



**TERMİK SANTRALLERİN NEDEN OLDUĞU HAVA
KİRLİLİĞİNİN SENTİNEL-5P UYDU VERİLERİYLE
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGE BÜTÜN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2023**

**TERMİK SANTRALLERİN NEDEN OLDUĞU HAVA
KİRLİLİĞİNİN SENTİNEL-5P UYDU VERİLERİYLE
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGE BÜTÜN

ORCID ID: 0009 0002 6277 2535

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. OSMAN ORHAN
ORCID ID: 0000-0002-1362-8206**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2023**

ÖZET

TERMİK SANTRALLERİN NEDEN OLDUĞU HAVA KİRLİLİĞİNİN SENTİNEL-5P UYDU VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte gelişen sanayi, teknoloji ve şehirleşme, ihtiyaç duyulan enerjiyi de arttırmaktadır. Ancak enerji üretimi, endüstrinin gelişimi ve nüfus artışı, beraberinde hava kirliliği gibi küresel bir sorunu da getirmektedir. İnsan sağlığının birincil çevresel belirleyicisi hava kalitesidir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre Dünya nüfusunun %92'si, hava kirletici sınır değerlerin aştığı bölgelerde yaşamaktadır. Azot dioksit (NO₂), sülfür dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), ince partikül madde (PM_{2.5}) gibi hava kalitesini etkileyen emisyonlar ve partikül maddeler fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler ve taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar gibi kaynaklarla havaya karışırlar. Bu emisyonların ve maddelerin havaya karışmasıyla birlikte solunum yolu rahatsızlıkları, kanser, kalp problemleri gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.

Ülkemizde ihtiyaç duyulan enerjinin önemli bir bölümü işletmede olan 53 adet kömür yakıtlı termik santralden sağlanmaktadır. Bu santrallerden en büyük 7 tanesinin toplam kurulu gücü (10.673 MW), 53 adet termik santralin kurulu gücünün (20.443 MW) %52'sine tekabül etmektedir. Bu çalışmada, Fosil kaynaklı yakıtlardan enerji üreten bu 7 adet termik santralin ortaya çıkarmış olduğu hava kirliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sentinel-5p uydusundan alınan CO, NO₂ ve SO₂ emisyon verileri ile termik santrallerin hava kalitesi açısından çevresel etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı üzerinden Zonguldak/Çatalağzı-Kuzkaya, Kahramanmaraş/Elbistan, Çanakkale/ Biga İçdaş, Hatay/İskenderun istasyonlarına ait PM_{2.5} ve PM₁₀ kirletici emisyon değerleri de incelenmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçları doğrultusunda NO₂ ve CO yoğunluklarının İskenderun Termik Santrali merkezli çalışma alanı hariç diğer çalışma bölgelerinde termik santral çevresinde yoğunlaştığı ve SO₂ emisyonunun ise Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri hariç diğer termik santral çevrelerinde anlamlı bir yoğunlaşma gözlemlenmediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Corine 2018 Arazi Örtüsü verileriyle oluşturulan haritalarda ise termik santralin tarımsal alan, yerleşim yeri ve ormanlık alan bölgelerine uzaklığı ve çalışma sahaları içerisindeki kapladıkları alanlar hektar cinsinden belirtilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termik Santral, Hava Kirliliği, Partiküler Madde, Sentinel-5P, TROPOMI

Danışman: Doç. Dr. Osman ORHAN, Mersin Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF AIR POLLUTION CAUSED BY THERMAL POWER PLANTS USING SENTINEL-5P SATELLITE DATA

Developing industry, technology and urbanisation together with the rapidly increasing world population increases the energy needed. However, energy production, industrial development and population growth bring along a global problem such as air pollution. The primary environmental determinant of human health is air quality. According to the World Health Organisation, 92% of the world population lives in regions where air pollutant limit values are exceeded. Emissions and particulate matter affecting air quality such as nitrogen dioxide (NO₂), sulphur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), fine particulate matter (PM_{2.5}) and particulate matter enter the air from sources such as fossil fuel combustion, industrial processes and emissions from vehicles. When these emissions and substances enter the air, they can cause serious health problems such as respiratory diseases, cancer and heart problems.

A significant portion of the energy needed in our country is provided by 53 coal-fired thermal power plants in operation. The total installed capacity of the 7 largest of these power plants (10.673 MW) corresponds to 52% of the installed capacity of 53 thermal power plants (20.443 MW). In this study, it is aimed to investigate the air pollution caused by these 7 thermal power plants that produce energy from fossil fuels. For this purpose, CO, NO₂ and SO₂ emission data from Sentinel-5p satellite were used to determine the environmental impacts of thermal power plants in terms of air quality. In addition, PM_{2.5} and PM₁₀ pollutant emission values of Zonguldak/Çatalağzı-Kuzkaya, Kahramanmaraş/Elbistan, Çanakkale/Biga İçdaş, Hatay/İskenderun stations were also analysed through the National Air Quality Monitoring Network of the Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change. In line with the results of this study, it was concluded that NO₂ and CO concentrations are concentrated around the thermal power plants in other study regions except the study area centred on İskenderun Sugözü Thermal Power Plant, and SO₂ emission is not significantly concentrated around the thermal power plants except Afşin-Elbistan A and B Thermal Power Plants. In the maps created with Corine 2018 Land Cover data, the distance of the thermal power plant to agricultural areas, settlements and forest areas and the areas they cover within the study areas are indicated and interpreted in hectares.

Keywords: Thermal Power Plant, Air Pollution, Particular Matter, Sentinel-5P, TROPOMI,

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Osman ORHAN, Mersin University, Remote Sensing and Geographic Information Systems Department, Mersin

TEŞEKKÜR

Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı'nda tamamlamış olduğum Yüksek Lisans çalışmamın her adımında destek olan, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, değerli fikirlerini benden esirgemeyen Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Osman ORHAN'a çok teşekkür ederim. Yüksek Lisans çalışmamın en nitelikli sonucuna ulaşması için yapıcı yorumlarından dolayı çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali KURT ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarık TORUN'a teşekkür ederim.

Sevdiklerimizden kilometrelerce uzakta daima manevi desteğini hissettiğim, tez sürecinde deneyimlerini benden esirgemeyen meslektaşım Harita Mühendisi Selda ESER'e teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, varlıklarıyla bana kendimi hep şanslı hissettiren ve öğrenim hayatım boyunca ellerini hep üstümde tutan çok değerli aile üyelerim; annem Şerife BÜTÜN'e, babam Musa BÜTÜN'e ve kardeşim Barış BÜTÜN'e teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Son olarak sevgisini, saygısını ve desteğini üzerimden hiç eksik etmeyen, her adımda arkamda olan çok kıymetli ve sevgili eşim Ramazan DOLGUN'a çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değer	3
1.2. Enerji Kaynakları	4
1.2.1. Termik Santraller ve Dünyadaki Yeri	5
1.2.2. Türkiye’de Termik Santraller	8
1.3. Hava Kirliliği ve Kirletici Emisyonlar	11
1.3.1. PM _{2.5} ve PM ₁₀ Kaynaklı Kirlilik	13
1.3.2. CO Kaynaklı Kirlilik	16
1.3.3. NO _x Kaynaklı Kirlilik	17
1.3.4. SO ₂ Kaynaklı Kirlilik	18
1.4. Hava Kirleticilerinin Sağlık Üzerine Etkisi	18
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1. Çalışma Alanları	26
3.1.1. Zonguldak Eren Termik Santrali	26
3.1.2. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri	28
3.1.3. Cenal Karabiga Termik Santrali	31
3.1.4. İskenderun Atlas Termik Santrali	33
3.1.5. İskenderun Atlas Termik Santrali	35
3.1.6. İçdaş Bekirli Termik Santrali	37
3.2. Verilerin Toplanması	39
3.3. Yöntem	40
3.3.1. Google Earth Engine	40
3.3.2. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	43
4.1. Hava Kirletici Emisyon Haritaları	43
4.1.1. Zonguldak Eren Termik Santrali Haritaları	43
4.1.2. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri Haritaları	48
4.1.3. Cenal Karabiga Termik Santrali Haritaları	53
4.1.4. İskenderun Atlas Termik Santrali Haritaları	58
4.1.5. İskenderun Atlas Termik Santrali Haritaları	63
4.1.6. İçdaş Bekirli Termik Santrali Haritaları	68
4.2. Hava Kirletici Emisyon Analizleri ve Grafikleri	73
4.2.1. Zonguldak Eren Termik Santrali Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları	73
4.2.2. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları	77
4.2.3. Cenal Karabiga Termik Santrali Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları	81
4.2.4. İskenderun Atlas Termik Santralleri Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları	84
4.2.5. İçdaş Bekirli Termik Santrali Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları	89
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Türkiye'nin 1000 MW üzeri kurulu güce sahip kömür yakıtlı termik santralleri	11
Tablo 1.2. Normal Kuru Havanın Bileşimi	11
Tablo 1.3. Kirletici Bileşikler ve Genel Nitelikleri	12
Tablo 1.4. Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri	13
Tablo 1.5. Hava Kirletici Madde Sınır Değerleri	15
Tablo 4.1. Zonguldak Eren Termik Santrali PM _{2.5} Değerleri Analizi	73
Tablo 4.2. Zonguldak Eren Termik Santrali PM ₁₀ Değerleri Analizi	74
Tablo 4.3. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri PM _{2.5} Değerleri Analizi	77
Tablo 4.4. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri PM ₁₀ Değerleri Analizi	77
Tablo 4.5. Cenal Karabiga Termik Santrali PM ₁₀ Değerleri Analizi	81
Tablo 4.6. İsken Sugözü ve Atlas Termik Santralleri PM ₁₀ Değerleri Analizi	84
Tablo 4.7. İçdaş Bekirli Termik Santrali PM ₁₀ Değerleri Analizi	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji Kaynaklarının Genel Sınıflandırılması	4
Şekil 1.2. Tipik Bir Kömür Yakıtlı Termik Santral	5
Şekil 1.3. Dünyadaki Kömür Yakıtlı Termik Santrallerin Toplam Enerji Üretimindeki Payı	6
Şekil 1.4. Dünyada Kömürden Elektrik Üretimine Payı, 2021	7
Şekil 1.5. Dünyada Kömür Rezervlerinin Kömür Kategorilerine Göre Dağılımı	7
Şekil 1.6. Dünyada Kömür Rezervlerinde Ülkelerin Payları	8
Şekil 1.7. Türkiye Kömür Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı	9
Şekil 1.8. Türkiye’de Birincil Enerji Kaynaklarının Dağılımı	10
Şekil 1.9. Partiküler Madde Parçacıkları İçin Boyut Karşılaştırmaları	14
Şekil 1.10. Dünya Genelinde Hava Kalitesi İndeksi Ölçümleri Sonucunda Havadaki Kirlleticilerin Görsel Temsili	15
Şekil 1.11. Türkiye’de PM ₁₀ Kirleticisi Ölçüm Haritası, 2019	16
Şekil 3.1. Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali ve Çalışma Alanı	27
Şekil 3.2. Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali	28
Şekil 3.3. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri ve Çalışma Alanı	29
Şekil 3.4. Afşin-Elbistan B Termik Santrali	30
Şekil 3.5. Afşin-Elbistan A Termik Santrali	30
Şekil 3.6. Cenal Karabiga Termik Santrali ve Çalışma Alanı	32
Şekil 3.7. Cenal Karabiga Termik Santrali	33
Şekil 3.8. İskenderun Sugözü Termik Santrali ve Çalışma Alanı	34
Şekil 3.9. İskenderun Sugözü Termik Santrali	35
Şekil 3.10. İskenderun Atlas Termik Santrali ve Çalışma Alanı	36
Şekil 3.11. İskenderun Atlas Termik Santrali	37
Şekil 3.12. İçdaş Bekirli Termik Santrali ve Çalışma Alanı	38
Şekil 3.13. İçdaş Bekirli Termik Santrali	39
Şekil 3.14. Sentinel 5P TROPOMI uydu ölçüm prensibi	40
Şekil 3.15. Google Earth Engine kod editörü arayüzü	41
Şekil 3.16. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı Arayüzü	42
Şekil 4.1. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	44
Şekil 4.2. Zonguldak Eren Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	45
Şekil 4.3. Zonguldak Eren Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	46
Şekil 4.4. Zonguldak Eren Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	47
Şekil 4.5. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	49
Şekil 4.6. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri 2020 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	50
Şekil 4.7. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri 2021 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritalar	51
Şekil 4.8. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri 2022 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritalar	52

	Sayfa
Şekil 4.9. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	54
Şekil 4.10. Cenal Karabiga Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	55
Şekil 4.11. Cenal Karabiga Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	56
Şekil 4.12. Cenal Karabiga Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	57
Şekil 4.13. İşken Sugözü Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	59
Şekil 4.14. İşken Sugözü Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	60
Şekil 4.15. İşken Sugözü Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	61
Şekil 4.16. İşken Sugözü Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	62
Şekil 4.17. İskenderun Atlas Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	64
Şekil 4.18. İskenderun Atlas Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	65
Şekil 4.19. İskenderun Atlas Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	66
Şekil 4.20. İskenderun Atlas Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	67
Şekil 4.21. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	69
Şekil 4.22. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	70
Şekil 4.23. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	71
Şekil 4.24. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO ₂ (b) ve SO ₂ (c) yoğunluğu haritaları	72
Şekil 4.25. Zonguldak Eren Termik Santrali 2020-2023 yılına ait PM _{2.5} yoğunluğu grafiği	74
Şekil 4.26. Zonguldak Eren Termik Santrali 2020-2023 yılına ait PM ₁₀ yoğunluğu grafiği	74
Şekil 4.27. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği	75
Şekil 4.28. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO ₂ yoğunluğu grafiği	75
Şekil 4.29. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO ₂ yoğunluğu grafiği	75
Şekil 4.30. Zonguldak Eren Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü	76
Şekil 4.31. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2021-2023 yılı PM _{2.5} yoğunluğu grafiği	78
Şekil 4.32. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2021-2023 yılı PM ₁₀ yoğunluğu grafiği	78
Şekil 4.33. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019-2022 CO yoğunluğu grafiği	78
Şekil 4.34. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019-2022 NO ₂ yoğunluğu grafiği	79
Şekil 4.35. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019-2022 SO ₂ yoğunluğu grafiği	79
Şekil 4.36. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri ve Corine 2018 Arazi Örtüsü	80
Şekil 4.37. Cenal Karabiga Termik Santrali 2020-2023 yılına ait PM ₁₀ yoğunluğu grafiği	81
Şekil 4.38. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019-2022 yılları CO yoğunluğu grafiği	82
Şekil 4.39. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019-2022 yılları NO ₂ yoğunluğu grafiği	82
Şekil 4.40. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019-2022 yılları SO ₂ yoğunluğu grafiği	82
Şekil 4.41. Cenal Karabiga Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü	83
Şekil 4.42. İşken Sugözü Termik Santrali 2019-2023 yılına ait PM ₁₀ yoğunluğu grafiği	84
Şekil 4.43. İşken Sugözü Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği	85
Şekil 4.44. İşken Sugözü Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO ₂ yoğunluğu grafiği	85

	Sayfa
Şekil 4.45. İskenderun Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO ₂ yoğunluğu grafiği	85
Şekil 4.46. İskenderun Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları CO yoğunluğu grafiği	86
Şekil 4.47. İskenderun Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları NO ₂ yoğunluğu grafiği	86
Şekil 4.48. İskenderun Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları SO ₂ yoğunluğu grafiği	86
Şekil 4.49. İskenderun Atlas Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü	88
Şekil 4.50. İskenderun Atlas Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü	89
Şekil 4.51. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2020-2023 yılları arası PM ₁₀ yoğunluğu grafiği	90
Şekil 4.52. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği	90
Şekil 4.53. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO ₂ yoğunluğu grafiği	91
Şekil 4.54. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO ₂ yoğunluğu grafiği	91
Şekil 4.55. İçdaş Bekirli Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü	92



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simge	Tanım
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CO	Karbon Monoksit
CO ₂	Karbondioksit
CORINE	Coordination of Information on the Environment
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EMBER	Energy and Climate Intelligence Unit
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
ESA	European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
SAZİB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EUR	Euro Bölgesi Resmi Para Birimi
GW	Gigawatt
HEAL	Health and Environment Alliance (Sağlık ve Çevre İttifakı)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
kcal	Kilokalori
km ²	Kilometrekare
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
MTV	Motorlu Taşıtlar Vergisi
MW	Megawatt
NO	Azot Monoksit
NO ₂	Azot Dioksit
NO _x	Azot Oksitler
O ₂	Oksijen
O ₃	Ozon
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
PM	Partiküler Madde
PM2.5	EN12341 ile tanımlanan 2.5 µm aerodinamik çaplı geçirgen bir girişten %50 verimle geçen partiküler madde
PM10	EN12341 ile tanımlanan 10 µm aerodinamik çaplı geçirgen bir girişten %50 verimle geçen partiküler madde
SİM	Sürekli İzleme Merkezi
SO _x	Kükürt Oksitler
SO ₂	Kükürt Dioksit
TBAE	Temel Bilimler Araştırma Enstitüsü
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TESAB	Türkiye Elektrik Sanayi Birliği
THHP	Temiz Hava Hakkı Platformu
tif	Tagged Image File
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TROPOMI	TROPOspheric Monitoring Instrument
TTMD	Türk Tesisat Mühendisleri Derneği
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
C°	Derece Santigrat

1. GİRİŞ

Sanayi, teknoloji ve şehirleşme, dünya nüfusunun hızlı büyümesine katkıda bulunmaktadır. Enerji üretimin ana kaynağı olduğundan, toplum refahı için çok önemlidir (Koç, E. ve Kaya, K. 2015). Daha fazla insan ve sanayi, enerji talebini artırıyor. Sonuç olarak, enerji verimli ve etkili bir şekilde kullanılmalıdır. Enerji politikası, Türkiye'nin nüfus artış hızı 2022 TÜİK verilerine göre binde 7,1 ile dünya nüfus artış hızı ortalamasının üzerinde olduğundan, artan nüfusun ve gelişen sanayinin enerji ihtiyacını karşılamak için enerji üretiminin artırılması yönündedir. Ancak enerji üretimi, endüstrinin büyümesi ve nüfus artışı tüm dünyada hava kirliliğini artırıyor. İnsan sağlığı, hava kalitesine bağlıdır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, dünya nüfusunun %92'sinin hava kirletici sınır değerlerin aşıldığı yerlerde yaşamaktadır (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2021). Bir ülkenin gelişmişlik düzeyi için tek ölçüt tüketilen toplam enerjinin artmasıdır (Çermikli ve Tokatlıoğlu, 2015). Enerji politikası, ülkelerin enerji kaynaklarını sürdürülebilir büyüme için nasıl kullanacağını belirler.

Ülkemizin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan elde edilir. Fosil kaynakların kullanımı iklim değişikliği ve hava kirliliğine neden oluyor. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), hava kirliliğinin yılda yaklaşık üç milyon kişinin ölümüne neden olduğunu söylüyor (Lelieveld vd., 2015). Nüfus artışı, sanayileşme, araç sayısının artması ve artan enerji talebi, birçok kentsel bölgede kirliliğin en olası nedenleridir. Sonuç olarak, hava kirliliğinin miktarını güvenilir bir şekilde yerel, bölgesel ve küresel düzeylerde kabul edilebilir mekânsal ve zamansal çözünürlükte değerlendirmek, hava kirleticilerinin dağılımını ve etkisini belirlemek ve yöneticilere çeşitli mekansal çözünürlüklerde çözümler sağlamak için çok önemlidir (Saxena ve Naik, 2018). Genel olarak, atmosferde birçok tür kirletici bulunmaktadır ve bu kirleticilerin hava kalitesini, çevreyi, insan sağlığını ve iklimi etkilemesi, 21. yüzyılın en önemli sorunlarından biridir.

Enerji üretmek için kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtları kullanan termik santraller çok önemlidir. Enerji üretimi sırasında bu santraller atmosfere zararlı gazlar yayarak hava kalitesini bozabilirler. Sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmı, fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, elektrik üretimi ve taşımacılık gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar, özellikle gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerin (örneğin Çin, ABD ve Avustralya) sorumludur. Ek olarak, Hindistan, Brezilya ve Güney Afrika gibi gelişmekte olan ekonomiler, sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Sera gazı emisyonları açısından en yüksek 20 ülke arasında sıklıkla Hindistan, Brezilya ve Güney Afrika gibi gelişmekte olan ekonomiler yer almaktadır. Güney Afrika, dizel ve kömür gibi fosil yakıtlarla desteklenen ileri sanayileşmiş bir düzeye sahip olması ve geniş kömür rezervlerine sahip olması nedeniyle Afrika kıtasındaki sera gazı üretiminin lideridir (Seymore vd., 2014). Ayrıca, İran-Arak'ta bulunan Shazand Termik Santrali ülkenin en büyük hava kirleticilerinden biridir (Shikwambana vd., 2020).

