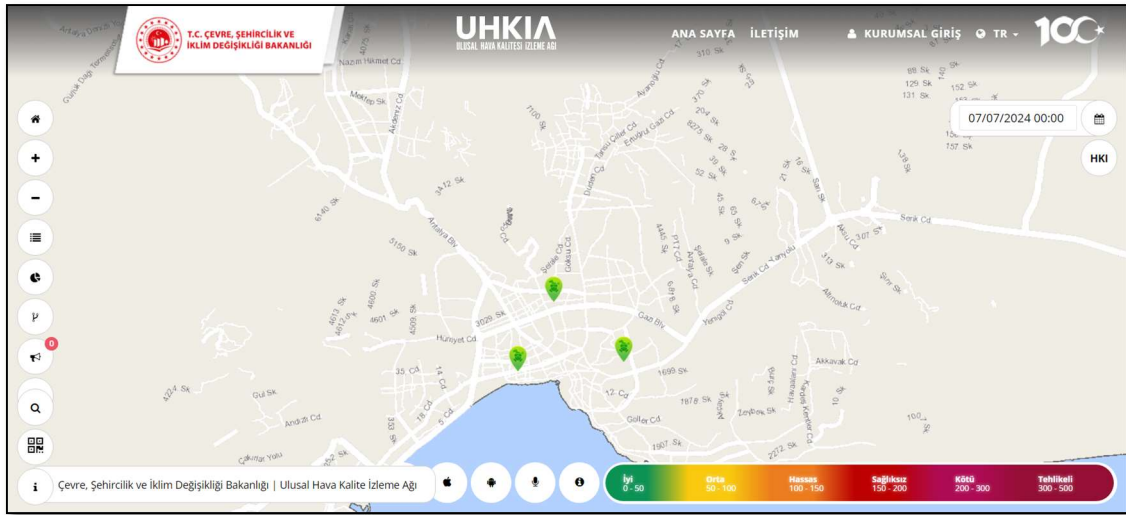
UA kullanılarak elde edilen hava kirletici gaz konsantrasyonları ile hava kirliliğini etkileyebilecek çeşitli değişkenler (nüfus, LST vb.) arasındaki ilişkileri inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Bala vd. (2024) Hindistan'ın Ahmedabad şehrinde farklı aylarda LST değerleri ile CO, NO_2 , O_3 arasında sırasıyla 0.53, 0.70, 0.58 oranında korelasyonlar tespit etmişlerdir. Kaplan vd. (2019) 2018-2019 yılları arasında Türkiye genelinde topladıkları NO_2 ortalama konsantrasyon değerleri ile nüfus verileri arasında 0.72 oranında bir korelasyon tespit etmiştir. Benzer şekilde, Bhatkar vd. (2020) Birleşik Arap Emirlikleri'nde gerçekleştirdikleri çalışmada, TROPOMI bazlı NO_2 gaz konsantrasyonları ile nüfus verileri arasında 0.85 oranında yüksek bir korelasyon bulmuşlardır. Bu çalışmalar, hava kirleticilerin dağılımının büyük ölçüde insan faaliyetleri, LST ve demografik faktörlerle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Çalışmada O_3 ile CO ve O_3 ile H_2O arasında çok yüksek pozitif korelasyonlar bulunmuştur. Bu kirleticilerin benzer kaynaklardan yayıldığı ve atmosferde benzer

davranışlar sergilediği anlaşılmaktadır. CO ile H₂O arasındaki yüksek pozitif korelasyon da bu durumu desteklemektedir. Bu kirleticilerin ortak kaynakları endüstriyel faaliyetler ve trafik gibi insan faaliyetlerine dayanmaktadır. NO₂'nin özellikle yapılaşma alanlarında yüksek seviyelerde bulunması, insan faaliyetlerinin bu kirletici üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

LST verileri ile TROPOMI verileri arasındaki korelasyonlarda, H₂O, CO ve O₃ ile orta seviyede pozitif korelasyonlar bulunmuştur. Yüzey sıcaklığının yükseldiği bölgelerde H₂O, CO ve O₃ seviyelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek yüzey sıcaklıkları bu kirleticilerin atmosferde daha fazla bulunmasına ve kimyasal reaksiyonlarla oluşmasına katkıda bulunabilir. Bu korelasyonlar, Kepez ilçesindeki mahallelerde hava kirliliğinin kaynaklarını ve dağılımını anlamak açısından önemli ipuçları sağlamaktadır.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın bir projesi olan Sürekli İzleme Merkezi (SİM) kapsamında Türkiye genelinde hava kirletici ölçümleri yapılmaktadır. Antalya ilindeki tüm ilçelerde toplam sekiz adet istasyon bulunmaktadır, Şekil 4.17.'de bu istasyonlardan Antalya merkez ilçelerini ölçen üç adet istasyon lokasyonları yer almaktadır. Çalışma alanı kapsamında, Kepez ilçesinde ise bir adet istasyon yer almaktadır. İstasyon sayısının yetersiz olması, bölge genelinde hava kirliliği seviyelerini değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle istasyon sayısının bölge genelinde artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada da uygulanan yöntemde olduğu gibi uydu verilerinin bölgedeki istasyon sayısının az olmasının getirdiği dezavantajları önlediği bir gerçektir. Ayrıca uydu verileriyle mekansal ve belli zamansal dilimlere ait analizlerin yapılması da olanak dahilindedir. Daha hassas veya çözünürlüğü daha yüksek ölçümlerin yapılabilirdiği ölçme araçları, uydu ile tespit edilen ve hava kirliliği açısından riskli görülen yerlere konumlandırılabilir. Bu durum ülke ekonomisine katkı sağlamasının yanı sıra aynı zamanda daha hassas bir ulusal hava kirletici izleme platformu oluşturulmasına da katkı sağlayacaktır.



Şekil 4.17. Antalya SİM istasyonları

TROPOMI ölçümleri ile Kepez bölgesinde bulunan yersel istasyon arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilememiştir. Ancak, literatürde yersel istasyon ve uydu

verileri arasında anlamlı korelasyon tespit edilen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ialongo vd. (2020) Finlandiya Helsinki'deki çalışmalarında uydu tabanlı ve yer tabanlı veriler arasında yüksek bir korelasyon ($r = 0.68$) tespit etmişlerdir. Makineci (2022), TROPOMI ve yer istasyonları verilerini kullanarak, Ocak 2020-Mayıs 2021 döneminde İstanbul merkez ilçelerindeki NO_2 ve CO emisyonlarını zamansal olarak analiz etmiştir. Bu çalışmada yersel ve uydu verileri arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamasının sebebi, yersel istasyondan kaynaklanan hatalı ölçümler olabilir. Bu nedenle, istasyon ölçümlerinin düzenli olarak kalibre edilmesi, uydu ve istasyon verileri arasında anlamlı korelasyonların ortaya çıkmasına olanak sağlayabilir.

Çalışmada TROPOMI uydu verileri kullanılarak belirli hava kirleticilerinin beş yıllık konsantrasyonları tespit edilmiştir. TROPOMI verileri mol/m^2 biriminde sunulmakta olup, literatürde yaygın olarak kullanılan $\mu\text{g/m}^3$ birimindeki hava kalitesi indeksine (AQI) dönüştürülmediği için doğrudan bir karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Literatürde Morozova vd. (2022) Rusya Federasyonu Doğal Kaynaklar ve Ekoloji Bakanlığının Yüksek ve çok yüksek hava kirliliğini belirleme metodolojisi çalışmasında deneysel olarak sunduğu hava kirletici katsayıları ile Rusya için bir TROPOMI hava kalitesi indeksi geliştirmişleridir. Bu birimsel farklılık, hava kirliliği seviyelerinin değerlendirilmesi ve politika önerilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir tartışma konusudur. TROPOMI'nin mol/m^2 birimi, belirli bir alan üzerindeki toplam molekül sayısını ifade ederken, $\mu\text{g/m}^3$ birimi, bir metreküp hava içerisindeki kirletici miktarını belirtir. Bu iki birim arasında doğrudan bir dönüşüm yapmak sıcaklık, basınç, nem oranı ve atmosferik karışım yüksekliği gibi çeşitli atmosferik değişkenlerin dikkate alınmasını gerektirir. Bu dönüşüm zorluklarına rağmen TROPOMI verileri, atmosferdeki kirletici dağılımının mekansal ve zamansal değişkenliklerini anlamada değerli bilgiler sunmaktadır. TROPOMI verilerinin pratik kullanımı için mol/m^2 biriminden $\mu\text{g/m}^3$ birimine dönüşüm yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşır. Bu bağlamda, mevcut çalışmanın bulgularının AQI ile uyumlu hale getirilmesi için atmosferik modelleme, yersel ölçümlerle kalibrasyon ve veri entegrasyonu gibi yöntemler önerilebilir. Bu dönüşüm süreçlerinin geliştirilmesi ve uygulanması, hava kirliliği ile mücadelede daha etkili ve bilimsel temelli stratejilerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Hava kirleticilerden biri olan CH_4 gazı, hava kirliliğini belirleyen önemli bir kriterdir. Bu çalışmada CH_4 gazı ölçümüne ilişkin veri eksikliği nedeniyle değerlendirme yapılamamıştır. Bölgede bulunan çöp depolama alanları, kömür madenleri ve doğalgaz üretim tesislerinde CH_4 gazı salınımının yüksek olabileceği göz önüne alındığında, bu yerlerde yersel ölçüm yapılması gerekmektedir.