Genel olarak, atmosferde birçok kirletici türü bulunmaktadır ve bu kirleticilerin hava kalitesini, çevreyi, insan sağlığını ve iklimi etkilemesi, 21. yüzyılın en önemli sorunlarından biridir. Kükürt dioksit

(SO₂), karbondioksit (CO₂), azot dioksit (NO₂), ozon (O₃), metan (CH₄), kloroflorokarbonlar, kararsız organik karbon, askıda partiküller veya aerosoller, en toksik gazlardan biri olarak kabul edilen kükürt dioksit (SO₂) hava kirletici emisyonlar arasında yer alır (Saxena & Naik, 2018). Bu gaz emisyonları, termik santrallerin hava kirliliğinin en önemli nedenlerinden biridir. Birçok farklı SO₂ kaynağı olsa da, kömür yakıtlı enerji santralleri dünyanın en büyük SO₂ üreticileridir. Bu santraller asit yağmurlarına, kirliliğe ve akciğer ve solunum hastalıklarına neden olur (Greenberg vd., 2016). Atmosferdeki düşük konsantrasyon nedeniyle azot monoksitleri zararlı değildir. Bununla birlikte, azot dioksitler insan sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Solunum yollarında tahriş, baş ağrıları, akciğer savunmalarında zayıflama, göz tahrişleri, iştah kaybı ve diş erozyonu dahil olmak üzere çok sayıda sağlık sorununa sebep olmaktadır. Bunların yanı sıra astım hastaları, kronik bronşiti olanlar ve küçük çocuklar en tehlikeli gruplardır (Amann vd., 2013). Birincil hava kirletici gaz olan karbon monoksit (CO), kokusuz, renksiz ve tatsız bir gazdır. Karbonlu yakıtların eksik yanması, yakıtın eksik oksijenle yakılması sonucunda meydana gelir (İlbaş ve Yılmaz, 2002). Havadaki en önemli kirleticilerden CO ve PM, kardiyovasküler hastalıklara neden olur ve hastanelere başvurmaların nedenidir (Schwartz, 1999).

PM₁₀ ve PM_{2.5} partiküllerinin oluşumu hem doğal kaynaklardan doğrudan atmosfere salınmalarıyla gerçekleşebilir, hem de atmosferde bulunan diğer kirleticilerin etkileşimi sonucu dolaylı yollarla meydana gelebilir. Bu kirleticilerin atmosfere yayılmasıyla ilgili bazı kaynaklar doğal süreçler olsa da, insan faaliyetlerinin de önemli bir rolü vardır. Özellikle kömürle çalışan termik santraller, çeşitli endüstri kolları ve motorlu taşıtların emisyonları gibi antropojenik kaynaklar, PM₁₀ ve PM_{2.5} partiküllerinin oluşumunda öne çıkan faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, hava kalitesi üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulduğunda, bu kaynaklardan kaynaklanan partikül salınımının kontrolü ve azaltılması önemli bir hedef haline gelmektedir (Sloss ve Smith, 2000). Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, ince partikül madde (PM_{2.5}) günümüzde dünya çapında 1 milyondan fazla ölüme neden olmaktadır. Son araştırmalar, partikül madde kirliliğinin sadece solunum ve dolaşım sistemini değil aynı zamanda beyin ve sinir sistemini de etkileyebileceğini göstermektedir (Chew vd., 2020). Bununla birlikte, partikül madde maruziyetinin bebeklerin düşük doğum kilosu ile ilişkilendirildiği ve ayrıca obezite ile metabolik sendrom riskini artırabileceği belirtilmiştir (Kim vd., 2016). Bu bulgular, partikül madde kirliliğinin genel sağlık üzerinde ciddi etkilere neden olabileceğini göstermektedir. Ek olarak, DSÖ'ye göre hiçbir hava kirleticisine, özellikle de ince partikül maddeye (PM_{2.5}) maruz kalma durumunda güvenli bir sınır değeri yoktur.

Türkiye'nin sanayileşme ve nüfus artışıyla birlikte artan enerji talebinin karşılanması amacıyla, hem alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar önem kazanmış, hem de özellikle 2005 yılından itibaren enerji üretiminde yerli kaynaklara odaklanma eğilimi artmıştır. Enerji dışı bağımlılığını azaltma hedefleri doğrultusunda, yeni kömür sahalarının keşfi ve mevcut sahaların geliştirilmesi konusuna özel bir vurgu yapılmıştır. Kömür araştırmaları ve sondaj faaliyetleri son beş yılda beş kat artmış, bu çabalar sonucunda mevcut 8,3 milyar ton rezervin yanı sıra 2008 Mayıs ayından itibaren 4,1 milyar ton yeni linyit rezervi tespit edilmiştir (TKİ, 2018). Elde edilen fosil yakıtların çevreye uygun koşullarda

yakılması ve elde edilen enerjinin elektrik üretimine dönüştürülmesi işlemleri, özellikle termik santrallerde gerçekleştirilmektedir. Maden kömürü, linyit, fuel-oil, motorin, doğal gaz, sıvılaştırılmış gaz (LPG), nafta gibi çeşitli fosil yakıtlar ve bunların türevleri ile jeotermal kaynaklar ve atıklar, bu termik santrallerde elektrik üretimi için kullanılan kaynaklardır (Avcı, 2005). Türkiye'nin sahip olduğu fosil yakıt, düşük kaliteli ve yüksek düzeyde kirletici etkilere yol açan linyittir ve bu nedenle ülkenin enerji üretiminin temel dayanağını oluşturur. Ancak, bu tür kömürün kullanımı aynı zamanda yüksek miktarda kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), ozon (O_3), hidrokarbonlar, partiküler madde (PM) ve kül gibi kirleticilerin salınımına neden olur (Zouboulis ve Tzimou, 1990).

1.1 Çalışmanın Amacı ve Özgün Değer

Termik santrallerin hava kalitesine etkisini belirlemeye yönelik yerel ölçüm çalışmaları, atmosferdeki kirletici maddelerin varlığını ve yoğunluğunu belirlemek amacıyla havadan numune alır. Bu tür kirleticiler arasında sülfür dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2), partikül madde (PM), karbon monoksit (CO) ve uçucu organik bileşikler (VOC'ler) bulunmaktadır (İlkılıç ve Behçet, 2006).

Günümüzde uzaktan algılama çalışmalarının yoğun kullanımı ile hava kalitesi belirlemeye yönelik çalışmalar da ivme kazanmıştır. Yüksek ölçüm belirsizliği sorununa rağmen, uzaktan algılama yöntemi gaz ve partikül kirleticilerin izlenmesinde artan bir tercih sebebidir. Bu yöntem, uzak bölgelerde veri toplanmasına olanak sağlaması ve kirleticilerin yayılımının alan bazında belirlenmesi gibi avantajları nedeniyle giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Tezel vd., 2018). 1982'de El Chicón volkanik patlamasından kaynaklanan SO_2 bulutunun TOMS cihazı ile tespit edilmesi, uzaktan algılama alanında bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bu başlangıç, ilerleyen yıllarda GOME cihazının devreye girmesiyle troposferik kükürt dioksitin ölçümünün yapıldığı yeni bir aşamaya evrildiğini söylemek mümkündür. Zaman içinde alansal çözünürlüklerin ve küresel kapsamın gelişmesiyle, AIRS ve SCIAMACHY enstrümanları 2002'de, OMI 2004'te, GOME-2 ve IASI 2006'da, ve OMPS 2011'de hava kirleticilerinin ölçümüne başlamıştır. Bu gelişmeler uzaktan algılamanın hava kirleticilerinin izlenmesindeki rolünün giderek arttığını göstermektedir (Değer, 2022). Daha sonrasında 2019 senesinde rutin operasyon aşamasına geçen ve hava kirletici gazlara ilişkin düzenli veri alınmasını sağlayan Sentinel 5P TROPOMI cihazı yapılan çalışmaları daha nitelikli bir hale getirmiştir. Araştırmalar, yoğun nüfus hareketliliği ile hava kirliliği düzeyi arasındaki ilişkiyi aydınlatma çabalarına katkı sağlamıştır (Zhang, vd., 2020; Mesas-Carrascosa vd. 2020; Ghahremanloo vd., 2021; Kanniah vd., 2020).

Termik santrallerin işletilmesi sonucu havaya karışan gazların atmosferdeki yoğunluğunu belirlemek ve hava kalitesine etkisini ölçebilmek amaçlı yapılan çalışmalarda uzaktan algılama teknikleri ve analizinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı programların kullanılması çalışmaların daha nitelikli ve detaylı olmasına olanak sağlamıştır. Türkiye'de, kurulu gücü 1000 MW ve üstünde olan 7 adet termik santral tüm termik santrallerin toplam ürettiği enerjinin %52'lik bir kısmına tekabül etmektedir (Enerji Atlası, 2023). Farklı bölgelerde bulunan termik santraller bulundukları çevrede hava

kirliliğine yol açmaktadır. Yapılan bu çalışmada her termik santralin bulunduğu çevrede hava kalitesini düşürdüğü düşünülerek bulunduğu konum merkez kabul edilmiş ve çalışma alanları belirlenmiştir. Çalışmanın asıl amacı Sentinel 5P TROPOMI cihazından alınan hassasiyeti yüksek veriler ile; CO, NO₂ ve SO₂ gaz konsantrasyon yoğunluklarını belirleyebilmek ve hava kalitesine etkisini zamansal ve mekânsal olarak analizlerini gerçekleştirebilmektir. Ayrıca bu tez Türkiye’de ilk kez 7 adet termik santralin kirlletici emisyon gaz değerlerinin Sentinel 5P uydu verileri ve PM_{2.5} ve PM₁₀ gaz emisyonlarını inceleyen bir çalışma olma özelliği taşımaktadır. Emisyon değerlerinin yanı sıra, çalışmaya CORINE arazi örtüsü verileri de dahil edilerek termik santrallerin etki edeceği alanlar ve bu alanların büyüklükleri de araştırılmıştır.

1.2 Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, kullanım şekli ve dönüştürülebilme özelliğine göre sınıflandırılır. Kullanım şekline göre; yenilenebilir veya yenilenemez; dönüştürülebilme özelliğine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

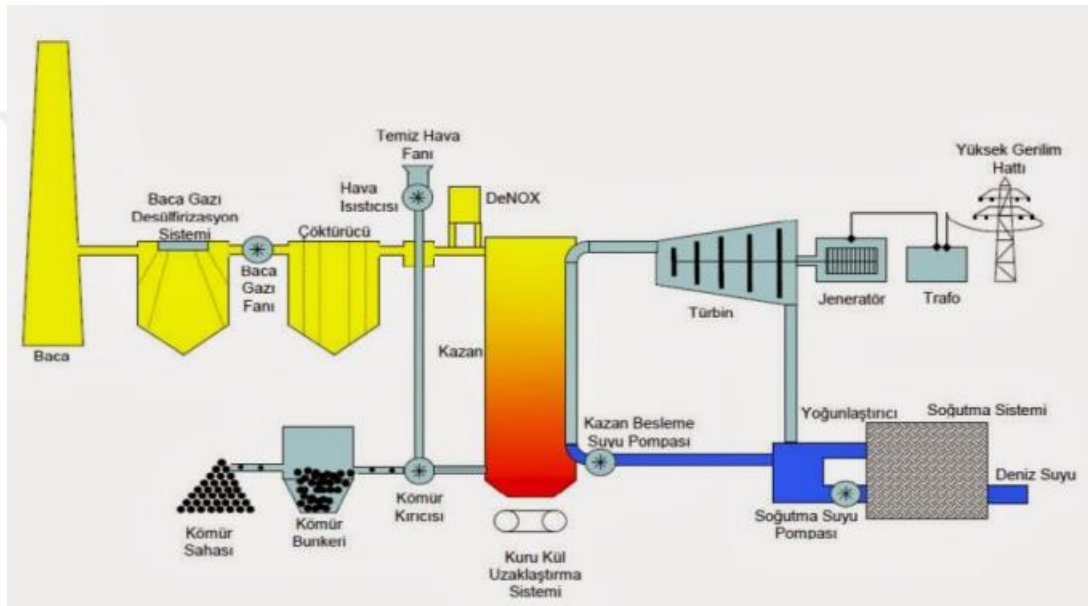
ENERJİ KAYNAKLARI	
Kullanım Şekline Göre Enerji Kaynakları	Dönüştürülebilme Özelliğine Göre Enerji Kaynakları
1- Yenilenemez	1- Birincil (Primer)
a) Fosil Kaynaklı	• Kömür
• Kömür	• Petrol
• Petrol	• Doğal Gaz
• Doğal Gaz	• Nükleer
b) Çekirdek Kaynaklı	• Biyokütle
• Uranyum	• Hidrolik
• Toryum	• Güneş
2- Yenilenebilir	• Rüzgar
• Hidrolik	• Dalga, Gel-Git
• Güneş	2- İkincil (Sekonder)
• Biyokütle	• Elektrik, Benzin, Mazot, Motorin
• Rüzgar	• İkincil Kömür
• Jeotermal	• Kok, Petrokok
• Dalga, Gel-Git	• Hava Gazı
• Hidrojen	• Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Şekil 1.1. Enerji Kaynaklarının Genel Sınıflandırılması (Koç ve Kaya, 2015).

Katı, sıvı, gaz hâlinde bulunan termik kaynağın uygun şartlarda ve uygun ortamda yakılarak yakıtın verdiği ısı enerjisinden ve genişmeden faydalanılarak mekanik enerji elde edilir. Günümüzde kömür, doğal gaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, petrol ürünleri, biyogaz, nükleer yakıt vs. gibi termik kaynakları kullanan çok sayıda termik santral vardır. Elde edilen bu mekanik enerjiden alternatörler yardımı ile elektrik enerjisi üreten santrallere termik santraller denir (Tekel, 2006).

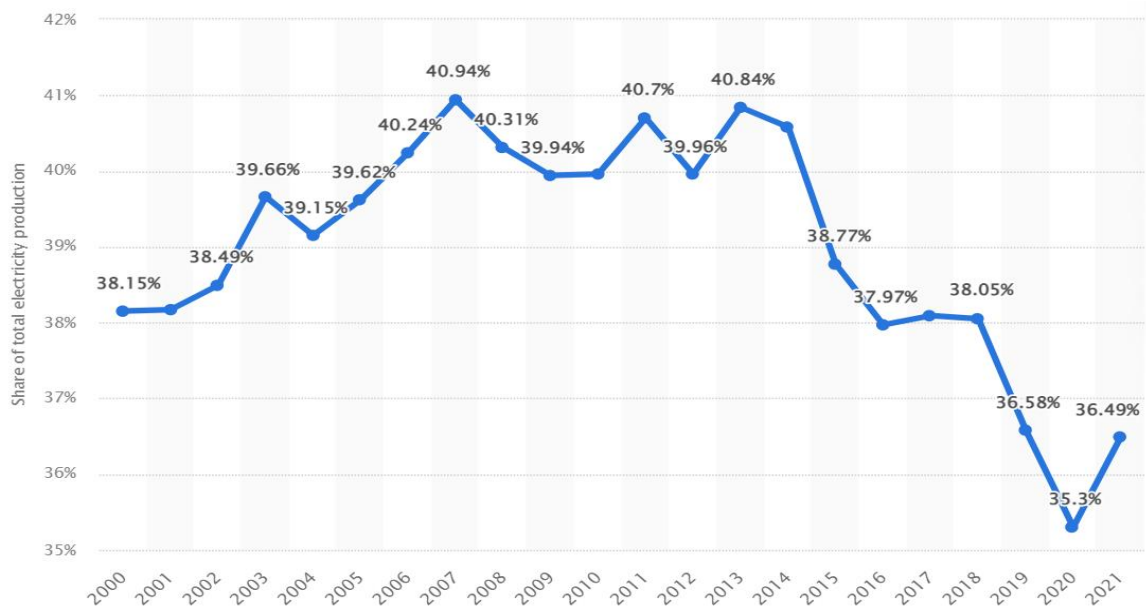
1.2.1 Termik Santraller ve Dünyadaki Yeri

Kömür yakıtlı bir termik santralde; öncelikle santrale gelen kömür, toz haline getirilir. Toz haldeki kömür sıcak su ile birleştirilerek hava ile ocağa püskürtülür. Yüksek ısıya bu yanma reaksiyonu sırasında ocağın içerisinde borularla taşınan arıtılmış su ısıtarak yüksek derecede buhara dönüştürülür. Bu buhar yüksek ısı sonucunda türbinlere iletilerek türbin kanatlarını döndürür. Türbin miline bağlı olan kanatlar mil vasıtası ile jeneratörü çalıştırarak elektrik enerjisi üretilir. Sıcak su buharı kondansatöre çekilerek soğutulur ve sisteme tekrar dahil olması için kirlenmemiş su fazına döndürülür. Aşağıda Şekil 1.2’de, bir kömür yakıtlı termik santralin tipik bir düzenini gösteren şematik diyagram verilmiştir (Yıldız vd., 2018).



Şekil 1.2. Tipik Bir Kömür Yakıtlı Termik Santral (Şahin, 2012).

Dünya çapında kömürden elektrik üretimi, toplam elektrik üretiminin üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır. Kömürün enerji sektöründeki payı 2021 yılında %35'ten %36'ya yükselmiştir. Böylelikle kömür, elektrik üretimindeki payı ile dünyada ilk sırada yer almaktadır.



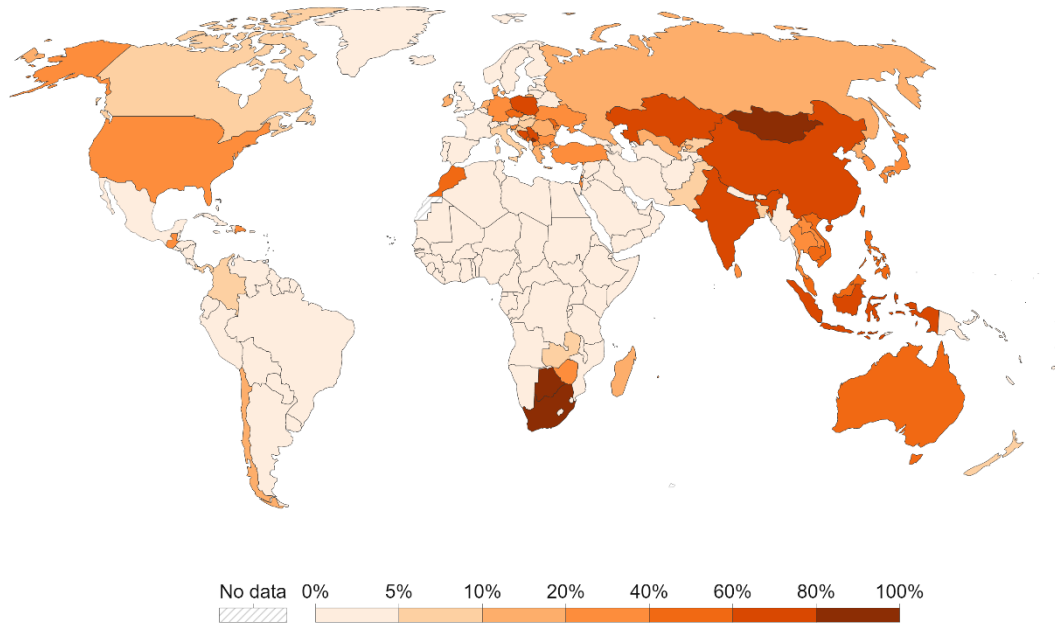
© Statista 2022

Şekil 1.3. Dünyadaki Kömür Yakıtlı Termik Santrallerin Toplam Enerji Üretimindeki Payı (Statista, 2022).

2000 yılından bu yana, Çin ve Hindistan üzerinde nüfusça çok hızlı bir artış gözlemlendiği ve artışa bağlı olarak enerji ihtiyacının arttığı söylenebilmektedir. Artan enerjinin kömürlü termik santrallerdeki çalışma yoğunluğunu ve enerji üretimini doğrudan etkilediği görülmektedir. Çin ve Hindistan'ın elektrik kapasitesini iki katına çıkarmayı planlamaktadır. AB ve ABD'de ise yapılan Carbon Brief analizine göre ise 2018 yılında ilk kez kömürlü termik santrallerde bir düşüş yaşandığı görülmektedir. 2014 yılından bu yana ise yatay bir seyir gözlenmektedir. Bununla beraber İngiltere ve Almanya dahil kömürlü termik santrale sahip 80 ülkeden 19'u bu termik santrallerin çalışmasına son vermeyi planlamaktadır (Alagöz vd., 2023).