Çalışmanın bulguları hava kirliliğinin azaltılması ve çevresel sağlığın iyileştirilmesi için bazı politika önerilerine yol göstermektedir. Özellikle Kepez ilçesinin güney kesimlerinde yoğunlaşan kirlilik kaynaklarının belirlenmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Sürdürülebilir şehir planlaması ve çevre dostu ulaşım politikaları, hava kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca yeşil alanların artırılması ve mevcut ormanlık alanların korunması, yüzey sıcaklıklarını düşürerek hava kirliliğini azaltabilir.

Gelecekteki çalışmalar farklı bölgelerde benzer analizlerin yapılması ve uzun vadeli veri setlerinin incelenmesi ile hava kirliliğinin mekansal ve zamansal değişimlerini daha iyi anlamaya yönelik olabilir. Ayrıca daha ayrıntılı yer seviyesi ölçümleri ile uydu

verilerinin doğrulanması, sonuçların güvenilirliğini artırabilir. İnsan sağlığı üzerindeki etkilerin belirlenmesi ve halk sağlığı stratejilerinin geliştirilmesi için bu tür çalışmaların devamı önemlidir.



5. SONUÇLAR

Fosil yakıt kaynaklı hava kirleticilerinin UA ve CBS ile mekansal risk değerlendirmelerinin ele alındığı çalışmada, Antalya ili Kepez ilçesi inceleme alanı olarak seçilmiştir. Kepez ilçesi, sosyal kırılganlık indeksi yüksek olma potansiyeline sahip olması ve hava kirliliği açısından risk teşkil edebilecek unsurları içermesi nedeniyle tercih edilmiştir ve 68 mahalleden oluşmaktadır. Çalışmada GEE platformu üzerinden 2019-2023 yılları arasında Sentinel-5P TROPOMI uydusundan elde edilen NO₂, CO, SO₂, O₃, H₂O ve HCHO veri setlerinin aylık ve yıllık ortalamaları kullanılmıştır. Ayrıca Terra ve Aqua uydularındaki MODIS enstrümanı ile LST verisi elde edilmiştir. Bu veriler QGIS yazılımında zonal istatistik aracı kullanılarak Kepez ilçesindeki 68 mahalle için işlenmiştir. ESRI platformundan Sentinel 2 uydu görüntüleri ile oluşturulmuş 10 m mekansal çözünürlüklü LULC haritası ve TÜİK'ten mahalle nüfus verileri temin edilmiştir. LULC, LST ve TROPOMI verileri QGIS yazılımında analiz çıktı haritaları elde edilmiştir. Google Colaboratory üzerinde Python ile yıllık kirleticiler, LST ve nüfus verileri grafiklerle gösterilmiş ve veriler arasındaki korelasyonlar belirlenmiştir.

Bulgu haritaları incelendiğinde Kepez ilçesinde O₃ konsantrasyonunun en düşük yılının 2020 ($139.1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 - 139.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$) ve en yüksek yılının 2021 ($141.8 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 - 142.9 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. O₃ konsantrasyonunun en yüksek yapılaşma alanlarında, en düşük ise tarım ve ormanlık alanlarda olduğu görülmüştür. SO₂ konsantrasyonuna bakıldığında, en düşük yıl 2019 ($3.6 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2 - 5.9 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$) ve en yüksek yıl 2021 ($4.2 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2 - 7.7 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$) olarak belirlenmiştir. Yerleşim alanları 2023 yılına göre düşük yoğunluk değerlerine sahiptir. NO₂ konsantrasyonunda en düşük yıl 2020 ($6.7 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2 - 8.6 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$) olup, bu durum COVID-19 kapanmalarının etkisiyle açıklanmaktadır. En yüksek NO₂ değeri ise 2023 yılında ($7.4 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2 - 10.2 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$) ölçülmüştür. NO₂ konsantrasyonu, yapılaşma alanlarında en yüksek, tarım ve ormanlık alanlarda ise en düşük düzeydedir. HCHO konsantrasyonu en yüksek 2021 yılında ($11.3 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2 - 16.4 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$) ve en düşük 2022 yılında ($11.2 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2 - 15.6 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2$) ölçülmüştür. CO konsantrasyonu en yüksek 2021 yılında ($32.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 - 34.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$) ve en düşük 2022 yılında ($29.4 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 - 31.1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2$) olarak ölçülmüştür. CO konsantrasyonu en yüksek trafiğin yoğun olduğu güney ve güneydoğu sınırındaki yapılaşma alanlarında, en düşük ise kuzeydeki ormanlık ve tarım alanlarında tespit edilmiştir. Genel eğilim Kepez'in güney kesiminde CO konsantrasyonunun daha yüksek, kuzeye doğru ise azaldığı şeklindedir. H₂O konsantrasyonu en yüksek 2020 yılında ($1218 \text{ mol/m}^2 - 1389 \text{ mol/m}^2$) ve en düşük 2022 yılında ($1035 \text{ mol/m}^2 - 1159 \text{ mol/m}^2$) ölçülmüştür. LST açısından en yüksek yıl 2020, en düşük yıl 2023 olup, yapılaşma ve tarım alanlarında yüksek sıcaklıklar, ormanlık alanlarda ise düşük sıcaklıklar görülmüştür.