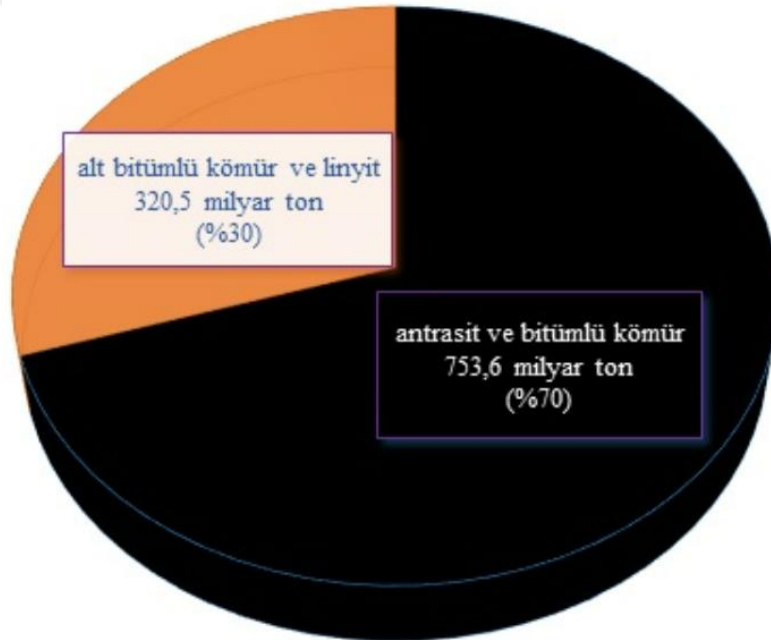
Share of electricity production from coal, 2021

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2022); Our World in Data based on Ember's Global Electricity Review (2022); Our World in Data based on Ember's European Electricity Review (2022)
OurWorldInData.org/energy • CC BY

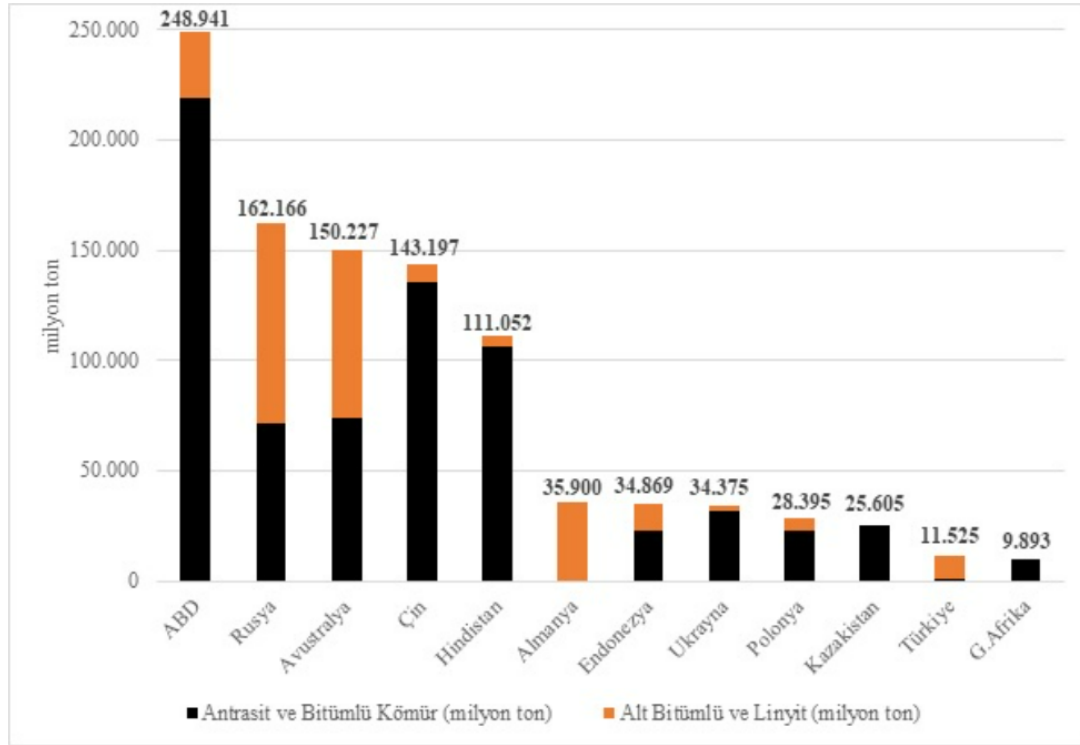
Şekil 1.4 2021 yılına ait Dünyada Kömürden Elektrik Üretiminin Payı (Our World in Data, 2021).



Şekil 1.5 Dünyada Kömür Rezervlerinin Kömür Kategorilerine Göre Dağılımı (ETKB,2023).

ABD, toplam kömür rezervlerinin %29,1'ini (218,94 milyar ton) oluşturuyor. ABD %17,9 ile Çin (135,07 ton) ve %9,5 ile Rusya (71,72 milyar ton) takip etmektedir. Rusya, alt bitümlü kömür

rezervlerinin %28,2'lik payıyla (90,45 milyar ton) en büyük paya sahiptir. Avustralya %23,9 ile 76,51 milyar ton, Almanya %11,2 ile 35,90 milyar ton, ABD (30,00 milyar ton), Endonezya %3,7 ile 11,73 milyar ton ve Türkiye %3,4 ile 10,98 milyar ton ile Rusya'yı geride bıraktığı elde edilen sayısal veriler sayesinde görülmektedir (ETKB,2023).milyar ton), %14,1 ile Hindistan (105,98 milyar ton), %9,8 ile Avustralya (73,72 milyar



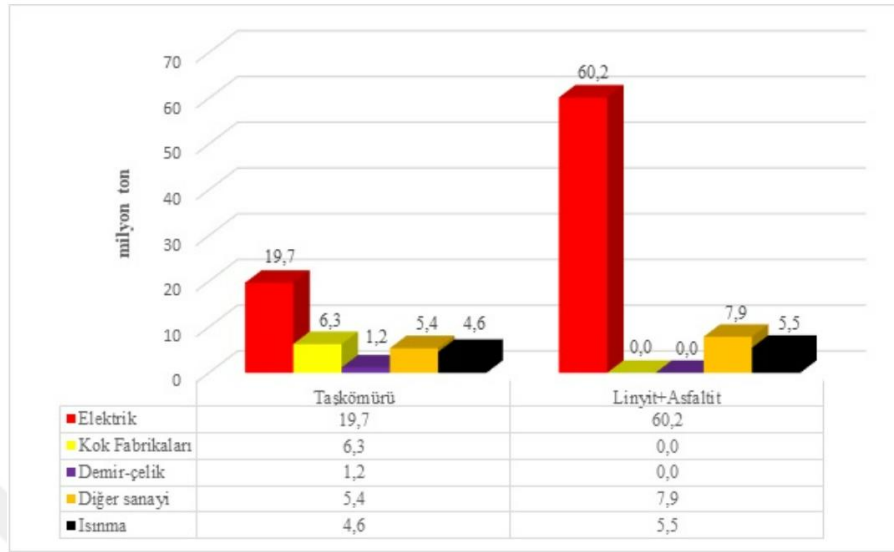
Şekil 1.6 Dünyada Kömür Rezervlerinde Ülkelerin Payları (ETKB,2023).

1.2.2 Türkiye’de Termik Santraller

1870’li yılların sonunda Batı ülkeleri dünya çapında elektrik enerjisi üretimi ve kullanımını başlattılar. İngiltere-Londra’da 1882’de ilk elektrik santrali ardından 1902 yılında Tarsus’ta Türkiye’nin ilk elektrik santrali faaliyete geçmiştir. Bu santral, su değirmenine bağlanmış 2 kilovat gücünde bir dinamo tarafından elektrik üreterek çalışmaya başlamıştır. Osmanlı şehirleri Selanik, Şam ve Beyrut daha sonra elektrikle donatılmıştır. İstanbul, 1910 yılında Macar Ganz şirketine verilen bir imtiyazla 1914 yılında elektrikle buluşmuştur. Türkiye’nin ilk kömür santrali İstanbul’daki Silahtarağa Santrali olarak bilinmektedir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli ihtiyaca sahip enerji, elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisinin büyük bir bölümü fosil yakıtlı enerji yani birincil enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Türkiye’nin küresel kömür tüketimindeki payı %1,1’dir ve dünyada en fazla kömür tüketen 13. ülke konumundadır. Ülkemizde 2021 yılında arz edilen toplam kömürün %69’u elektrik üretimi amacıyla

termik santrallerde, %18'i sanayide ve kok fırınlarında, %13'ü ise ısınmak amacıyla konutlarda tüketilmiştir (ETKB,2023).

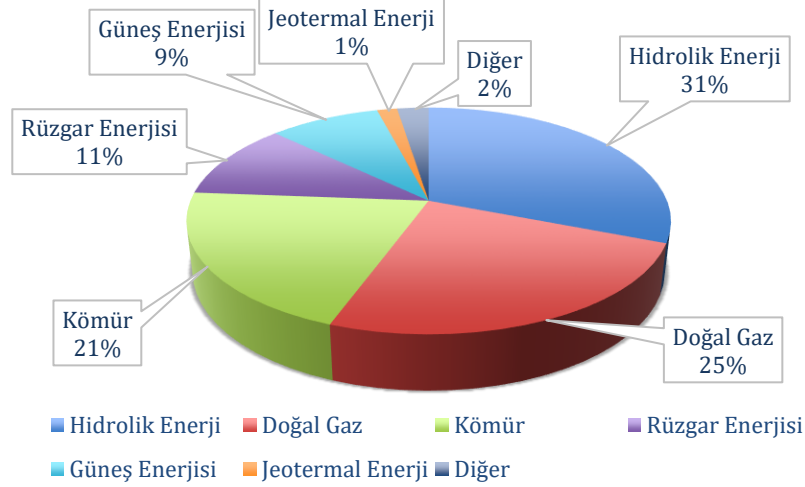


Şekil 1.7 Türkiye Kömür Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (ETKB,2023).

2021 yılında, yapılan araştırmalar neticesinde Türkiye'de elektrik üretimi kurulu gücünün %33,2'si doğal gazdan, %30,9'u kömürden, %16,7'si hidrolik enerjiden, %9,4'ü rüzgâr enerjisinden, %4,2'si güneş enerjisinden, %3,2'si jeotermal enerjiden ve %2,4'ü diğer kaynaklardan elde edildiği bilinmektedir. 2022 yılında, hidrolik enerjinin %30,9'u, doğal gazın %24,7'si, kömürün %20,6'sı, rüzgârın %10,9'u, güneşin %8,8'i, jeotermal enerjinin %1,6'sı ve diğer kaynakların %2,5'i oluşturduğu verilerine ulaşılmıştır.

Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde en sıklıkla tercih edilen kömür linyit kömürüdür. Siyah ve kahverengi renkte bulunan, fosil hâlde, tortul birikimli katı yakıttır. Linyit kömürün ısı değeri 1000-5000 kcal/kg arasında değişkenlik göstermektedir (Keivani vd.,2021).

Türkiye Birincil Enerji Kaynaklarının Dağılımı (2022)



Şekil 1.8 Türkiye’de Birincil Enerji Kaynaklarının Dağılımı (Temiz Enerji, 2022).

Türkiye'nin kömür kaynağı yaklaşık 20,84 milyar tondur. Bunlar; 19,32 milyar ton asfaltit ve linyit ve 1,52 milyar ton taş kömürüdür. Taş kömürlerimizin en düşük ısı değeri 6.200 ila 7.250 kcal/kg'dır. Linyit kaynağımızın ısı değerleri 1.000 kcal/kg ile 4.200 kcal/kg arasında değişse de, yaklaşık %79'unun 2.500 kcal/kg'nin altında olduğu bilinmektedir.

2022 Aralık itibarıyla, ülkemizin kömüre yakıtlı termik santral kurulu gücü, toplam kurulu gücün %21'ine karşılık gelmektedir. Yerli kömüre endeksli kurulu gücün toplam kurulu güce oranlaması %11 olmuştur. (ETKB, 2023)

Türkiye’de işletmede olan güncel kömür yakıtlı termik santral sayısı 53’tür (Enerji Atlası, 2022). Kurulu gücü 100 MW’ı geçen 30 adet termik santral, toplam işletmede bulunan termik santrallerin sayıca %57’sine, kurulu güç olarak ise %97’sine tekabül etmektedir. İşletmede olan, 1.000 MW kurulu gücü geçen 7 adet kömür yakıtlı termik santral vardır. Aşağıda listesi bulunan ve Türkiye’nin en büyük yedi kömür yakıtlı termik santrallerinin kurulu gücü toplamı (10.673 MW), Türkiye’de işletmede olan toplam 53 adet kömür yakıtlı termik santralin toplam kurulu gücünün (20.443 MW) yaklaşık %52’sine tekabül etmektedir.

Tablo 1.1 Türkiye'nin 1000 MW üzeri kurulu güce sahip kömür yakıtlı termik santralleri (Enerji Atlası,2022).

S.N.	SANTRAL ADI	YAKIT TİPİ	KURULU GÜCÜ (MW)
1	Zonguldak Eren (ZEREN) Termik Santrali	İthal Kömür	2.790
2	Afşin-Elbistan B Termik Santrali	Linyit	1.440
3	Afşin-Elbistan A Termik Santrali	Linyit	1.355
4	Cenal Karabiga Termik Santrali	İthal Kömür	1.320
5	İsken Sugözü Termik Santrali	İthal Kömür	1.308
6	İskenderun Atlas Termik Santrali	İthal Kömür	1.260
7	İçdaş Bekirli Termik Santrali	İthal Kömür	1.200
TOPLAM KURULU GÜÇ (MW):			10.673

Türkiye'de işletmede olan 53 adet kömür yakıtlı termik santraller, 2022 yılında elektrik üretiminin %20,6'sını karşılamıştır.

1.3 Hava Kirliliği ve Kirletici Emisyonlar

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre hava kirliliği şu şekilde tanımlanmaktadır;

Hava kirliliği; insan, bitki, hayvan veya madde üzerine zarar verebilen veya rahat yaşam şeklini (konfor) ve maddeyi aşırı şekilde etkileyen kum, toz, uçucu kül, kurum, is, duman, buğu, tütsü, sis, pus, buhar, gaz veya kötü koku gibi bileşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferdeki muhtevasıdır (Kurt, 2014).

Tablo 1.2 Normal Kuru Havanın Bileşimi (Eken vd.,2022).

Bileşen	Hacimsel %	ppm (cm ³ /m ³)
N ₂	Nitrojen	78,084
O ₂	Oksijen	20,946
Ar	Argon	0,934
CO ₂	Karbondioksit	0,033
Ne	Neon	0,018
He	Helyum	0,00052
CH ₄	Metan	0,00012
Kr	Kripton	0,00005
H ₂	Hidrojen	0,00005
Xe	Ksenon	0,000008
NO ₂	Azot Dioksit	0,000002
O ₃	Ozon	0,000001-0,000004

Atmosfere dağılan kirlenici emisyonlar katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilirler. Çeşitli kaynaklardan meydana gelen kirlilik maddeleri toz, is, sis, buhar, kül, duman vb. olarak havaya geçerler karışırlar. Atmosferdeki bu kirleniciler;

1. Kaynaklardan atmosfere doğrudan verilen kirleticiler (birincil kirleticiler),
2. Birincil kirleticilerle, atmosferik özellikler arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kirleticiler (ikincil kirleticiler), olmak üzere iki şekilde bulunurlar (Boğaziçi Üniversitesi, 2018)

Tablo 1.3 Kirletici Bileşikler ve Genel Nitelikleri (Ankara Üniversitesi, 2022).

Sınıf	Kirletici		Yapay Kaynak
	Primer	Sekonder	
Kükürtlü Bileşikler	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄	S'li yakıt
Azotlu Bileşikler	NO, NH ₃	NO ₂	Yüksek sıcaklıkta N ve O reaksiyonu
Karbonlu Bileşikler	C ₁ ve C ₅ 'li bileşikler	Aldehitler, ketonlar, asitler	Yakıt yanması, petrol damıtımı, çözügen kullanımı
Karbon Oksitler	CO, CO ₃		Yanma
Halojenli Bileşikler	HF, HCL		Metalurji
PM (partikül maddeler)	SİO ₂ , toz, mist, tütsü, is, duman	Londra sisi veya endüstriyel duman (smog)	Yanma, mekanik işlemler

Kirli hava, insanların ve diğer canlıların sağlığını tehlikeye atan istenmeyen maddeler içerir. Bazı kirleticiler kaynaktan atıldığında havayı doğrudan kirletebilir veya iki kirletici atmosferde tepkimeye girerek yeni bir kirletici oluşturabilir. Kirleticilerin nasıl geliştiğini belirleyen en önemli faktörler nem ve sıcaklıktır. Gözle göremediğimiz veya koklayamadığımız partikül maddeler (PM), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O₃) gibi hava kirletici emisyonlar, çoğu zaman biz farkında olmadan soluduğumuz havayı kirletir. Hava kirliliği, yanardağ patlamaları ve çöl tozu gibi doğal kaynaklardan kaynaklanabileceği gibi insan faaliyetlerinden de kaynaklanabilir. Kirliliğin ana nedenleri arasında ısınma, trafik, elektrik üretimi, sanayi, madencilik, inşaat, endüstriyel tarım ve orman yangınları yer alır; ancak önlemler alınarak bu emisyonlar azaltılabilir (Temiz Hava Hakkı Platformu ,2020).

Toplam 4,2 milyar insanın yaşadığı (toplam dünya nüfusunun %50'sinden fazlası), dünyanın en kalabalık 13 ülkesinde ulusal ölçekte uzun vadeli dış ortam hava kalitesi ölçümü için kamu programı bulunmuyor. En az 30 ülkede gerçek zamanlı veri üretiliyor, ancak bu verilerin tamamı henüz kamuoyuyla paylaşılmıyor. Türkiye de tam açık veri erişimi olmayan bu 13 ülke arasında 10. sırada yer almaktadır.

Türkiye'de hava kirliliği, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından, su kirliliğinden sonra ikinci sırada ele alınmaktadır.

Türkiye’de hava kirliliği ile ilgili araştırmalar, Ankara ilimizde 1960’lı yıllarda görülmüştür. Türkiye de zamanla diğer kentlerde de görülmeye başlayan hava kirliliği sorunuyla ilgili araştırmalar hızla artmıştır (Tuncel, G. 2013). Giderek büyüyen ve bilinçsiz kentleşme, hızlı nüfus artışı sonucuna bağlı olarak genellikle kış mevsiminde insanların ısınmak için yakacak olarak mineral yakıt kullanması sonucunda karşımıza ilk önce karbon dioksit (CO₂) ve azot dioksit (NO₂) gibi sera gazı ve partikül madde (PM), polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), civa, karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), Ozon (O₃) gibi kirleticileri beraberinde getirmiştir. Bu yakıtların kullanım miktarı kadar fosil yakıtların kalitesiyle de önemlidir.

Türkiye’nin sera gazı emisyonları, geçtiğimiz on yıl içerisinde OECD üyesi ülkelerin çoğundan daha fazla artış göstermiştir. Enerji sektörü ve PM_{2.5} kirlenici emisyonunun oluşturduğu ulaşım kaynaklı kirlilik, ciddi bir sağlık endişesi yaratmaktadır. Hali hazırda kentsel atıkların %90’dan fazlası depolama sahalarına bırakılmaktadır (OECD, 2019).

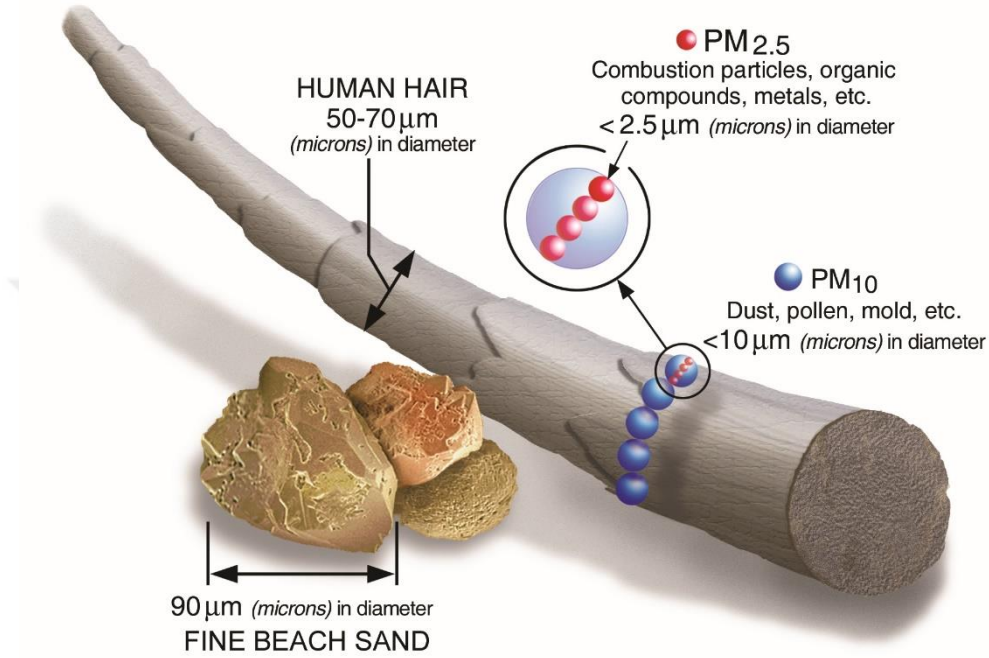
Tablo 1.4 Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri (IEA,18).

Kaynak	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton CO ₂ /GWh)	Bir Konuta Düşen Emisyon* (kg CO ₂ /yıl)
Linyit	1054	3689
İthal Kömür	888	3108
Taş Kömürü	888	3108
Fuel Oil	733	2566
Doğal Gaz	499	1747
Nükleer	66	231
Jeotermal	38	133
Biyokütle	26	91
Hidroelektrik	26	91
Güneş	23	81
Rüzgar	10	35
*Yıllık 3500 kWh tüketim için		

1.3.1 PM2.5 ve PM10 Kaynaklı Kirlilik

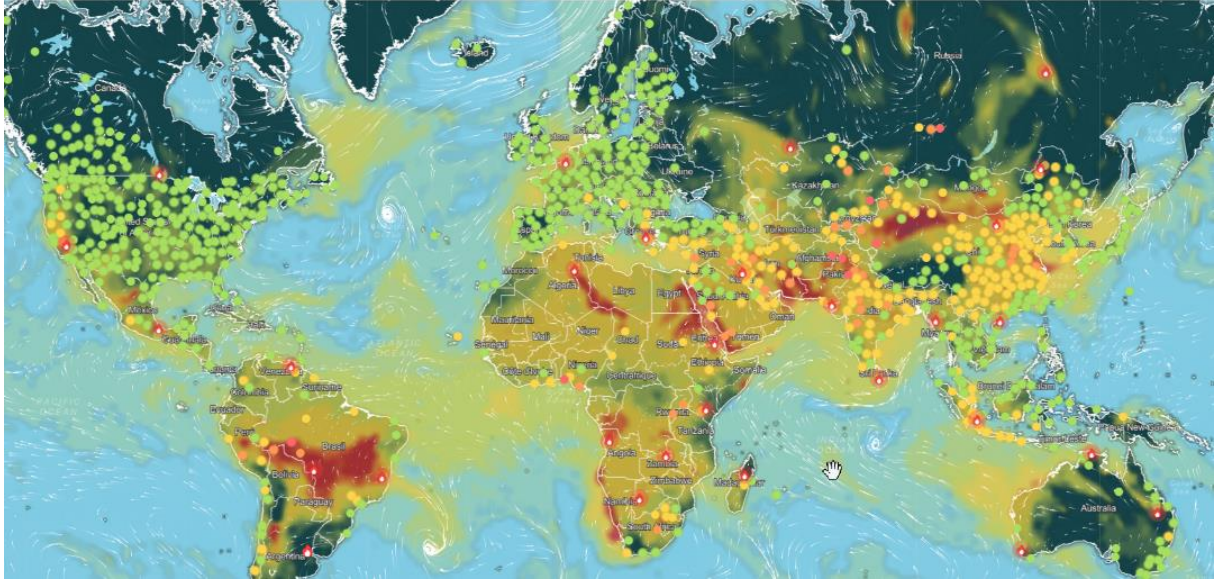
Partikül maddeler (PM), havada asılı kalan katı ve sıvı parçacıkların karışımından oluşan bir hava kirleticisidir. Partikül maddeler doğrudan havaya yayılabilir (birincil PM) veya atmosferik reaksiyonlar sonucunda doğal olarak oluşabilir. Ayrıca atmosferdeki olaylar ve genelde sanayiden kaynaklı diğer gazlarla birleşerek ikincil partikül madde de ortaya çıkabilir ve kilometrelerce mesafe yol alabilir.

Hava kirliliğinin en zararlı bileşenleri, çapı 10 μm (mikrometre) veya daha düşük olan partikül maddelerdir (PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$). Partiküler madde tek bir toksik madde değildir; karbon, ağır metaller, inorganik iyonlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve yerküre kökenli elementlerden oluşur. Çapı 2.5-10 μm arasındakiiler ($\text{PM}_{2.5}$ - PM_{10}) kaba (coarse), 2.5 μm ve daha küçük çaplılar ince (fine) olarak isimlendirilirler. İkisi de akciğerlerde lokal inflamasyona neden olurlar. $\text{PM}_{2.5}$ 'in alveolleri geçip kana karışabilir (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2020).



Şekil 1.9 Partiküler Madde Parçacıkları İçin Boyut Karşılaştırmaları (EPA, 2018).

Türkiye'nin istasyonlarındaki hava kalitesi verileri karşılaştırılırken kullanılan sınır değerler Türkiye ve Avrupa Birliği mevzuatı yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü kılavuz değerleridir. Ne yazık ki $\text{PM}_{2.5}$ için Türkiye'de hala bir sınır değer belirlenmemiştir. DSÖ, hava kalitesini ve kirliliğini belirlemede en önemli ölçüt kabul edilen $\text{PM}_{2.5}$ sınır değerini 2021 Eylül ayında güncelleyerek 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşürmüştür.

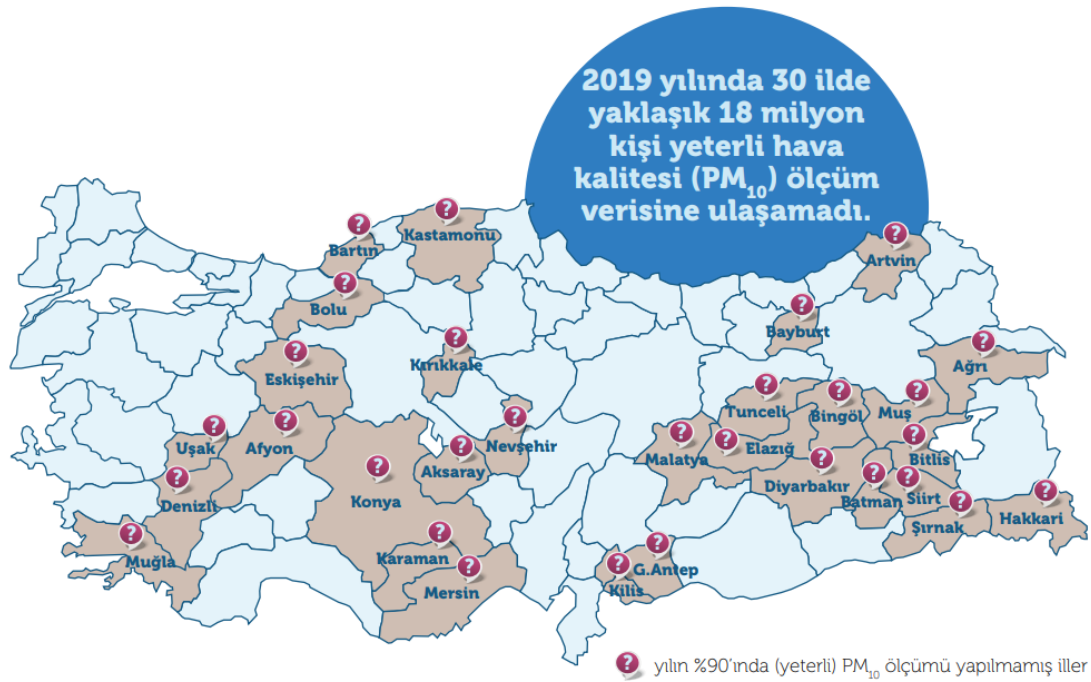


Şekil 1.10 Dünya Geneline Hava Kalitesi İndeksi Ölçümleri Sonucunda Havadaki Kirleticilerin Görsel Temsili (World Air Quality Index, 2023).

Tablo 1.5. Hava Kirleticisi Madde Sınır Değerleri (İklim Haber,2022).

Kirleticisi Emisyon	Ortalama Zaman	DSÖ 2005 Hava Kalitesi Kılavuzu	DSÖ 2021 Hava Kalitesi Kılavuzu	Türkiye'deki Güncel Limitler
PM _{2.5}	Yıllık	10	5	-
	24 Saat	25	15	-
PM ₁₀	Yıllık	20	15	40
	24 Saat	50	45	50
NO ₂	Yıllık	40	10	40
	24 Saat	-	25	-
SO ₂	24 Saat	20	40	20
CO	24 Saat	-	4	10

DSÖ, 22 Eylül 2021'de yeni Küresel Hava Kalitesi Yönergelerini (AQG) uygulamaya koymuştur (Tablo1.5.). Ayrıca 2018 yılında yayımladığı yönergede belirtildiği üzere hava kirliliğinin yılda 7 milyondan fazla erken ölümle sonuçlandığını bildirdi.



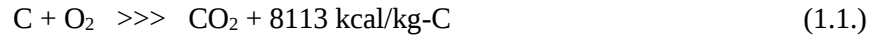
Şekil 1.11 Türkiye’de PM₁₀ Kirletici Ölçüm Haritası, 2019 (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2020).

1.3.2 CO Kaynaklı Kirlilik

Karbonmonoksit (CO), havadan biraz daha hafif olan renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Bu gaz, hem insanlar hem de hayvanlar için yüksek miktarda bulunduğunda çok toksiktir. Aynı zamanda, normal hayvan metabolizmalarında çok az üretilir ve bazı normal biyolojik işlevleri olduğu düşünülmektedir. Zehirlenmelerin çoğu soba bulunan evlerde meydana gelir. CO, kalp ve beyin gibi organlara ve dokulara oksijen dağıtımını azaltarak ölümcül etkilere yol açabilen bir maddedir. CO maruziyeti, kanın oksijen taşıma kapasitesini azalttığı için kalbin yeterince kanlanamamasına, göğüs ağrısına ve yüksek düzeyde maruz kaldığında ölüme neden olabilir. Uzun süreli olarak 100 ppm karbon monoksit içeren bir ortamda hafif baş ağrıları meydana gelebilirken, 500 ppm karbon monoksit içeren bir ortamda daha şiddetli baş ağrıları, baş dönmesi ve baygınlık gibi etkiler gözlemlenebilir. 2000 ppm ve üzerindeki değerlerde ise solunum güçlüğü, bilinç kaybı ve ölüm gibi ciddi sonuçlar görülebilir (Kaytaoğlu vd., 1995).

İdeal durumlarda yanma olayı; yanıcı bir yakıt ve yakıcı olan O_2 (oksijen)'nin teoride istenen oranlarda birbiri ile kimyasal tepkimeye girmesidir. Eğer ortamda yeteri kadar oksijen gazı bulunmazsa orada oluşan kimyasal reaksiyon tam yanma olarak adlandırılmaz. Tam yanma olayında, yanıcı içerisindeki C (karbon) molekülleri O_2 (oksijen) ile birlikte CO_2 'ye dönüşür ve ortama enerji verir. Ancak eksik yanma veya tam yanmama reaksiyonu ile C ve O_2 yeterli oranda birleşemez ve tepkime sonucunda CO olarak bileşirler. Bu durumda da ortama enerji verilir ancak tam yanma olayına göre

ortama verilen bu enerji miktarında yaklaşık %70 azalma vardır. Bahsi geçen durum aşağıdaki formülizasyonlarda verilmiştir (Odabaş, 2009).

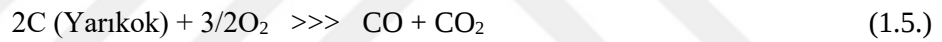


Eşitlik (1.1.) ve (1.2.)’den de anlaşılacağı üzere eksik yanma sonucunda, hem çok daha az enerji üretilmesine hem de istenmeyen yanma atıklarının oluşmasına neden olmaktadır.

Kömürün yapısında bulunan karbon ve hidrojen atomları sırasıyla %70-95 ve %2-6 oranındadırlar ve kömürün en önemli bileşenleridir. Karbon mineral karbonatların içerisinde ve hidrojen de kömürde bulunan nemin içerisinde de bulunmaktadır (Kurt, 2014).

Kömürün yanması temel olarak 3 aşamada gerçekleşir:

- 1- Kömürün ısınması sonucunda uçucu madde çıkışı ve karbonizasyon
- 2- Uçucu maddenin gaz fazında yanması (homojen yanma)
- 3- Karbonca zengin yarıkokun yanması (heterojen yanma)



Birinci aşamada (1.3.) kömürden yarıkok oluşumu ve uçucu madde çıkışı meydana gelirken, ikinci aşamada (1.4.) uçucu maddenin yanması ve üçüncü aşamada (1.5.) yarıkokun yanması olayları gerçekleşmektedir.

1.3.3 NO_x Kaynaklı Kirlilik

Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kükürtdioksit ve azot oksit gibi gazlar belirli miktarın üzerinde havada su molekülleri ile temas ederek asite dönüşür, yağışla birlikte asit yağmuru şeklinde yeryüzüne inerek insan, su, bitki ve hayvan topluluklarına zarar verirler (Kont ve Kızıloğlu, 2003).

Kömürde bulunan azotun genellikle hayvansal veya bitkisel proteinler, azot içeren bitkiler, bitki alkaloidleri ve klorofilden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kömürde bulunan azotun çoğu yüksek molekül ağırlıklı heterosiklik bileşiklerdir. Kömürün azot içeriği tipik olarak %1-2’dir. Primer, sekonder ve tersiyer aminler, nitriller, piroller, piridinler ve amidler, kömürde bulunan ve azot içeren fonksiyonel gruplardır. Azot içeriği, aynı yaştan, aynı bölgeden ve hatta aynı damardan alınan kömür örneklerinde önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Kömür yandığında, yanma koşullarına ve kullanılan kömüre bağlı olarak azot, amonyak, elementel azot veya azot oksitlerine dönüşebilir. Kömürün yakılmasıyla oluşan

NO_x emisyonları, fotokimyasal dumanlar ve asit yağmurlarına neden olduğu için önemli bir sorun olarak görülmektedir. Yakma sistemlerinin tasarımı, hava/kömür oranı, sıcaklık ve kömürün içerdiği azot miktarı, yayılan azot oksit miktarını büyük ölçüde etkileyen faktörlerdir (Kurt, 2014).

1.3.4 SO₂ Kaynaklı Kirlilik

Kömür temizleme teknolojileri, esas olarak kükürt verilerini kullanır. Kömürde bulunan inorganik kükürt fiziksel ayırma teknikleri kullanılarak çıkarılabilirken, organik kükürt, şiddetli koşullar altında gerçekleştirilen kimyasal ayırma teknikleri kullanılarak çıkarılabilir. Atmosferdeki kükürt dioksit emisyonlarının artmasının en önemli nedenlerinden biri, yüksek kükürt içerikli kömürlerin herhangi bir ön işlemden geçirilmeden yakılmasıdır.

Kömürün yanmasıyla ortaya çıkan kükürt kirleticileri çevreye büyük zarar vermektedir. Kükürt, kömür yanması sırasında SO₂ gibi kirletici bir gazla dönüşür ve kömürün nasıl yakıldığına bakılmaksızın, içindeki kükürdün tamamı gaz olarak açığa çıkar. Kül, bir miktar kükürdü katı bileşenler halinde tutar. Kömürün belirli özelliklerine göre, külde tutulan kükürt değişkenlik göstermektedir. Kömürün çeşidi, kükürt miktarı, tutulan kükürtteki alkali element içeriği ve bu elementlerin yanma sırasında nasıl davrandığı gibi etmenler sıralanabilir. Küldeki kükürt, kömürün toplam kükürt içeriğinden çıkarılır ve çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik ön işlemler, atmosfere bırakılan kükürt dioksit miktarını azaltabilir. Kömür yakılmadan önce kükürt içeriğini belirli bir sınırın altına indirmek, yanma sonrası kükürtlü bileşiklerin tutulmasından daha verimli bir yöntemdir (Kurt, 2014).

1.4 Hava Kirleticilerinin Sağlık Üzerine Etkileri

Yukarıda da belirtildiği üzere hava kirliliği, havanın doğal bileşenleri dışındaki kirleticilerin çevreye zarar verecek seviyede belli bir oranın üzerine çıkmasıdır. Enerji kaynaklarından ortaya çıkan gazlar, partiküller ve katı atıklar doğrudan veya dolaylı olarak su kaynaklarına karışarak kirlilik oluşturur. Enerji faaliyetleri sonucunda toprağın yapısında meydana gelen fiziksel, kimyasal, jeolojik ve biyolojik bozulmalar toprak kirliliğini oluşturur. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan gazlar küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Yanma, yakıtta bulunan yanabilir maddelerle havadaki oksijenin reaksiyona girmesi sonucunda enerjinin açığa çıkması ve istenmeyen yanma artıklarının atmosfere ve çevreye atılmasıdır. Başka bir deyişle, dünya üzerindeki tüm yanma reaksiyonları, insanlar, bitkiler, hayvanlar ve çevre için hayati önem taşıyan oksijeni tüketir. Yanma, aynı zamanda insanlar ve çevre için çok zararlı yanma artıklarını oluşturur (Kartal, 2001). Yanma işlemi, çeşitli yanıcı maddelerin oksijenle birleşerek ısı ve ışık gibi

enerji türlerini açığa çıkardığı kimyasal bir tepkimedir; ancak yanma sırasında oluşan kirletici maddeler, hava kalitesini olumsuz etkileyerek solunum yolu hastalıkları ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir.

Son 20 yılda, büyük kentlerde yapılan morbidite ve mortalite çalışmalarında, hava kirleticilerinin sağlık üzerindeki akut ve kronik etkilerine dair yoğun bir şekilde literatürde yer alınmaktadır. Bu çalışmalarda, hava kirliliğinin özellikle çocuklarda akut solunum yolu enfeksiyonu riskini artırdığı ve genel olarak kardiyorespiratuar morbidite ve mortalitede artışlara neden olduğu gözlenmektedir. Özellikle hava kirliliği ataklarının, insanların solunum ve kalp sağlığı üzerinde olumsuz etkileri belirgin bir şekilde gözlenmektedir (Cengiz vd., 2013).

Hava kirliliği araştırmaları, geçmişte yaşanan önemli felaketlerin ardından insan sağlığına olan etkilerini gözler önüne sermiştir. Örneğin, 1934'te Belçika'da Meuse Vadisi'nde, 1947'de Amerika Birleşik Devletleri'nde Donora'da ve 1952'de Londra'da yaşanan hava kirliliği olayları, kısa bir süre içinde binlerce insanın hayatını kaybetmesine yol açmıştır (Cengiz vd.,2013). Bu felaketlerin ardından, özellikle Londra, hava kirliliğini kontrol altına almak için kömür kullanımını kısıtlama gibi yöntemler geliştirmiştir. Benzer şekilde, dünyanın diğer birçok ülkesinde de hava kirliliğini yönetmek için yasal düzenlemeler hayata geçirilmiş ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirlenen emisyon ve kirletici limitleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu önlemler, insan sağlığını korumak ve çevreyi korumak adına atılan önemli adımlardır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Uydu cihazlarındaki teknolojik gelişmelerle birlikte, hava kalitesinin belirlenmesinde de kullanılan uzaktan algılama sistemlerinin önemi daha da artmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler neticesinde uydu verileri kullanılarak hava kirliliğine ait parametrelerin belirlenmesi ve istenilen haritaların üretilmesi mümkün olmaktadır.

Kim vd. (2006)'nin ABD'de yaptıkları bu çalışmada 1999-2005 yılları arasındaki NO_x ve troposferik yayılımdan dolayı O_3 hava kirlleticilerine bağlı olarak SCIAMACHY uydu verileri ile hava kalitesi belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Nisan-Ekim 2004 tarihleri aralığında üç veri karşılaştırılarak (WRF Reference, WRF Updated Emissions, SCIAMACHY) çalışmalarında NO_2 yoğunluğu Ohio Nehri çevresinde ve Kuzeydoğu ABD çevresinde incelenmiştir. ABD üzerinde kömür yakıtlı termik santrallerin meydana getirdiği hava kirliliğini NO_2 ve O_3 tabanlı göstermek amaçlı haritalandırılmıştır.

Say (2006), yaptığı çalışmasında, linyitin en önemli enerji kaynaklarından biri olduğunu ve bunun yanı sıra düşük kaliteli bir yakıt olarak da bilindiğini belirtmektedir. Bu yüzden ki termik santrallerde kolaylıkla yanması ve düşük kalorili oluşundan dolayı tercih edilebilmektedir. Ancak hava kirliliğine neden olan SO_2 ve PM parametreleri ile insan sağlığına, bununla beraber çevredeki bitki ve yeşil alanlara da fazlaca zarar verdiği bilinmektedir. Türkiye'de 1950'lerden bu yana termik santrallerde linyit kullanılmıştır ve üç büyük linyit yakıtlı termik santral bulunmaktadır (Kütahya, Kahramanmaraş ve Muğla). Hava kirliliğine neden olan bu termik santraller ve havaya salınan SO_2 gazı hava kirliliğine etkisi olabilecek belli başlı (rüzgar, nüfus, topografik özellikler vs.) parametrelere dayandırılarak GIS ile ArcView programı üzerinden gösterilmiştir.

Tekel (2006), yaptığı çalışmada, ekserji analizlerini tamamlamak için gerekli temel prensipler ve üç eş ölçülü linyit santralının ekserji analizlerini yapmıştır. Bu çalışmanın amacı, üç farklı elektrik enerjisi üretim santralının verimlilik analizlerinin hesaplanması ve enerji ile ekserji dengelerinin kıyaslanmasıdır.

Ayan (2008), çalışmasında, Türkiye'nin batısında son elli yılda karlı gün sayısında meydana gelen azalmayı hesaplamaktadır. Son otuz yıllık yağış analizi, Marmara Bölgesi'nde 250 mm artış ve Ege Bölgesi'nde 380 mm azalış göstermiştir. Bu nedenle, Türkiye'nin batısında yağış miktarı ortalama 65 mm düşmüştür. Türkiye'nin batı bölgelerinde yağış azalmıştır. Son olarak, son otuz yılda Marmara Bölgesi için 0,61 °C sıcaklık artışı ve Ege Bölgesi için yaklaşık 1,11 °C sıcaklık artışı kaydedildi. Bu araştırma, Marmara ve Ege bölgelerinde iklim parametrelerinde değişiklik olduğunu gösteren son otuz yıllık verileri analiz etti. Türkiye'de kömürle çalışan termik santrallerin CO_2 emisyonlarının miktarı ve kömür kullanılarak enerji temininde meydana gelen CO_2 emisyonlarının önemi vurgulanmıştır.

Arslan (2010), bu tez çalışmasında ise ISC-ST3 modeli aşağıda belirtilen girdi verileri kullanmaktadır;

- Rüzgâr hızı

- Sıcaklık,
- Alıcı ortam olarak tanımlanan bölgenin yüksekliği

Bunlar haricinde, YSK (Yer Seviyesi Konsantrasyonu) Değerleri, ISC-ST3 (Industrial Source Complex-Short Term3), Seyyar hava kirliliği ölçüm aracı verileri de çalışmada kullanılmıştır.

Yılmaz (2017), bu araştırma çalışması, Manisa-Merkez ve Manisa-Soma bölgelerinin hava kalitesinde muhtemel farklı hava kirletici kaynaklarının etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, Manisa-Merkez ve Manisa-Soma bölgelerinde SO₂ ve PM₁₀ parametrelerinin hava kalitesi açısından yaz-kış sezonları ve aylar bazında karşılaştırılması yapılmıştır. Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) değerlendirmesi, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerlere ve tanımlara göre gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları, PM₁₀ ve SO₂ düzeylerinin kış sezonunda arttığını göstermiştir ve özellikle Soma bölgesinde kış sezonunda PM₁₀ kirliliğinin, Manisa bölgesinde ise hem kış hem de yaz sezonunda etkili olduğunu ortaya koymuştur. Soma bölgesinde PM₁₀ kirliliğinin yanı sıra SO₂ kirliliğinin de olduğu belirlenmiştir. Özellikle kış sezonunda SO₂ kirliliği, halk sağlığını tehdit edecek düzeylere ulaşmıştır.