Kepez ilçesindeki mahalleler bazında yapılan incelemelerde en yüksek O₃ değeri 2021 yılında Altınova Sinan mahallesinde (0.1427 mol/m^2) ve en düşük O₃ değeri 2020 yılında Başköy mahallesinde (0.1391 mol/m^2) ölçülmüştür. Beş yılın en yüksek SO₂ konsantrasyonu 2023 yılında Teomanpaşa ve Ulus mahallelerinde ($0.00025215 \text{ mol/m}^2$) ölçülmüş olup, en düşük SO₂ konsantrasyonu ise 2020 yılında Teomanpaşa mahallesinde ($0.0001380 \text{ mol/m}^2$) görülmüştür. NO₂ konsantrasyonu açısından en yüksek değerler 2023 yılında Yavuz Selim, Kütükçü, Barış, Kuzeyyaka, Yeni Emek ve Atatürk mahallelerinde ($0.0001032 \text{ mol/m}^2$) tespit edilmiştir. En düşük NO₂ değeri ise 2020 yılında Kızıllı mahallesinde ($0.00007689 \text{ mol/m}^2$) ölçülmüştür. HCHO konsantrasyonunda en yüksek

değer 2021 yılında Avni Tolunay mahallesinde ($0.0001596 \text{ mol/m}^2$) ve en düşük değer yine 2021 yılında Altınova Orta mahallesinde ($0.0001337 \text{ mol/m}^2$) görülmüştür. CO konsantrasyonunda en yüksek değerler 2023 yılında Altınova Sinan (0.03438 mol/m^2), Göksu (0.03435 mol/m^2), Altınova Orta (0.03432 mol/m^2) mahallelerinde tespit edilirken, en düşük Başköy (0.02967 mol/m^2), Kızıllı (0.02983 mol/m^2), Odabaşı (0.02997 mol/m^2), Duacı (0.03002 mol/m^2) mahallelerinde ölçülmüştür. H_2O konsantrasyonunda en yüksek değerler 2023 yılında Kuzeyyaka $1365.68 \text{ (mol/m}^2\text{)}$, Emek (1365.06 mol/m^2), Teomanpaşa (1365.064 mol/m^2) mahalleleri ve en düşük değerler Odabaşı (1054.18 mol/m^2), Başköy (1066.16 mol/m^2), Duacı (1077.95 mol/m^2), Kirişçiler (1078.54 mol/m^2) mahallelerinde tespit edilmiştir. LST açısından en yüksek değerler Altınova Sinan, Göksu, Altınova Orta, Altınova Düden, Beşkonaklılar ve Baraj mahallelerinde, en düşük değerler ise Başköy, Kızıllı, Odabaşı, Duacı ve Kirişçiler mahallelerinde ölçülmüştür.

Veriler arasındaki korelasyon incelendiğinde O_3 ile CO (0.90) ve O_3 ile H_2O (0.91) arasında çok yüksek pozitif korelasyonların bulunması, bu kirleticilerin benzer kaynaklardan yayıldığını ve atmosferde benzer davranışlar sergilediğini göstermektedir. CO ile H_2O arasındaki çok yüksek pozitif korelasyon (0.91) da bu durumu desteklemektedir. TÜİK mahalle nüfus verileri ile TROPOMI verileri arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, NO_2 (0.57) ile orta seviyede pozitif korelasyon, O_3 (0.46) ve CO (0.49) ile zayıf seviyede pozitif korelasyonlar bulunmuştur. Bu, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde bu kirleticilerin seviyelerinin de arttığını göstermektedir. İnsan faaliyetlerinin hava kirliliği üzerindeki etkisi açıkça ortaya çıkmaktadır. LST verileri ile TROPOMI verileri arasındaki korelasyonlarda, H_2O (0.51), CO (0.61) ve O_3 (0.68) ile orta seviyede pozitif korelasyonlar bulunmuştur. Yüzey sıcaklığının yükseldiği bölgelerde H_2O , CO ve O_3 seviyelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek yüzey sıcaklıkları, bu kirleticilerin atmosferde daha fazla bulunmasına ve kimyasal reaksiyonlarla oluşmasına katkıda bulunabilir. Bu korelasyonlar, Kepez ilçesindeki mahallelerde hava kirliliğinin kaynaklarını ve dağılımını anlamak açısından önemli ipuçları sağlamaktadır. İnsan faaliyetleri ve yüzey sıcaklıklarının artışı, özellikle O_3 , NO_2 ve CO gibi kirleticilerin seviyelerini etkileyen başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Sentinel-5P TROPOMI uydu verileri ile elde edilen değerler mol/m^2 birimindedir. Yersel ölçüm yapan SİM'lerde $\mu\text{g/m}^3$ birimindeki ölçümler birim dönüşümü yapılamadığı için doğrudan bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak analizler istatistiksel yöntemlerle yapılarak tez çalışması tamamlanmıştır.