Tezel (2018), çalışmalarında, Türkiye'deki enerji üretim ve evsel ısıtma kaynaklarına bağlı kükürt dioksit (SO₂) emisyonlarını uydu verileriyle ilk kez analiz eden bir proje sunmaktadır. Araştırma, büyük ölçekli nokta kaynaklarının izlenmesi ve kirlilik etki bölgelerinin tespiti konusunda başarılı sonuçlar elde etmiştir. Uydu verileri ve emisyon envanterleri arasındaki farklılıklar vurgulanarak, SO₂ emisyonlarına ilişkin çelişkiler açığa çıkarılmıştır. Ayrıca, hava kalitesi tahmin modelleri ile uydu verilerinin uyumu değerlendirilerek, bu iki yöntemin birlikte kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar verebileceği gösterilmiştir. Bu çalışma, SO₂ emisyonlarının takibi ve etkilerinin anlaşılmasında uydu verilerinin etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Shikwambana vd. (2020) araştırmasında, Aralık 2018 ile Eylül 2019 arasında Güney Afrika'da Mpumalanga (MP), Gauteng (GP) ve Limpopo (LP) illerinde bulunan kömürle çalışan termik santraller ve çevresinde yapılan aylık ortalama SO₂ ve NO₂ haritalarının analizini değerlendirmektedir. Bu haritalar, yaz ve sonbahar aylarında LP ve MP bölgelerinde belirgin sıcak noktaların görüldüğünü göstermektedir. Bu bölgelerdeki kömürle çalışan enerji santralleri, ana SO₂ kaynağını oluşturduğu görülmekte ve kararsız atmosfer koşullarında, SO₂ kaynağa yakın bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Dikey sıcaklık gradyanları, yağış ve türbülans gibi faktörler, bu sürecin seyrinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, yaz aylarında yoğun yağışların etkisiyle SO₂ konsantrasyonunda bir azalma gözlenmektedir. Bu çalışma, mevsimsel ve bölgesel olarak SO₂ ve NO₂ kirliliğinin yayılımını ve davranışını anlamamıza katkı sağlamakta ve Sentinel-5 P verileri, yüzey ölçümleri ve mevsimsel rüzgar koşulları gibi faktörlerle birleştirilerek hava kirliliğinin mekansal ve zaman içindeki değişimleri anlaşılır hale getirilmektedir. Sonuç olarak, Güney Afrika'daki artan enerji santrali sayısının muhtemelen SO₂, NO_x ve diğer zararlı kirleticilerin artmasına neden olabileceği sonucuna varılıyor. Bu çalışmanın sonuçları, özellikle MP, GP ve LP bölgelerindeki SO₂ konsantrasyonunda artış eğilimini net bir şekilde göstermektedir. Bu artış, artan elektrik talebi, yaşlanan santraller ve düşük kaliteli kömür kullanımı ile ilişkilendirilmektedir. Bu

bağlamda, Güney Afrika'nın yüksek güneşlenme seviyelerini kullanarak güneş enerjisi santralleri kurma potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.

Kopas vd. (2020), bu makale Hindistan'daki kömür yakıtlı termik santraller için hava kirliliğinin izlenmesi amaçlı bir çalışmadır. Yapılan çalışma sosyo-demografik yapı ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada görülen ilk haritada Hindistan üzerindeki kömür yakıtlı termik santraller güç kapasitelerine göre gösterilmiş daha sonraki harita üzerinde hava kirliliği ile ilişkilendirilmiştir. HYSPLIT Modeli ile 2013 senesine ait harita üzerinde kirliliğe sebep olan gazların hangisi olduğu kesin olarak bilinmemekle beraber buna neden olan en büyük etmen olarak yer ölçümleriyle elde edilen değerlerin güvenilir olmamasından kaynaklandığı söylenebilmektedir. Daha sonra kırsal ve kent yaşam alanları üzerinde hava kirliliğine ilişkin çıkarımlar yapılmış ardından okur-yazarlık, gelir varlıkları, sosyal sınıflar vs. gibi sosyo-demografik yapılar göz önünde bulundurularak NO₂ ve PM_{2.5} hava kirlleticileri için yapılan grafikler doğrultusunda en büyük hava kirleticilerinden olan SO₂'nin benzer eğilimlerde olduğu düşünülmektedir.

Ghannadi vd. (2021), bu makale çalışmasının amacı, İran'ın Arak şehrinde bulunan Shazand termik santrali ve çevresindeki hava kirliliğini Sentinel 5P TROPOMI cihazından alınan verilerle tespit etmek ve aynı zamanda bölge üzerinde hâkim güneybatı rüzgarları ve kirliliğin çevredeki yayılımını gösterebilmektir. Çalışma, Eylül 2018 ile Ekim 2021 arasındaki zaman dilimi içerisinde yapılmıştır. Yapılan çalışmada aylık rüzgar hızı değerleri ve SO₂ konsantrasyonunun aylık bazdaki sayısal verileri değerlendirilmiş, grafikler üzerinde gösterilmiştir. Daha sonra bu değerler sayesinde aralarındaki korelasyonlar belirlenmiştir.

Ergüler vd. (2021), bu araştırma makalesinde, termik santrallerin uzun vadeli etkisini belirlemek amacıyla Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santralleri ile çevresini kapsayan uydu görüntüleri, ERDAS IMAGINE v9.1 ve PCI Geomatica 2017 yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Bitki alanlarındaki değişim yön diyagramına aktarılarak hâkim rüzgâr yönü yön diyagramı ile benzerlikleri tespit edilmiştir. Hâkim rüzgar etki alanı, her iki santral için de yarıçapın 4 km olduğu ve bu durumun literatürde linyit termik santralleri için belirtilen yarıçap aralığında kaldığı tespit edilmiştir.

Atbinici (2022), Güneydoğu Anadolu Bölgesi (GAB) olarak bilinen Türkiye'nin en hızlı gelişmekte olan bölgesi olan Siirt, Şanlıurfa, Mardin, Şırnak, Kilis, Batman, Diyarbakır, Adıyaman, Gaziantep ve Şanlıurfa, 2010 yılında kömür kullanımı, nüfus ve taşıt sayısı ile 2020 yılında ısınma amaçlı doğalgaz kullanımına geçmesinin PM₁₀ ve SO₂ hava kalitesi arasındaki ilişki, GIS-IDW haritalama yöntemi kullanılarak hem zamansal hem de konumsal olarak analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

Değer (2022), TROPOMI SO₂ Seviye 2 verilerini kullanarak Türkiye'nin hava kalitesini ve termik santrallerin etkisini incelemiştir. Veriler, Phyton programlama dili ile işlenip kalite kriterlerine göre filtrelenmiş, ardından 1 km × 1 km ızgara çözünürlüğü kullanılarak mekansal ortalama hesaplamaları yapılmıştır. SO₂ verileri, enerji santrallerinin konumlarına 10 km mesafede alansal olarak eşleştirilerek aylık ortalama SO₂ kolon konsantrasyonları elde edilmiştir. Ayrıca, farklı aşırı örnekleme

çapları kullanılarak en iyi sonuçları veren 10 km yarıçaplı aşırı örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Kömürlü termik santrallerin ve jeotermal santrallerin kirlilik düzeylerini temsil etmek amacıyla bu veriler kullanılarak Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki SO₂ konsantrasyonları incelenmiştir. Uydu gözlemleri ve yer ölçümleri karşılaştırılarak hava kalitesi ölçüm istasyonları ile TROPOMI enstrümanının performansı değerlendirilmiştir. Termik santrallerin günlük SO₂ yer ölçümleri, uydu gözlemleri ve toplam elektrik üretimi arasındaki ilişkiler değerlendirilerek, geçici olarak kapatılan santrallerin etkisi analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde termik ve jeotermal santrallerin, SO₂ kirliliğine katkısının mevsimsel ve alan bazında nasıl dağıldığı ortaya konulmuş, uydu gözlemleri ile yer ölçümleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve termik santrallerin etkisinin özellikle hava kalitesi ölçüm istasyonlarının yakınında daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

Çakmak (2022), bu tez çalışmasında, Marmara Bölgesi'ndeki illerin 2019 ve 2022 yılları arasında hava kirliliğindeki SO₂, NO₂ ve CO kirletici gazlarının değişimini incelemektedir. TC Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait hava kalitesi izleme portalından elde edilen saatlik veriler, istasyonlar ve ölçüm parametreleri seçilerek ilgili tarih aralığında Microsoft Excel'e aktarılmıştır. Marmara Bölgesi'ndeki illerin aylık ve yıllık SO₂, NO₂ ve CO gaz oranları da hesaplanmıştır. Ek olarak, Yalova, son dört yılda kirletici gaz seviyeleri göz önüne alındığında NO₂ ve SO₂ gazlarının en yüksek seviyelerini yaşamıştır. İstanbul, CO gazının en yüksek seviyede olduğu il. Kırklareli, Bilecik ve Edirne, NO₂, CO ve SO₂ kirletici gazların en az yoğun olduğu illerdir. 2019-2022 yılları için Marmara Bölgesi'ndeki gaz istasyonları ve SO₂, NO₂ ve CO kirletici gaz oranları ArcGIS Pro yazılım ortamına aktarılmıştır. Kriging enterpolasyon raster haritaları oluşturuldu. ArcGIS Pro yazılımı ortamına aktarılan Sentinel 5P TROPOMI uydusundan alınan raster haritalar ve Kriging enterpolasyonu raster haritalar karşılaştırılarak korelasyon istatistiği incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu tez çalışması kendi içinde belirli aşamalardan oluşmaktadır. Öncelikle yedi adet termik santralin bulunduğu konumlar Google Earth üzerinden tespit edilerek ArcMap ortamında “Türkiye Mülki ve İdari Sınırları” altlığının üzerinden işaretlenmiştir. İşaretlenen bu noktalar bizlere termik santralin tam konumunu göstermektedir ve oluşturulacak çalışma alanları için merkez kabul edilecektir. Termik santralin hava kalitesine etkisini, çevre ilçelere ve bölgelere göre yayılımını daha iyi anlayabilmek ve görselleştirebilmek için yüzölçümleri 2560 km² ile 4280 km² arasında değişen dairesel çalışma alanları oluşturulmuştur.

Daha sonra oluşturulan çalışma alanları Google Earth Engine ortamına aktarılarak bu ortamdaki işlemlere geçilmiştir. Google Earth Engine halihazırda Sentinel-5P TROPOMI verilerini direkt olarak kullanabildiği için Java Script yazılım dilinde hazırlanmış gerekli kodlar Google Earth Engine ara yüzüne aktarılır. Burada termik santral çevresine ait hava kalitesini belirleyebilmek için azot dioksit (NO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve karbonmonoksit (CO) parametrelerine bakılmıştır. Yapılan çalışma için izleme aralığı olarak 2019, 2020, 2021 ve 2022 yılları ayrı ayrı ele alınmıştır. Hava kalitesinin detaylı bir şekilde değerlendirilebilmesi için dört yıllık süreçte her termik santral için aylık gaz grafikleri ve aynı parametrelere ait birer yıllık haritaları oluşturulmuştur. Bu sayede grafikler üzerinden sayısal değerler okunabilmekte ve haritalar üzerinden değerlendirmeye alınan parametreler görsel olarak yorumlanabilmektedir. Elde edilen her parametre için yıllık grafikler Excel’de tablo haline getirilmiş ve her bir parametre için yıllık grafikler dört yılı kapsayacak şekilde tek bir grafik üzerinde toplanmıştır.

Google Earth Engine platformunda oluşturulan haritalar ise .tif formatında ArcMap ara yüzüne dışa aktarılmıştır. Bu aşamada da haritalar belli bir çerçeve içerisinde düzenlenmiş, gerekli lejant, kuzey oku, başlık ve biçimlendirmeleri yapılarak uygun harita formatına getirilmiştir.

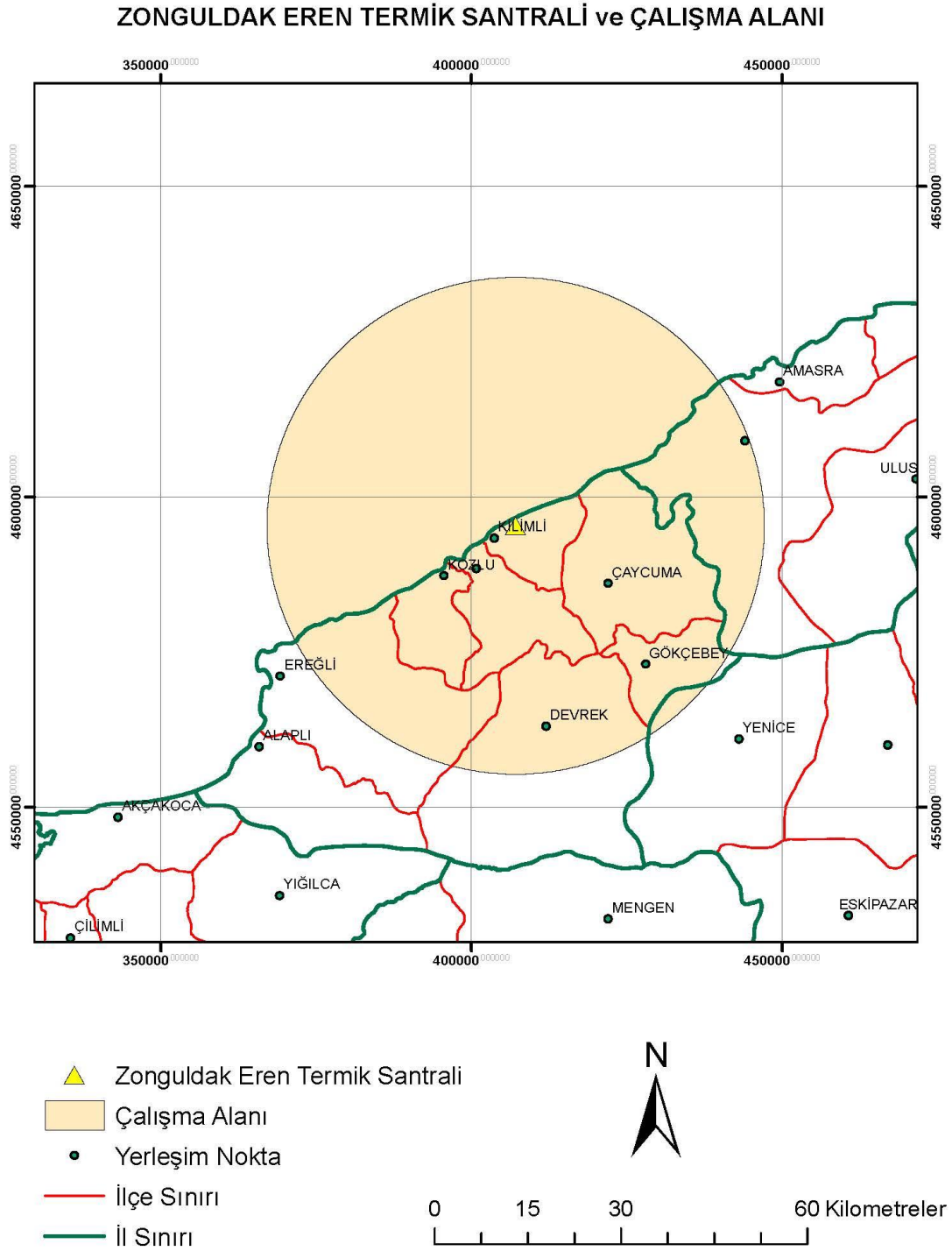
Sentinel 5P TROPOMI uydu verileri kullanılarak termik santrallerdeki hava kalitesini belirlemeye ilişkin NO₂, SO₂ ve CO gazlarının verileri kullanılmıştır. Ancak termik santraller ve çevrelerindeki hava kalitesinin belirlenmesi için PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri de belirleyici rol oynamaktadır. Sentinel 5P TROPOMI uydu verilerinden bu gaz değerlerine ilişkin bilgiler elde edilemediğinden bu iki parametre değerleri yerel istasyon verileri kullanılarak ölçülmüş ve değerlendirmeye alınmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın Hava Kalite İndeksi belirlemek için oluşturduğu Sürekli İzleme Merkezi (SİM)’nden her bir termik santral için santrale en yakın istasyondan alınan günlük PM_{2.5} ve PM₁₀ verileri kullanılarak 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait her parametre için birer yıllık grafikler oluşturulmuştur. Ardından oluşturulan grafikler kendi içlerinde gösterdikleri dönemsel eğilimlere göre değerlendirmeye alınmış olup, haritalar üzerinden yıllık bazda değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

3.1 Çalışma Alanları

Türkiye’de bulunan 53 termik santralden toplam kurulu güç toplamlarının yaklaşık %52’lik kısmını oluşturan 7 büyük termik santral ve çevresi yapılan bu tez çalışmasının konusu olmuştur. Aşağıdaki alt başlıklarda bu 7 termik santral ve özellikleri yer almaktadır. Bunlardan ilki ve kurulu gücü en büyük olan Zonguldak Eren Termik Santrali’dir.

3.1.1 Zonguldak Eren Termik Santrali

Zonguldak Eren Termik Santrali, 2010 yılında kurulmuş olup toplamda 2790 MW kurulu güce sahiptir. Santralde 1 adet 160 MW akışkan yatak teknolojisine sahip ünite ile 2 adet 615 MW Süper Kritik Pulverize Kömürlü ve 2 adet 700 MW Süper Kritik Pulverize Kömürlü Santral bulunmaktadır. Santralde tüketilen kömürün büyük çoğunluğu Kolombiya’dan temin edilmektedir. Kömürün ithal edildiği diğer ülkeler ise Güney Afrika, Rusya ve ABD şeklinde sıralanmaktadır. İthal edilen ülkelerin tercihinde; kömürün temin edilebilirliği (stok güvenliği), kazan değerlerine uygunluğu ve fiyatı belirleyici kriterlerdir. Kolombiya kömürünün aranan kıstaslar açısından diğer kömürlere göre oldukça avantajlı olduğu ifade edilmektedir (Çelikoğlu, 2016). Santral Zonguldak şehir merkezine 17 km, Kilimli şehir merkezine ise yaklaşık 7 km mesafedir. Kasım 2017-Mart 2018 arasındaki zaman diliminde 4 farklı noktadan yapılan ölçümlerde toz konsantrasyon limit değerlerinin aşıldığı gözlemlenmiştir. Özellikle Çatalağzı ve Kilimli ilçelerini etkileyen hava kirliliğinin, sanayi ve taşıt trafiğinin yoğunlukta olmadığı bölgeler olduğu düşünüldüğünde bu bölgedeki hava kirliliğinin sebebi olarak çevrede bulunan termik santraller olduğu öngörülmüştür. Hava kalitesi belirleme amaçlı yapılan bu çalışmada ise Eren Termik Santrali’ni merkez kabul ederek oluşturmuş olduğumuz dairesel çalışma alanının çapı 80 km’dir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1 Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali ve Çalışma Alanı.

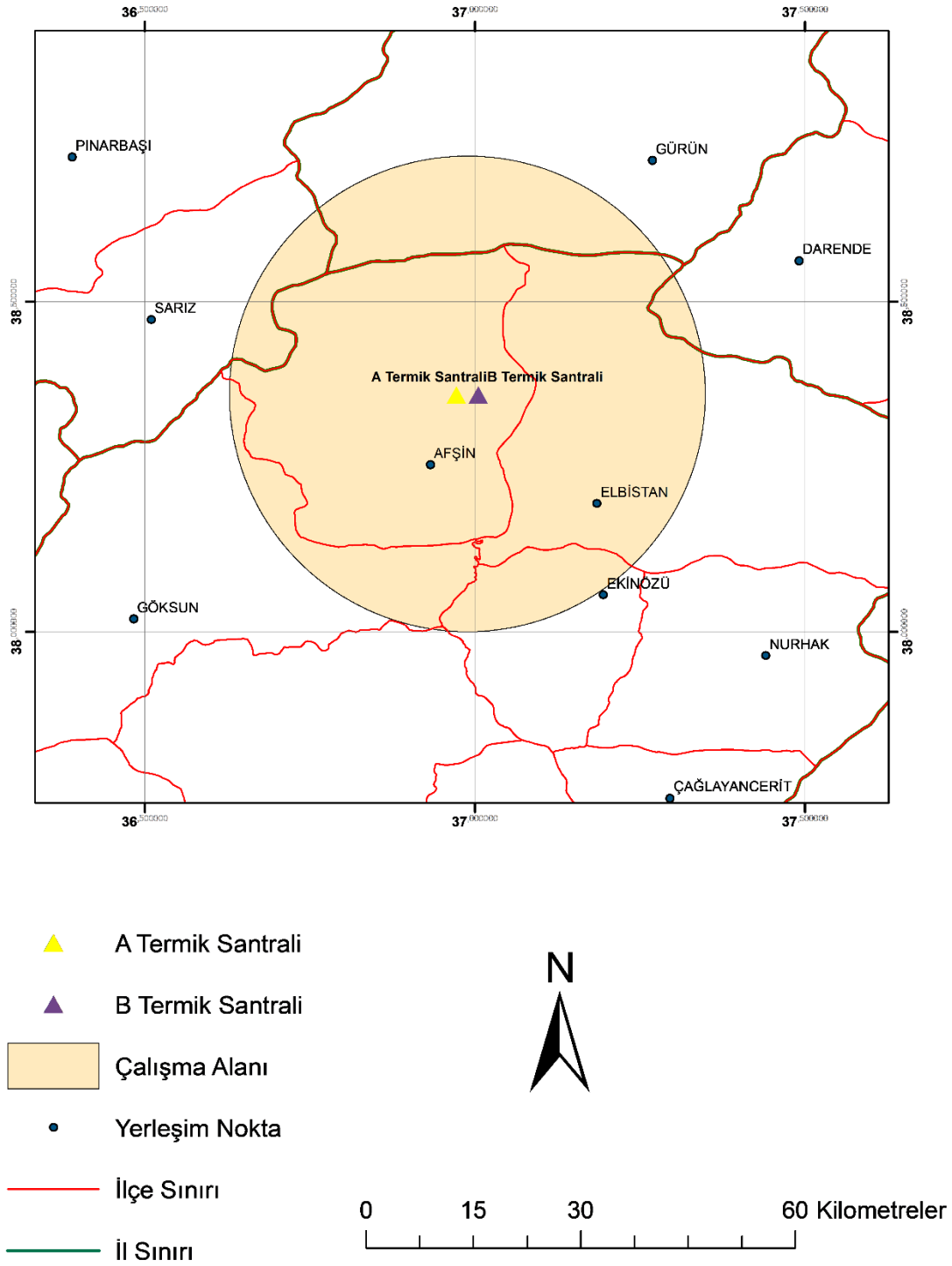


Şekil 3.2 Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali.

3.1.2 Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri

Kurulu gücü en yüksek ikinci ve üçüncü termik santraller ise Afşin-Elbistan A ve B termik santralleridir. Aynı bölgede kurulmuş olan santrallerden ilki A termik santrali olup 1984 yılında faaliyetine başlamıştır. B termik santrali ise yıllık ortalama elektrik üretimi diğerinden fazla olup 2004 senesinde faaliyete geçmiştir. Düşük maliyetli ve ısı değeri düşük, içerisinde bulunan kül ve nem miktarı fazla, en düşük kalite olarak kabul edilen linyit kömürü tercih edilmiştir. 2014 yılında yapılan bir araştırmaya göre; Kömür arama faaliyetleri nedeniyle Afşin-Elbistan bölgesinin mevcut rezervi şu anda 4,8 milyar ton seviyesinde bulunmuştur. Ülkenin linyit rezervinin üçte birine sahip olan Afşin Elbistan sahasının sadece onda biri kullanılmaktadır. Bugüne kadar A ve B santrallerinde 405 milyon ton kömür yakılmıştır. 173,3 milyon mega-watt saat (MWh) elektrik üretimi karşılığında atmosfere 200 milyon ton karbondioksit göndererek iklim değişikliğini hızlandırmıştır. (Algedik, 2015). Bu çalışmada hava kalitesini belirlemek amacıyla Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri merkez kabul edilerek oluşturulmuş dairesel çalışma alanının çapı 80 km'dir.

AFŞİN-ELBİSTAN A-B TERMİK SANTRALİ ve ÇALIŞMA ALANI



Şekil 3.3 Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri ve Çalışma Alanı.



Şekil 3.4 Afşin-Elbistan B Termik Santrali.

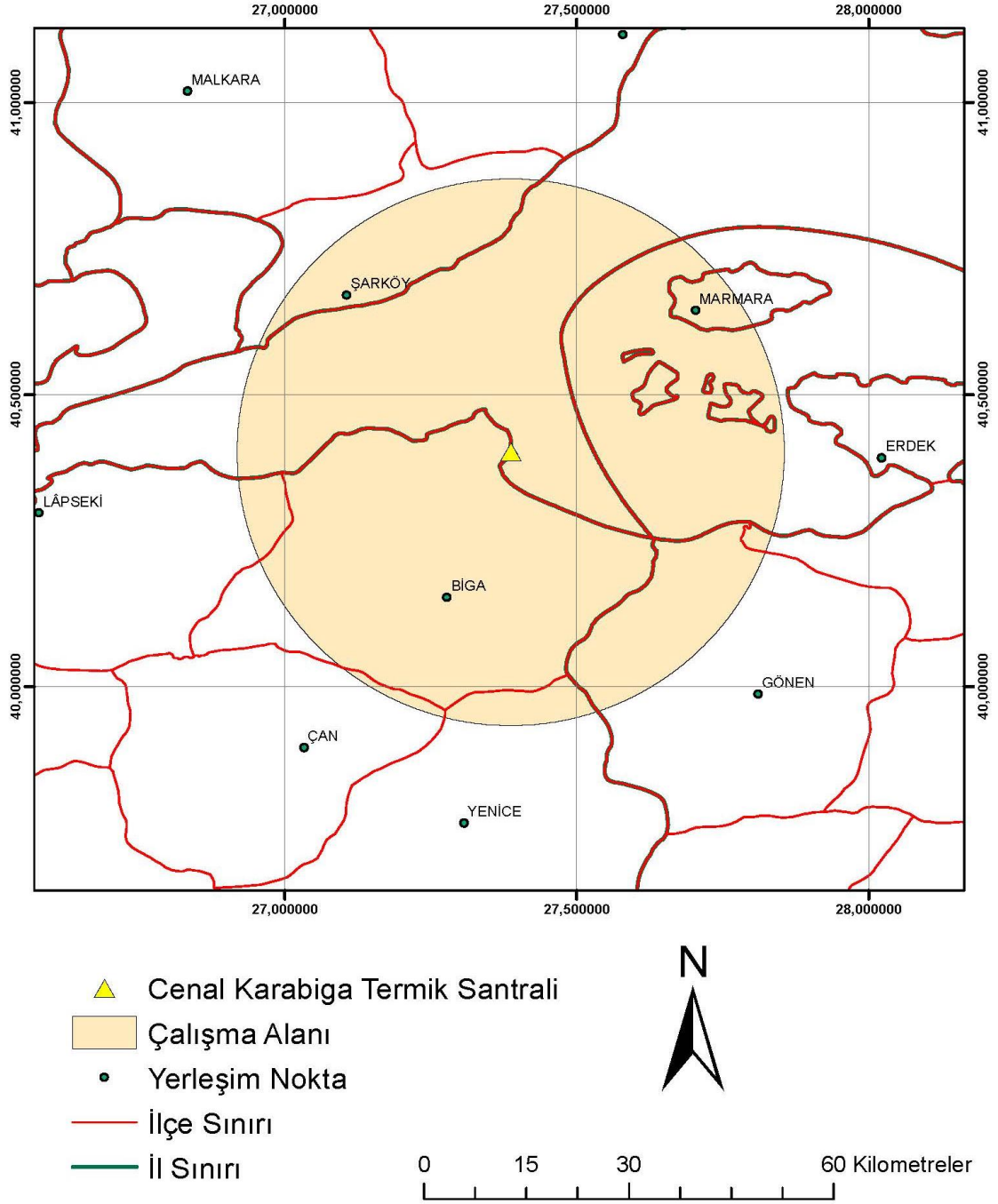


Şekil 3.5 Afşin-Elbistan A Termik Santrali.

3.1.3 Cenal Karabiga Termik Santrali

Cenal Karabiga termik santrali Çanakkale'nin Biga ilçesinde yer alan ve Türkiye'nin en büyük ikinci ithal kömürle çalışan termik santrali olup ayrıca Çanakkale'deki en büyük termik santral olarak bilinmektedir. 2017 yılında faaliyete geçen santral 1320 MW gücüyle çalışmaktadır. 2012 yılında Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Olumlu Kararı alınmış ancak 2014 yılında yapılan başka bir değerlendirmede; termik santral ile konutlara yeterli uzaklığın sağlanamaması, tarım arazileri, doğal bitki örtüsü ve zeytinliklere olası etkilerinin tam anlamıyla zararlarının belirlenememesi, kül depolama alanlarının ve ana ünitelerinden çıkacak salınımların iyi değerlendirilememesi hususlarındaki uyuşmazlıklar, kazı, dolgu, nakliye ve kömür depolama faaliyetleri esnasındaki toz salınımlarıyla ilgili sorunlardan ötürü olumlu kararı reddedilmiştir ve yatırım faaliyetlerine ara verilmek zorunda kalınmıştır. 2016 senesinde başka bir dava ile bozma kararı gelmiş faaliyete geçilmiştir. Daha sonra 2018 senesinde birtakım kuruluşların açtığı dava neticesinde "Olumlu Kararı" iptal edilmiştir. Faaliyete geçmemesi gereken santral halen çalışmakta olup çevreye vermiş olduğu zararlı etkilerini beraberinde sürdürmektedir. Aşağıdaki haritada, bahsedilen termik santralin çevresindeki ilçelere ve yaşam alanlarına vermiş olduğu hava kirliliğini araştırmak amacıyla oluşturulmuş bir çalışma alanı görülmektedir. Cenal Karabiga Termik Santrali merkez alınarak oluşturulan dairesel alanın çapı 80 km'dir.

CENAL KARABİGA TERMİK SANTRALİ ve ÇALIŞMA ALANI



Şekil 3.6 Cenal Karabiga Termik Santrali ve Çalışma Alanı.



Şekil 3.7 Cenal Karabiga Termik Santrali.

3.1.4 İskenderun Sugözü Termik Santrali

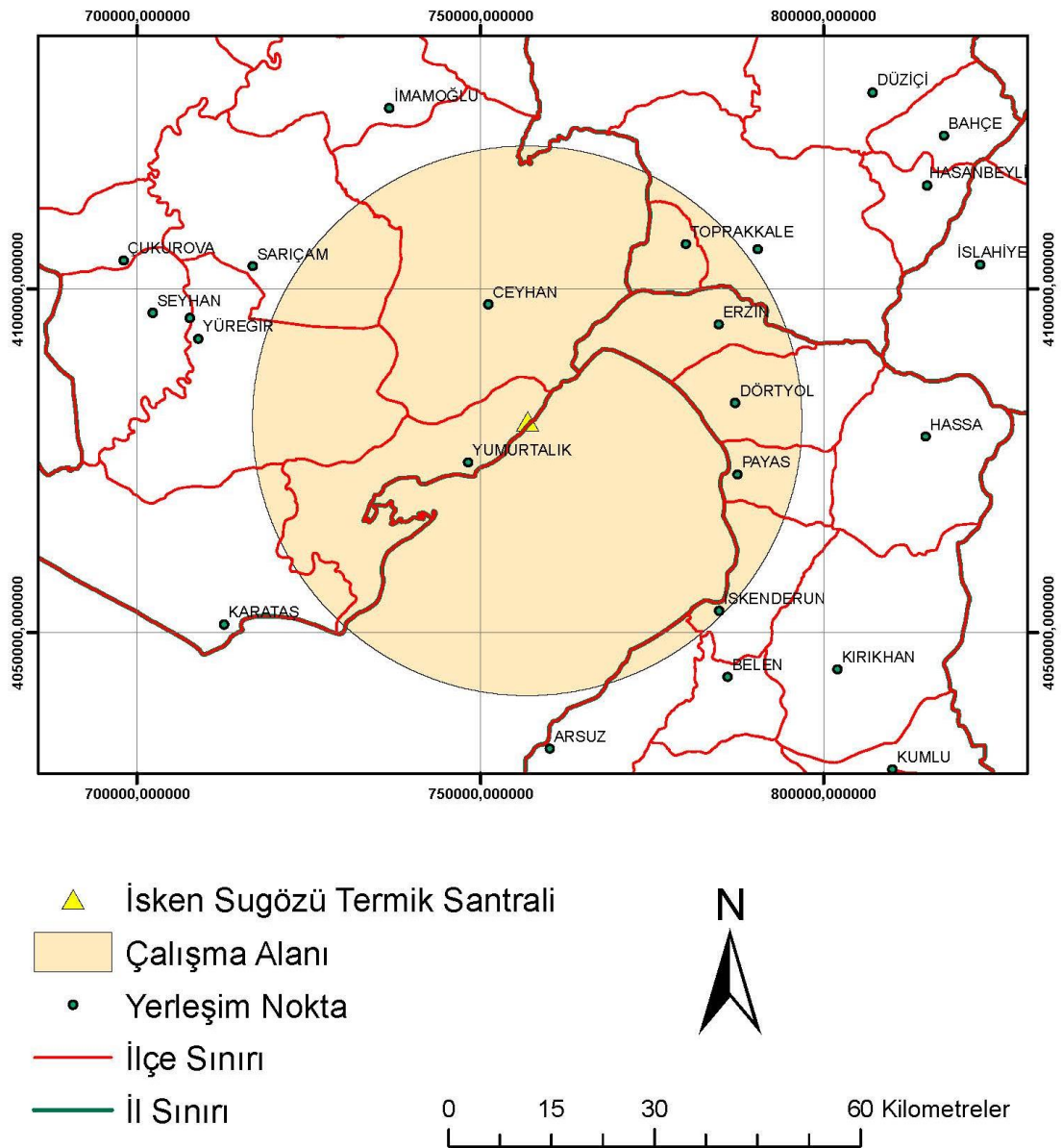
2004 yılında faaliyete geçen, Yumurtalık ilçesinin Sugözü köyünde kurulan İskenderun Enerji Üretim ve Ticaret AŞ) Sugözü Termik Santrali 1308 MW gücünde çalışmaktadır ve Türkiye'deki toplam elektrik gereksiniminin %4'lük kısmını karşılamaktadır. %49'luk kısmı Türk, %51'lik kısmı Almanlara ait olan şirket altyapı ve teknoloji anlamında destek aldığı bir Türk şirket ile santrali işletmeye başlamıştır. Aslında santral Çukurova Bölgesi'nin narenciye zengini bir bölgesine kurulmasından ve Kolombiya'dan ithal edilen kül, kükürt ve karbon oranı tam belirlenmemiş ve bununla birlikte kömürün kalitesi tam bilinmeyen bir yakıtın kullanılması sebepleriyle çevrede birtakım tepkilere neden olmuştur. Elde edilen külün çimento sanayiinde kullanılmak üzere satılması haberleri tam olarak gerçeği yansıtmamakla beraber oluşacak küllerin rüzgarın etkin olduğu bölgelerde dağılarak çevredeki doğal yaşama zarar vereceği açıkça görülmektedir.

İskenderun ve çevresinde bulunan termik santrallerin (İskenderun Sugözü dahil) termik santral deşarj suyu dökü noktalarından 1982-2015 yılları arası zaman dilimindeki deniz suyu sıcaklık değişiminin araştırılarak 2071-2100 arasındaki periyotta değişimi tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada DSYS (Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığı) uydu verileri ile araştırılmıştır. Tez kapsamında İskenderun Körfezi'nde (1982-2015) periyodu için İskenderun Sugözü Termik Santrali'nde 1.6 C. İskenderun Demir Çelik Santrali'nde yaklaşık 1.6 C. Atlas Termik Santrali'nde 1.5 C ve Erzin Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali'nde 1.6 C DSYS artışı bulunmuştur. Çalışmalar arasında bulunan farklılıkların kullanılan veri seti ve çalışma periyoduna bağlı olduğu düşünülmektedir (Güçel, 2018). Bu çalışmaya

göre İskenderun Körfezi'nin 2071-2100 periyodundaki muhtemel değişimi 4.5 C olacağı düşünülmektedir.

Yapılan araştırma ve çalışmalardan yola çıkılarak diğer termik santraller gibi İskenderun Sugözü Termik Santrali'nin de çevreye gerek hava gerekse su kirleticileri olarak temas ettiği görülmektedir ve bu etki ilerleyen periyodlarda da devam edecektir. Aşağıda oluşturulmuş İskenderun Sugözü Termik Santrali merkez kabul edilen çalışma alanı İskenderun Körfezi'nin de belli bir bölümünü içerisinde bulundurmaktadır. Diğer 7 termik santralde olduğu gibi bu çalışma sahasında hava kirleticisi emisyonları araştırılacaktır. Araştırma yapılacak dairesel alanın merkezi İskenderun Sugözü Termik Santrali kabul edilmiş ve çapı 80 km olarak belirlenmiştir.

İSKEN SUGÖZÜ TERMİK SANTRALİ ve ÇALIŞMA ALANI



Şekil 3.8 İskenderun Sugözü Termik Santrali ve Çalışma Alanı.

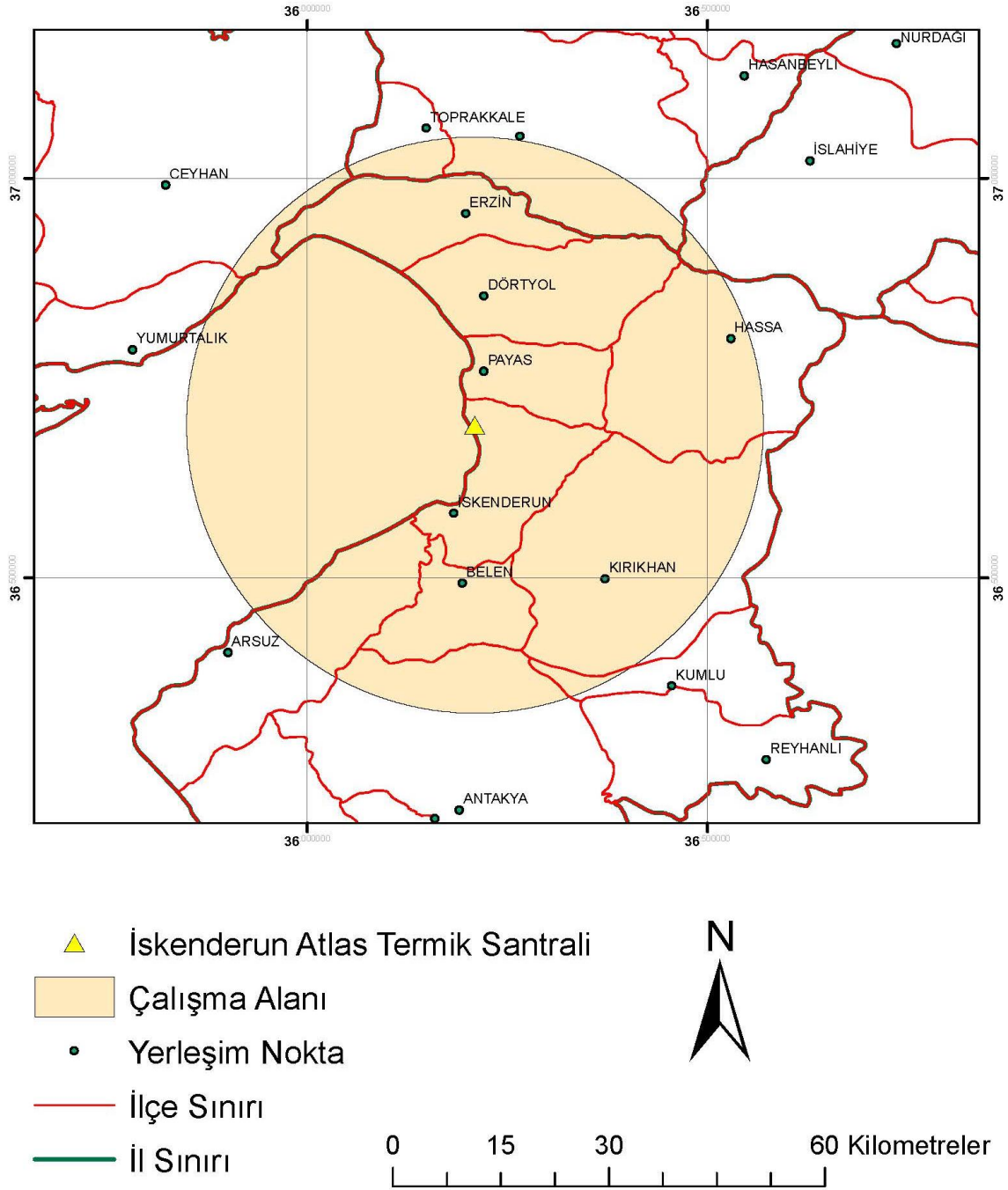


Şekil 3.9 İskenderun Sugözü Termik Santrali.

3.1.5 İskenderun Atlas Termik Santrali

Ülkemizdeki termik santral yatırımlarının daha çok deniz kıyısında bulunan şehirlere yapıldığı görülmektedir. Bunların başında gelen şehirlerden bir tanesi ise İskenderun'dur. 2014 yılında faaliyete geçen ve 1260 MW kurulu gücünde olan İskenderun Atlas Termik Santrali Türkiye'nin 6, Hatay'ın ise en büyük termik santralidir. Santral ithal kömürle çalışmaktadır. Bölgesel olarak değerlendirildiğinde Hatay ili ve İskenderun Körfezi çevresinde hava kalitesini düşüren emisyonların santralin çalışması sonucu salgılanması büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Aşağıda belirtilen çalışma alanı Hatay ilini ve İskenderun Körfezi'nin belli bir kısmını içerisine almaktadır. İskenderun Atlas Termik Santrali merkez alınarak oluşturulan dairesel çalışma alanının çapı 80 km'dir.

İSKENDERUN ATLAS TERMİK SANTRALİ ve ÇALIŞMA ALANI



Şekil 3.10 İskenderun Atlas Termik Santrali ve Çalışma Alanı.