Kepez ilçesinin hava kirleticileri açısından analiz edildiği bu çalışma, hava kirliliğinin mekansal dağılımını ve kirleticilerin yoğunluğunu etkileyen faktörleri anlamak için önemli bir kılavuz sunmaktadır. Bu tür çalışmalar, halk sağlığı üzerinde hava kirliliğinin etkilerini azaltmak için stratejik planlamalar yapmada temel oluşturabilir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi için alınacak önlemler, sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda Kepez'de yaşayan insanların yaşam kalitesini artıracaktır. Bu bağlamda, sürdürülebilir şehir planlaması ve çevre dostu ulaşım politikaları, uzun vadede kirlilik düzeylerinin düşürülmesinde kritik rol oynayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- ABD Enerji Bakanlığı, web sitesi: <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/> [Son erişim tarihi: 10.06.2024]
- Akimoto, H. 2003. Global Air Quality and Pollution. *Science*, 302(5651), 1716-1719.
- Aksoy, E. 2023. Uzaktan algılama ve yersel veriler kullanılarak NO₂ özelinde hava kalitesine yönelik meteorolojik mekansal bölge üretimi: Ankara örneği. Doktora tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 136s.
- Alagoz, E., & Alghawi, Y. 2023. The future of fossil fuels: Challenges and opportunities in a low-carbon World, 1-8.
- Armaroli, N., & Balzani, V. 2011. The Legacy of Fossil Fuels. *Chemistry – An Asian Journal*, 6(3), 768-784.
- ESA-1, 2024. Avrupa Uzay Ajansı web sitesi: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/07/Sentinel-5P_data_products [Son erişim tarihi: 14.05.2024]
- ESA-2, 2024. Avrupa Uzay Ajansı web sitesi: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Facts_and_figures [Son erişim tarihi: 10.04.2024]
- Balamurugan, V., Chen, J., Qu, Z., Bi, X., Gensheimer, J., Shekhar, A., Bhattacharjee, S., & Keutsch, F. N. 2021. Tropospheric NO₂ and O₃ response to COVID-19 lockdown restrictions at the national and urban scales in Germany. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1-15.
- Bala, R., Yadav, V. P., Kumar, D. N., & Prasad, R. 2024. Examining the relationship of major air pollutants with land surface parameters and its monthly variation in Indian Cities Using Satellite Data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1-22.
- Balat, M. 2007. Influence of coal as an energy source on environmental pollution. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29(7), 581-589.
- Bolat, İ. 2022. Orman yangınlarının hava kalitesine etkisi: Antalya Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 651-666.
- Ceker, A. O. 2022. Investigation of the change of NO₂ pollution during the pandemic period using satellite retrievals in Marmara region. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 121s.
- Cersosimo, A., Serio, C., & Masiello, G. 2020. TROPOMI NO₂ Tropospheric Column data: Regridding to 1 km Grid-Resolution and Assessment of their Consistency with In Situ Surface Observations. *Remote Sensing*, 1-23.
- Crosman, E. 2021. Meteorological drivers of permian basin methane anomalies derived from TROPOMI. *Remote Sensing*, 1-20.
- Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., & Pan, Y. 2006. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International*, 32(6), 815-830.

- Çakmak, N. 2022. NO₂, CO ve SO₂ gaz emisyonlarının Sentinel-5P TROPOMI ile Google Earth Engine ortamında izlenmesi: Marmara Bölgesi örneği. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 60s.
- DSÖ 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
- Esri-Sentinel 2 LULC. 2023. <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/> [Son erişim tarihi: 25.03.2024]
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. 2013. Examining urban heat island relations to land use and air pollution: multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1749-1756.
- Fuladlu, K., ve Altan, H. 2021. Examining Land Surface Temperature relations to major air pollutant: A remote sensing research in case of Tehran, 1-12.
- Gad C. S., 2024. Petroleum hydrocarbons, Wexler P. (Ed.), *Encyclopedia of Toxicology* (Fourth Edition), Academic Press, 2024, 447-450.
- Garane, K., Chan, K. L., Koukouli, M.-E., Loyola, D., & Balis, D. 2023. TROPOMI/S5P Total Column Water Vapor validation against AERONET ground-based measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 57-74.
- Garipağaoğlu, N. 2011. Türkiye’de hava kirliliği sorununun coğrafi bölgelere göre dağılımı, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 1-23.
- GEE 2024: <https://code.earthengine.google.com/> [Son erişim tarihi: 14.05.2024]
- Godish, T., and Fu, J.S. 2003. *Air Quality* (4th ed.). CRC Press. 480 pp.
- Gokul, T., Kumar, K. R., Prema, P., Arun, A., Balaji, P., & Faggio, C. 2023. Particulate pollution and its toxicity to fish: An overview. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 1-9.
- Güllüdağ, C. B. 2019. Malkara (Tekirdağ) kömürlerinin organik jeokimyası, ana-eser element içerikleri ve çevresel etkilerinin CBS destekli incelenmesi. Doktora tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 188 s.
- Guo B., ve Ghalambor A., 2005. Chapter 3-Gas Reservoir Deliverability, Ed(s): Boyun Guo, Ali Ghalambor, *Natural Gas Engineering Handbook* (Second Edition), Gulf Publishing Company, 2005, 35-66,
- Hassaan, M. A., Abdallah, S. M., Shalaby, E.-S. A., & Ibrahim, A. A. 2023. Assessing vulnerability of densely populated areas to air pollution using Sentinel-5P imageries: A case study of the Nile Delta, Egypt. *Scientific Reports*, 1-11.
- Hökerek, S. 2009, Korkuteli-Bozova-Garipçe (Antalya) yöresi Otokton Mesozoyik çökellerinin Organofasiyes özellikleri. Yüksek lisans tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 127 s.
- Hsu C. S., ve Robinson P. R., 2017. Origin of Petroleum. C. S. Hsu & P. R. Robinson (Ed.), *Springer Handbook of Petroleum Technology*, 359-379.

- Ialongo, I., Virta, H., Eskes, H., Hovila, J., & Douros, J. 2020. Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO₂ observations with ground-based measurements in Helsinki. *Atmospheric Measurement Techniques*, 205-218.
- Jeffry, L., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., Mofijur, M., Mubashir, M., & Show, P. L. 2021. Greenhouse gases utilization: A review. *Fuel*, 1-12.
- Kandel, A., & Pokhrel, K. 2024. Study of urban sprawl and its impact on vegetation, land surface temperature and air pollution using remote sensing and GIS in Kathmandu Valley from 2015 to 2020. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 28-53.
- Kaplan, G., & YiGiT Avdan, Z. 2020. Space-borne air pollution observation from Sentinel-5p Tropomi: Relationship between pollutants, geographical and demographic data. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 130-137.
- Kaplan, G., Avdan, Z. Y., & Avdan, U. (2019). Spaceborne Nitrogen Dioxide Observations from the Sentinel-5P TROPOMI over Turkey. *3rd International Electronic Conference on Remote Sensing*, 4.
- Karakoç, O. 2022. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu ile Çankırı ili hava kalitesi haritasının oluşturulması. Yüksek lisans tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 86 s.
- Karra, K., 2021. "Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning." IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2021.
- Kepez Kaymakamlığı, 2024. Kepez Kaymakamlığı Resmi Web Sitesi <http://www.kepez.gov.tr/> [Son erişim tarihi: 10.02.2024]
- Kotcher, J., Maibach, E., & Choi, W.-T. 2019. Fossil fuels are harming our brains: Identifying key messages about the health effects of air pollution from fossil fuels. *BMC Public Health*, 1-12.
- Kumar, R. 2013. Fossil fuels: sources, environmental concerns and waste management practices.
- Lagzi, I., Mészáros, R., Gelybó, G. ve Leelddoto, Á. 2013. *Atmospheric Chemistry*, 208s.
- Leffler W. L., 2008. Petroleum refining in nontechnical language PennWell, Leffler W. L. (Ed.), 2008, 279s.
- Liu, T., Lin, Y., Chen, J., Chen, G., Yang, C., Xu, L., Li, M., Fan, X., Zhang, F., & Hong, Y. 2023. Pollution mechanisms and photochemical effects of atmospheric HCHO in a coastal city of southeast China. *Science of The Total Environment*, 1-10.
- Liu, X., Li, Z.-L., Li, J.-H., Leng, P., Liu, M., & Gao, M. 2023. Temporal upscaling of MODIS 1-km instantaneous Land Surface Temperature to monthly mean value: Method evaluation and product generation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1-14.
- Lu, Y., Yang, X., Wang, H., Jiang, M., Wen, X., Zhang, X., & Meng, L. 2023. Exploring the effects of land use and land cover changes on meteorology and air quality over Sichuan Basin, southwestern China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 1-10.