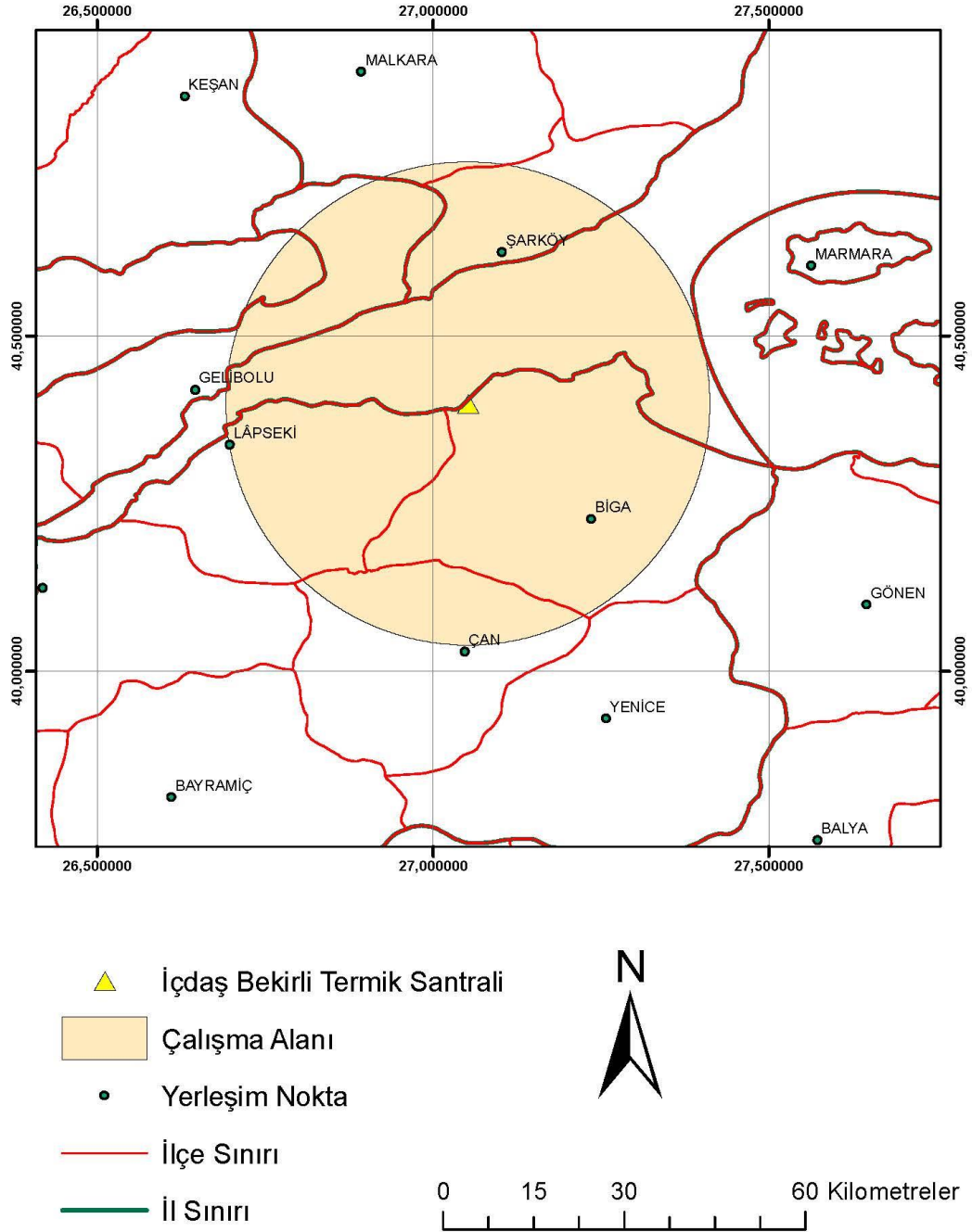
Şekil 3.11 İskenderun Atlas Termik Santrali.

3.1.6 İçdaş Bekirli Termik Santrali

Çanakkale'nin Biga ilçesinde bulunan İçdaş Bekirli Termik Santrali, 2011 yılında tesisin 600 MW gücündeki ilk işletmesinin çalışmaya başlamasıyla faaliyete geçmiştir. Ardından 2013 senesinde 600 MW'lık ikinci işletmenin de devreye girmesiyle beraber toplam kurulu gücü 1200 MW'a ulaşmıştır. Böylelikle termik santral ülkenin elektrik ihtiyacının %4,2'lik kısmı sağlanmış olacaktır. Santralin Trakya Bölgesi'ndeki elektrik ihtiyacına büyük anlamda faydalı olacağı düşünüldükçe faaliyetine başlanmıştır. Termik santral ithal kömür ile çalışmaktadır.

2020 yılında TMMOB –Çevre Mühendisleri Odası'nın düzenlemiş olduğu raporda PM kirleticisi emisyonu baz alınarak termik santraller için yapılan araştırma sonucu İçdaş Bekirli Termik Santrali 6, SO₂ kirleticisi emisyonu baz alındığında 7 ve NO₂ baz alındığında 9 sırada yerini almıştır (TMMOB,2020). Yapılan bu çalışmada da hava kirleticisi emisyonlardan olan NO₂, SO₂, CO parametreleri Sentinel 5P uydu verilerinden, PM_{2,5} ve PM₁₀ değerleri ise yersel istasyonlardan alınan veriler ile değerlendirmeye alınacaktır. Aşağıdaki haritada gösterilen çalışma alanı, İçdaş Bekirli Termik Santrali'ni merkez kabul ederek çevre ilçe ve yerleşim noktalarının hava kalitesini göstermek üzere oluşturulmuştur ve oluşturulan dairesel çalışma alanının çapı 80 km'dir.

İÇDAŞ BEKİRLİ TERMİK SANTRALİ ve ÇALIŞMA ALANI



Şekil 3.12 İçdaş Bekirli Termik Santrali ve Çalışma Alanı.



Şekil 3.13 İçdaş Bekirli Termik Santrali.

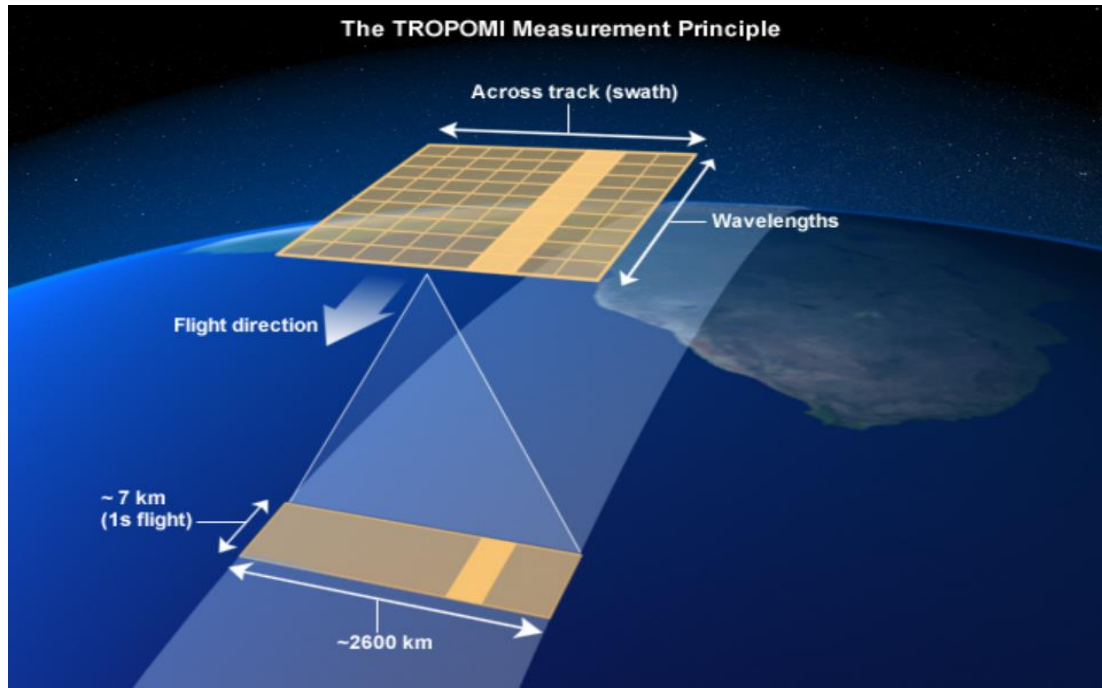
3.2. Verilerin Toplanması

Hava kalitesinin doğru bir şekilde ölçülmesi ve izlenmesi soluduğumuz havanın iyileştirilebilmesi için çok önemlidir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından fırlatılan Sentinel-5P uydusu küresel ölçekte hava kalitesinin izlenebilmesini sağlamaktadır. 13 Ekim 2017’de fırlatılan uydudan ilk NO₂ verileri 10 Temmuz 2018 tarihinde alınmaya başlamıştır. Fırlatıldıktan sonraki kalibrasyon dönemlerinin tamamlanması üzerine 2019 yılından itibaren rutin operasyon aşamasına geçilmiştir. Bunun üzerine hava kalitesi belirlemeye ve analizine yönelik çalışmalar Sentinel 5P- TROPOMI cihazından alınan veriler ile ivmelenmiştir. Çünkü daha önce fırlatılan OMI, Landsat-8 uyduları ve SCIAMACHY uydu enstrümanı başka görevlerinin yanı sıra hava kalitesinin belirlenebilmesine yönelik bilgilerin alınmasında rol oynasa da Sentinel 5-TROPOMI cihazından alınan veriler sadece hava kalitesini belirleyen gazlara ilişkin bilgi alınmasını sağlamaktadır. TROPOMI, dünya atmosferini günlük olarak 7 km x 3.5 km çözünürlükle haritalandırabilmekte, bu çözünürlük Ozone Monitoring Instrument’in (Theys vd., 2019) yeteneklerine göre 13 kat daha iyi bir performans sunmaktadır. Böylelikle yapılan çalışmalardan daha ayrıntılı bilgiler elde etmek mümkün olmaktadır.

Hava kirliliğinin belirlenebilmesi için metan (CH₄), ozon (O₃), nitrojen dioksit (NO₂), karbon monoksit (CO), sülfür dioksit (SO₂) ve formaldehit (HCHO) gibi kirletici maddelerin oranlarının tespit edilmesi gerekir ancak Sentinel-5P uydusu bu ürünleri doğrudan ölçemez. Onun için uydu üzerine yerleştirilen TROPOMI adı verilen 8 bantlı spektrometre cihazı ultraviyole, görünür, yakın ve kısa dalga boylu kızılötesi ışık spektrumunda ölçümler alır. Yardımcı girdi verileriyle (örneğin hava basıncı, kar /

buz maskeleri) kombinasyon halinde, her bir atmosferik gazın konsantrasyonu, ışığın belirli dalga boylarındaki soğurma özelliklerine dayalı olarak modellenir.

TROPOMI, yakın gerçek zamanlı (NRT), çevrimdışı (OFFL) ve yeniden işleme gibi üç farklı işleme yöntemi kullanarak birçok kirleticiyi görüntüleyebilir ve takip edebilir. NRT işleme için nesnelerin algılama sonrası 3 saat içinde kullanılabilir olması gerekmektedir, OFFL ve yeniden işleme için ise bu süre 12 saatten 5 güne kadar uzanmaktadır (Shikwambana vd., 2020). Bu çalışmada zaman serilerini oluşturabilmek ve belirli bir periyod için hava kalitesini belirleyen gazların verilerini süreç dahilinde alabilmek için OFFL işleme yönteminden alınan veriler ile çalışma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14 Sentinel 5P TROPOMI uydu ölçüm prensibi.

3.3 Yöntem

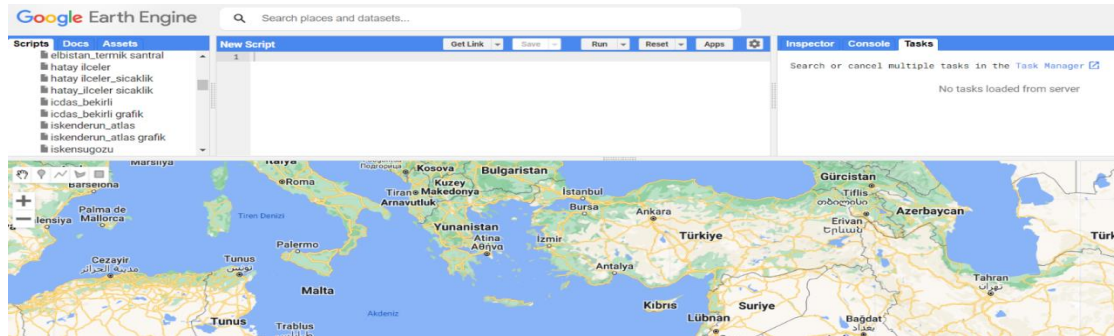
3.3.1 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE), büyük veri kümelerini işlemek ve analiz etmek amacıyla geliştirilmiş bir bulut tabanlı platformdur. GEE, Landsat, Sentinel, MODIS ve ASTER gibi uydulardan elde edilen verilere erişim sağlar ve kullanıcı dostu arayüzü ile veri ve algoritma geliştirmeyi kolaylaştırır. Ayrıca, GEE kullanıcılarına kendi veri koleksiyonlarını oluşturma ve yönetme imkanı sunar (Yılmaz ve Yıldız, 2022). Bulut tabanlı bu veri işleme platformunda daha önceden olduğu gibi verilerin bilgisayarlara indirilmesine gerek kalmaz ve çok geniş alanlara ait hesaplamalar belirli algoritmalar aracılığıyla çevrimiçi olarak gerçekleştirilir (Aghlmand vd., 2021).

GEE'nin etkisi, yer bilimi araştırmaları ve doğal afet yönetimi gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, GEE sayesinde kar-bulut hidro modeli geliştirilmiş ve bu model farklı coğrafyalarda kullanılarak kar örtüsü haritalamaları ve aylık akış tahminleri gerçekleştirilmiştir (Sproles vd., 2018). Ayrıca, GEE platformu sel önleme ve yanıt sistemlerinin tasarlanmasında etkili olmuş, farklı veri kaynaklarını entegre ederek sel olaylarının izlenmesi ve yönetilmesi sağlanmıştır (Liu vd., 2018). GEE'nin kuraklık tahminlerinde de kullanıldığı görülmüş, toprak nem verileri ve web tabanlı işleme araçları ile etkili tahminler yapılarak model başarılı bir şekilde test edilmiştir (Sazib vd., 2018). Bu örnekler, GEE'nin veri işleme ve analiz kabiliyetlerinin geniş bir yelpazede kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu platform, geniş alanlarda veya uzun zaman aralıklarında açık erişimli Dünya gözlem verilerini etkili bir şekilde işlemek amacıyla kullanılan değerli bir araçtır (Chen vd., 2021). CO gaz konsantrasyon değerleri Sentinel-5P kapsamında 22 Kasım 2018 tarihinden itibaren kullanılabilir durumdadır. GEE platformunda NO₂, yüksek çözünürlüklü çevrimdışı ve canlı görüntüler sağlayan Sentinel-5 ürünlerinden biri olarak kullanılmakta olup, bu verilere 7 Ekim 2018 tarihinden itibaren erişilebilir. SO₂ analizi için de GEE platformunda ürünler mevcuttur. GEE üzerinden erişilebilir SO₂ verileri 10 Temmuz 2018 tarihinden itibaren sunulmaktadır (Feizizadeh vd., 2021).

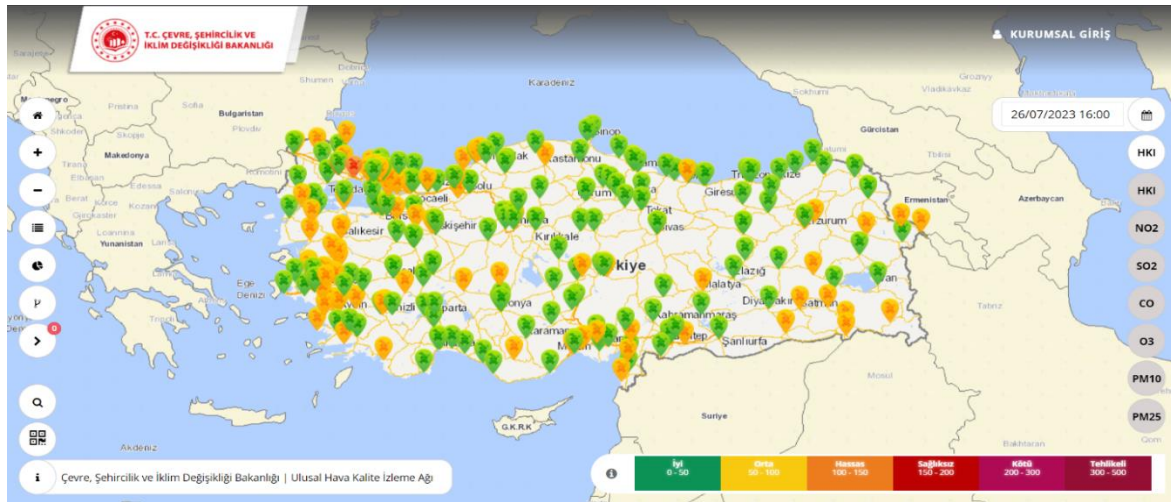
Sentinel-5P uydu görüntüleri bu çalışmada CO, NO₂ ve SO₂ verilerini elde etmek için seviye 2'den seviye 3'e dönüştürülerek ve ardından mekansal ve zamansal filtreler uygulanarak ilgili ürünlerin elde edilmesini sağlayan bir platformdur. Sonuçlar, yer tabanlı hava kirliliği istasyonlarından elde edilen saha verileriyle doğrulama yapılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.15 Google Earth Engine kod editörü arayüzü.

3.3.2 Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı

Ulusal Hava Kalitesi İndeksi (UHKİ), Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA)'nın geliştirdiği hava kalitesi indeksinin ulusal mevzuatımız ve sınır değerlerimize uyarlayarak oluşturulmuştur. 5 temel kirletici için hava kalitesi indeksi hesaplanmaktadır. Bunlar; PM, CO, SO₂, NO₂ ve O₃'tür. UHKİ değerleri, o ilin hava kalitesi hakkında genel bilgiler, hava kalitesinin düşük olması durumunda uyarı ve alınması gereken tedbirler www.havaizleme.gov.tr web sitesinde ayrıntılı olarak yayınlanmaktadır (Yasan, 2022).



Şekil 3.16 Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı Arayüzü.

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan Şekil 3.16'da gösterilen arayüzünden aşağıda listelenen istasyonlar aracılığı ile PM_{2.5} ve PM₁₀ kirletici emisyon değerleri alınmıştır.

- Zonguldak – Çatalağzı – Kuzkaya İstasyonu
- Kahramanmaraş – Elbistan İstasyonu
- Çanakkale – Biga İçdaş İstasyonu
- Hatay – İskenderun İstasyonu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Hava Kirletici Emisyon Haritaları

Zonguldak Eren Termik Santrali, Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri, Cenal Karabiga Termik Santrali, İsken Sugözü Termik Santrali, İskenderun Atlas Termik Santrali ve İçdaş Bekirli Termik Santrali merkezli çalışma bölgeleri için 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait Sentinel 5P uydu verileri kullanılarak yapılan hava kalitesi belirlemeye yönelik çalışmada CO, NO₂ ve SO₂ parametrelerinden yararlanılarak haritalar oluşturulmuştur. Aşağıda belirtilen alt başlıklarda her yıl için üç parametreye dayalı açıklamalar yapılmıştır.

4.1.1. Zonguldak Eren Termik Santrali Haritaları

Zonguldak Eren Termik Santrali merkez alınarak oluşturulan çalışma alanları için Sentinel 5P-TROPOMI cihazından alınan verilere dayalı hava kalitesi belirleme çalışmaları yapılmıştır ve karbonmonoksit (CO) gaz konsantrasyonu için 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait haritalar yukarıda verilmiştir. Yapılan çalışma sonucu ölçülen en düşük değerin 2022 yılında 0,0292 mol/m² en yüksek değerin ise 2021 yılında 0,0365 mol/m² olduğu göze çarpmaktadır. Haritalar görsel olarak incelendiğinde ve elde edilen veriler ile desteklendiğinde yoğunluğun termik santral çevresinde (kuzey bölümünde), Kozlu ilçesinde ve Çaycuma ilçesi sınırlarını da kapsayacak şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir.