- Makineci, H. B. 2022. Temporal Changes of NO₂ and CO emissions in Central Districts of Istanbul City. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 1-13.
- Mamić, L. 2021) Co Level Over the Republic of Croatia Using Sentinel-5P. *GIS Odyssey Journal*, 61-82.
- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. 2020. Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897-2913.
- Miller, B. G., 2005 Chapter 1- Introduction to Coal, B. G. Miller (Ed.), In *Sustainable World, Coal Energy Systems*, Academic Press, 2005, Pages 1-27.
- Morozova, A. E., Sizov, O. S., Elagin, P. O., Agzamov, N. A., Fedash, A. V., & Lobzhanidze, N. E. 2022. Integral Assessment of Atmospheric Air Quality in the Largest Cities of Russia Based on TROPOMI (Sentinel-5P) Data for 2019–2020. *Cosmic Research*, 57-68.
- Najwa Shahrin, N., Asmat, A., Atiqah Hazali, N., & Sahak, N. 2019. Land use and land cover (LULC) modification on the climate and air quality variations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-9.
- Nasehi, S. 2023. Investigating the Spatial Distribution of Land Surface Temperature as Related to Air Pollution level in Tehran Metropolis, 1-14.
- Newell K., Ruth P. Cusack, Christiana Kartsonaki, Nagendra Chaudhary, Om P. Kurmi, 2022. Household air pollution and associated health effects in low and middle income countries, S. M Janes, (Ed.), *Encyclopedia of Respiratory Medicine* (Second Edition), Academic Press, 2022, 387-401.
- NSIDC, 2024. National Snow and Ice Data Center Web Sitesi <https://nsidc.org/data/modis> [Son erişim tarihi: 20.05.2024]
- Parida, B. R., Bar, S., Roberts, G., Mandal, S. P., Pandey, A. C., Kumar, M., & Dash, J. 2021. Improvement in air quality and its impact on land surface temperature in major urban areas across India during the first lockdown of the pandemic. *Environmental Research*, 1-14.
- Pearce, J., Kingham, S., & Zawar-Reza, P. 2006. Every breath you take? Environmental justice and air pollution in Christchurch, New Zealand. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 38(5), 919-938.
- Phillips, D. I. W., Osmond, C., Southall, H., Aucott, P., Jones, A., & Holgate, S. T. 2018. Evaluating the long-term consequences of air pollution in early life: Geographical correlations between coal consumption in 1951/1952 and current mortality in England and Wales. *BMJ Open*, 1-12.
- Posthuma, J. (1970) The Composition of Petroleum. *Rapports et Proces-verbaux des Réunions. Conseil International pour l'exploration de la Mer.*, 171, 7-16.
- Rabiei-Dastjerdi, H., Mohammadi, S., Saber, M., Amini, S., & McArdle, G. 2022. Spatiotemporal analysis of NO₂ production using TROPOMI time-series images and Google Earth Engine in a Middle Eastern country. *Remote Sensing*, 1-18.
- Rahaman, S. N., Ahmed, S. M. M., Zeyad, M., & Zim, A. H. 2023. Effect of vegetation and land surface temperature on NO₂ concentration: A Google Earth Engine-based remote sensing approach. *Urban Climate*, 1-16.

- Rahaman, S. N., Nelson, J., Ali, A. A. B., Shermin, N., Pricope, N. G., Al Kafy, A., Sabuj, M. S., & Toa, S. S. 2024. A Multivariate geostatistical framework to assess the spatio-temporal dynamics of air pollution and land surface temperature in Bangladesh. *Earth Systems and Environment*, 1-21.
- Rivelino M., Antônia D.F. Lima, Denis M. de Souza Abessa, Gilberto D. de Alkimin, Lígia M.B.M. Santana, Luiza C. Mello, Marcelo O. Soares, 2024 Oil Spill Impacts on Marine Food Webs: Lessons From Contamination in Tropical Coasts, D. Baird, M. Elliott, (Ed.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science (Second Edition)*, Academic Press, 2024, 706-734.
- Sağlık Bakanlığı, 2024. Sağlık Bakanlığı Resmi Web Sitesi, <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/ced/hava-kirliligi.html> [Son erişim tarihi: 14.05.2024]
- Sarker, T., Fan, P., Messina, J. P., Macatangay, R., Varnakovidia, P., & Chen, J. 2024. Land surface temperature and transboundary air pollution: A case of Bangkok Metropolitan Region. *Scientific Reports*, 1-12.
- Savenets, M. 2021. Air pollution in Ukraine: A view from the Sentinel-5P satellite. *Időjárás*, 125(2), 271-290.
- Savenets, M., Oreshchenko, A., & Nadtochii, L. 2022. The system for near-real time air pollution monitoring over cities based on the Sentinel-5P satellite data. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, 195-205.
- Scheepmaker, R., Aan De Brugh, J., Hu, H., Borsdorff, T., Frankenberg, C., Risi, C., Hasekamp, O., Aben, I., & Landgraf, J. 2016. HDO and H₂O total column retrievals from TROPOMI shortwave infrared measurements, 1-17.
- Siddik, A., & Islam, T. 2021. Current status and correlation of fossil fuels consumption and greenhouse gas emissions, 1-17.
- Sharma, V., Ghosh, S., Singh, S., Vishwakarma, D. K., Al-Ansari, N., Tiwari, R. K., & Kuriqi, A. 2022. Spatial variation and relation of aerosol optical depth with LULC and spectral Indices. *Atmosphere*, 1-21.
- Speight, J. G. 2005. *Handbook of Coal Analysis*. Handbook of Coal Analysis.
- Speight, J. G., 2019. *Natural Gas: A Basic Handbook (Second)*. 2019. Gulf Professional Publishing, 391-392,
- Suthar, G., Kaul, N., Khandelwal, S., & Singh, S. 2024. Dynamics of land surface temperature: insights into vegetation, elevation, and air pollution in Bengaluru. *Remote sensing Applications: Society and Environment*, 1-21
- Sünsüli, M., & Kalkan, K. 2022. Sentinel-5p Uydu görüntüleri ile azot dioksit (NO₂) kirliliğinin izlenmesi. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 1-6.
- UCAR, 2024. University corporation for atmospheric research web sitesi <https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/what-is-atmosphere> [Son erişim tarihi: 10.06.2024]
- USGS, 2024. United States Geological Survey (USGS) Resmi web sitesi <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/collection-overview/missions/modis-overview/> [Son erişim tarihi: 14.05.2024]

- Tayanç, M. 2000. An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over Istanbul, Turkey. *Environmental Pollution*, 61-69.
- Tepe, A. M., ve Doğan, G. 2017. Antalya ortam havasındaki PM_{2,5} ve PM₁₀ kaynaklarının belirlenmesi, 1-17.
- Thurston G. D., 2017, Outdoor air pollution: sources, atmospheric transport, and human health effects, S. R. Quah (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (Second Edition), Academic Press, 2017, 367-377.
- Thomas, L. 2020 *Coal Geology*, 3rd Edition, Origin of Coal, Wiley-Blackwell; 2 edition, pp. 5-55
- Tiwary, A., & Williams, I. 2018. *Air Pollution: measurement, modelling and mitigation*, Fourth Edition (4th ed.). CRC Press. 722 pp.
- Ünal Çilek, M. 2022. Troposferik Nitrojen Dioksitin (NO₂) COVID-19 pandemisinde mekansal ve zamansal analizi: Adana-Mersin bölgesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(3), 581-594.
- Vallero, D. 2014. *Fundamentals of Air Pollution-Fifth Edition*, Elsevier, 970 pp.
- Wang, C., Huang, X., Han, Y., Zhu, B., & He, L. 2017. Sources and potential photochemical roles of Formaldehyde in an urban atmosphere in South China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1-14.
- Xu, Z., Yu, D., Jing, L., & Xu, X. 2000. Air pollution and daily mortality in Shenyang, China. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 115-120.
- Zarin, T., & Esraz-Ul-Zannat, Md. 2023. Assessing the potential impacts of LULC change on urban air quality in Dhaka city. *Ecological Indicators*, 1-19.
- Zhang, C., Hu, Q., Su, W., Xing, C., & Liu, C. 2023. Satellite spectroscopy reveals the atmospheric consequences of the 2022 Russia-Ukraine war. *Science of The Total Environment*, 1-8.
- Zhu, Z., Wang, G., & Dong, J. 2019. Correlation analysis between Land Use/Cover change and air pollutants—A Case Study in Wuyishan City. *Energies*, 1-15.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf ÖZGÜREL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2022-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Antalya
Ön Lisans 2020-2022	Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O., Mimarlık ve Şehir Planlama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Antalya
Lisans 2016-2020	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Zonguldak

MESLEKİ GÖREVLER

Harita Mühendisi 12.2021 – 06.2022	Güler Harita Mühendislik, Konya
Harita Mühendisi 02.2021 – 12.2021	Köseoğlu Madencilik İnşaat Sanayi ve Tic. A.Ş. Sivas

ESERLER

Kitap ve kitap bölümleri

1- Yılmaz, İ., Özgürel, Y., Kabaş, Ö., Aksoy, E., Koçer, A., & Güllüdağ, C. B. (2023). Tarımsal Üretimde Termal Uzaktan Algılama Uygulamaları, in: Bahçe Tarımında Araştırmalar ve Uygulamalar, A. Çığ & M. Z. Karipçin (Eds.), IKSAD International Publishers, Ankara, pp.99- 132