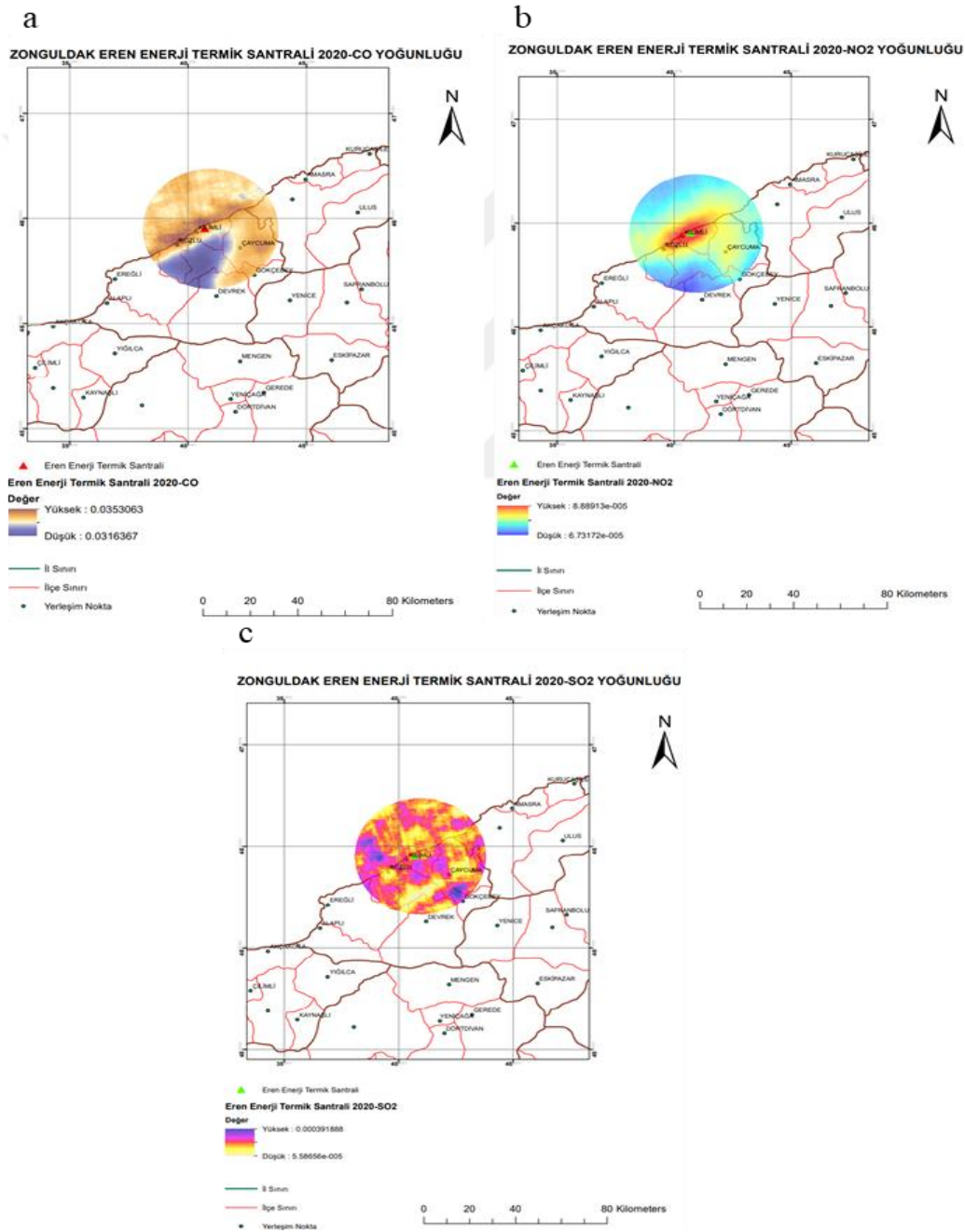
Kozlu ilçesinde Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı Kozlu Müessese Müdürlüğü bulunmaktadır. Çaycuma ilçesinde ise 1970 yılında açılan ve ülkemizin üçüncü büyük kağıt fabrikası olan Çaycuma Kağıt ve Selüloz Fabrikası, Filyos Ateş Tuğla Fabrikası gibi kamu yatırımlarının yanında, tuğla, kiremit, briket, kireç, kereste, kum-çakıl, un, yem, konserve, süt ürünleri fabrikaları da bulunmaktadır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı). Bu iki ilçedeki CO yoğunluğunun sebepleri olarak gösterilebilir.

Kilimli ilçesinde oluşan CO yoğunluğunun sebebi Zonguldak Eren Termik Santrali ve Çatalağzı Termik Santralleri olarak gösterilebilir. İthal kömür ile çalışan bu iki termik santralde CO yoğunluğunun temel sebebi kömürün tam yanmaması sonucu CO gazının ortaya çıkmasıdır.

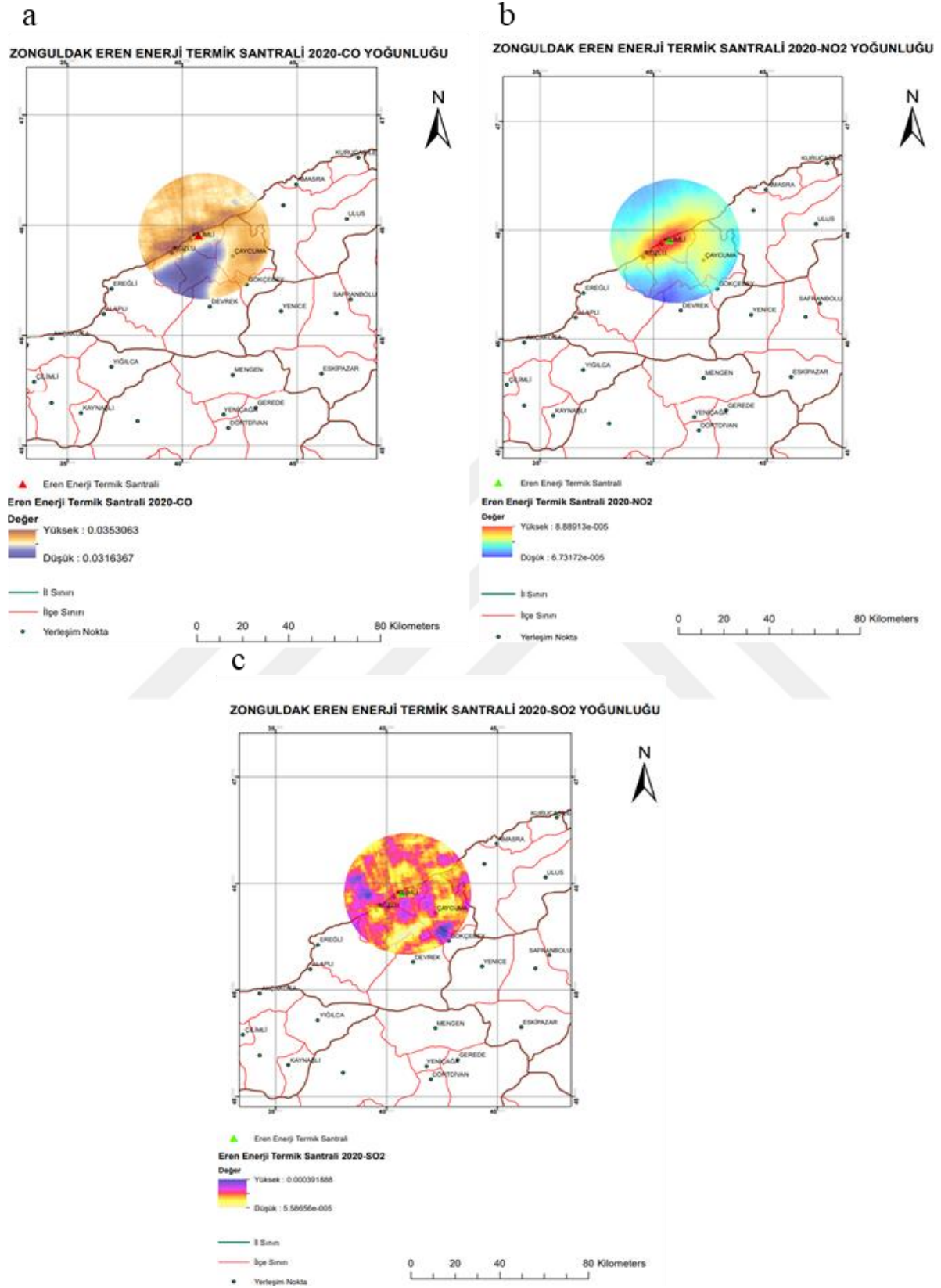
Aynı yıllar için NO₂ gaz konsantrasyonlarına ait haritalar incelendiğinde ise en düşük değerin 6.73172 e-5 mol/m² ile 2020 senesinde, en yüksek değerin ise 9.8481e-5 ile 2019 senesinde ölçüldüğü görülmüştür. Ayrıca en yüksek değerin en az olduğu senenin 2020 olduğu göze çarpmaktadır. 2020 yılının ilk yarısında hava kalitesinde iyileşme olmuştur. Kahramanmaraş, Kütahya ve Zonguldak illerinde Ocak ayında kapatılan kömürlü termik santrallerin ve Mart ayında COVID-19 salgını ile ilgili alınan tedbirler nedeniyle azalan trafik sonucu 5 büyükşehirde hava kalitesi iyileşmiştir. Fakat santrallerin tekrar açılması ve kaldırılan seyahat yasakları sonucunda artan hareketlilik nedeniyle

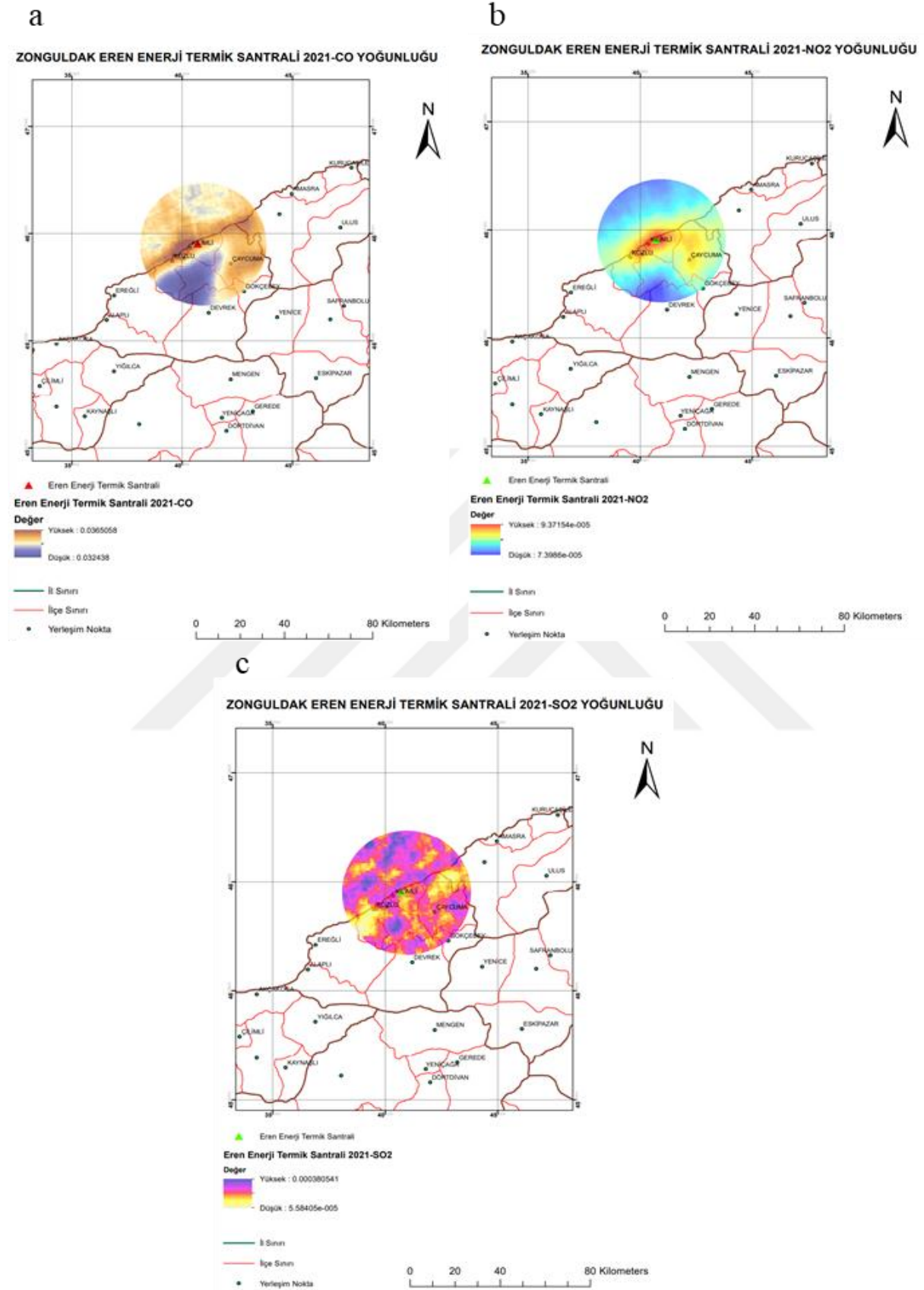
Haziran 2020’de hava kirliliği tekrar artmaya başlamıştır (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2020). Greenpeace tarafından oluşturulan rapora dayanarak 2020 yılında NO_2 gaz konsantrasyonundaki düşüşün temel sebebi, COVID-19 önlemleri kapsamında termik santralin çalışmasına ara vermesi olarak gösterilebilir.

Yine aynı yıllar için yapılan SO_2 gaz konsantrasyon değeri analizlerinde en düşük değerin 2022 yılında $4,39249\text{e-}005 \text{ mol/m}^2$, en yüksek değerin ise 2020 yılında $0,000391 \text{ mol/m}^2$ olduğu gözlemlenmiştir. Çoğu kükürt dioksit emisyonu, elektrik ve ulaşım için kömür, petrol veya gazın yakılmasından kaynaklanır; bu fosil yakıtlar, yakıldığında kükürt dioksit olarak yayılan kükürt içerir (Resource Watch, 2021).

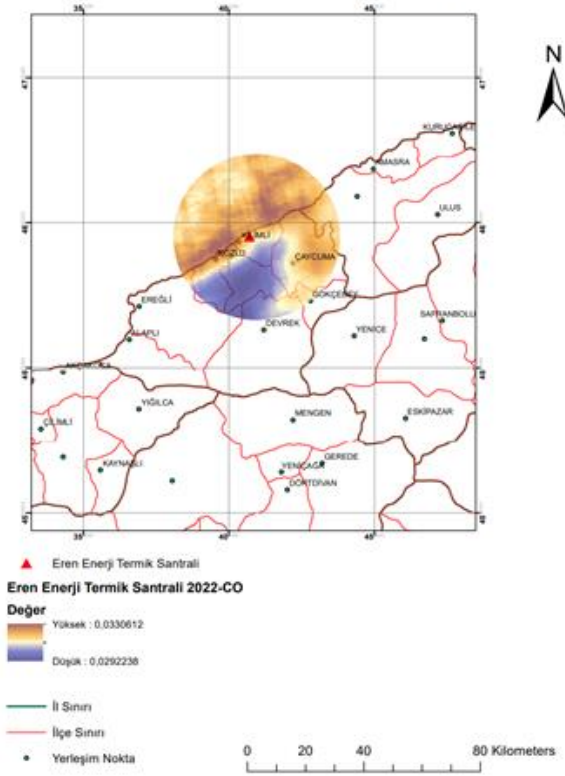


Şekil 4.1. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

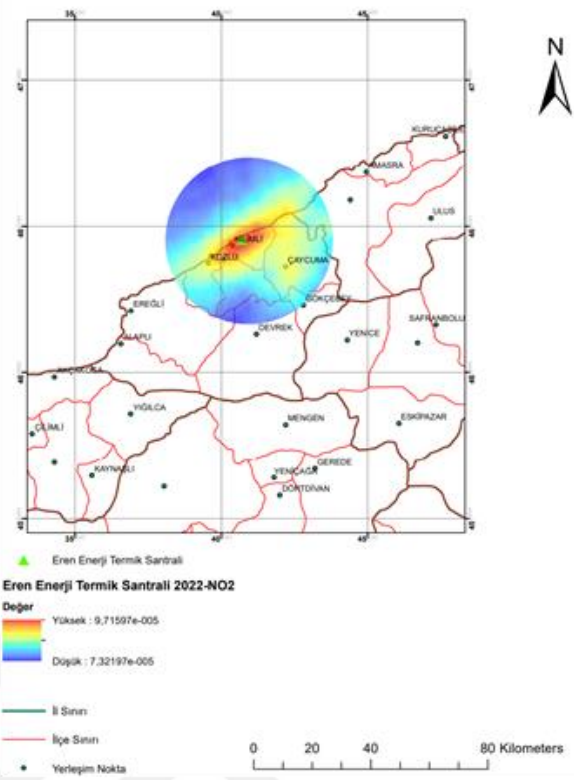




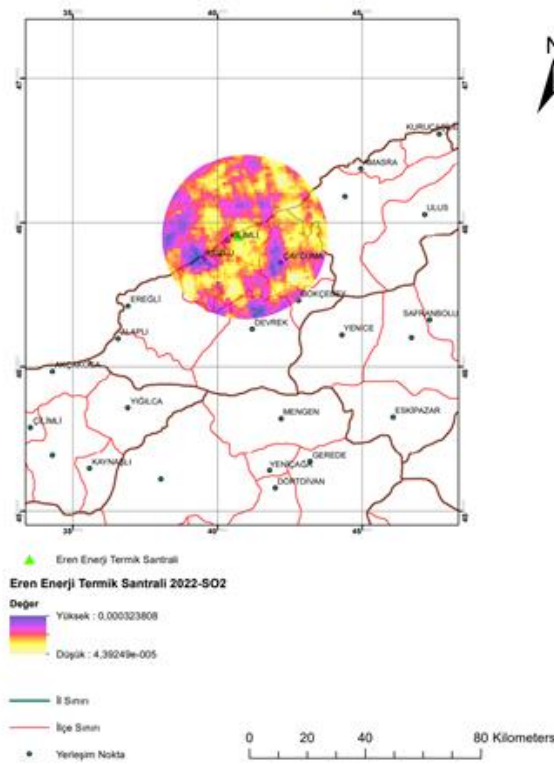
ZONGULDAK EREN ENERJİ TERMİK SANTRALİ 2022-CO YOĞUNLUĞU



ZONGULDAK EREN ENERJİ TERMİK SANTRALİ 2022-NO₂ YOĞUNLUĞU



ZONGULDAK EREN ENERJİ TERMİK SANTRALİ 2022-SO₂ YOĞUNLUĞU



Şekil 4.4. Zonguldak Eren Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

4.1.2. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri Haritaları

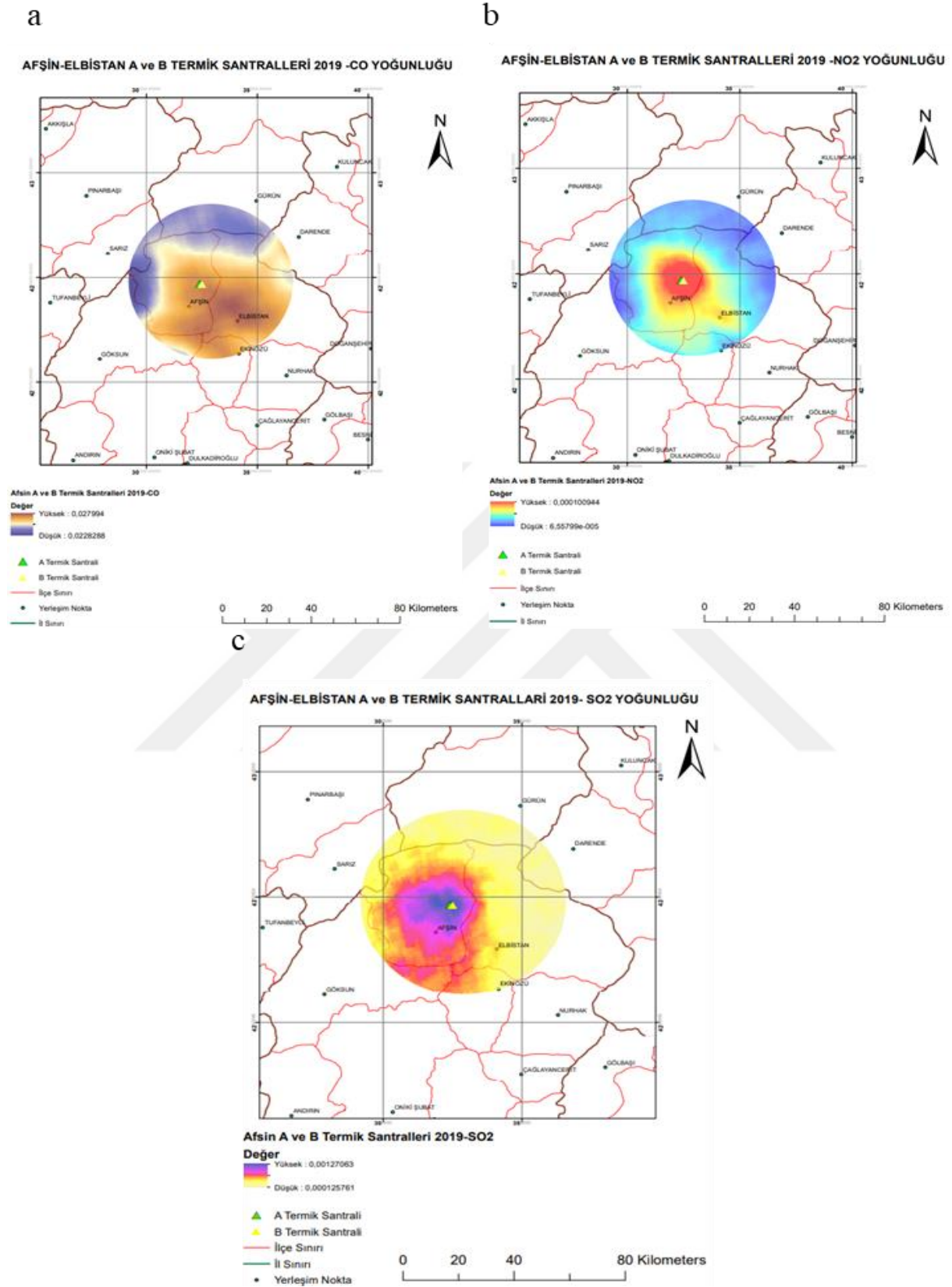
Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri merkez kabul edilerek oluşturulmuş çalışma alanları üzerinde yapılan haritalama çalışmalarında;

CO gaz konsantrasyonu analizleri yapıldığında en düşük değerin 2022 senesinde 0,0212 mol/m², en yüksek değerin ise 2021 senesinde 0,0292 mol/m² olduğu görülmüştür. Haritalar incelendiğinde, dört senelik değerlendirmede CO yoğunluğunun Afşin ve Elbistan ilçelerinde arttığı gözlemlenmiştir. Elbistan ilçesindeki yoğunluğun, ilçe merkezine 5 km uzaklıkta olan Organize Sanayi Bölgesi'nin etkili olması düşünülebilir. Afşin bölgesindeki yoğunluğun sebebinin o bölgede bulunan zengin linyit yatakları ve linyit kömürü ile çalışan A ve B termik santralleri olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle A Termik Santrali'nin 2020 yılında çalışmalara başlanan ancak 2021 yılında devreye alınan filtreleme ve baca arıtma sistemleri kirliliğin termik santral sebepli olduğunun bir kanıtıdır.

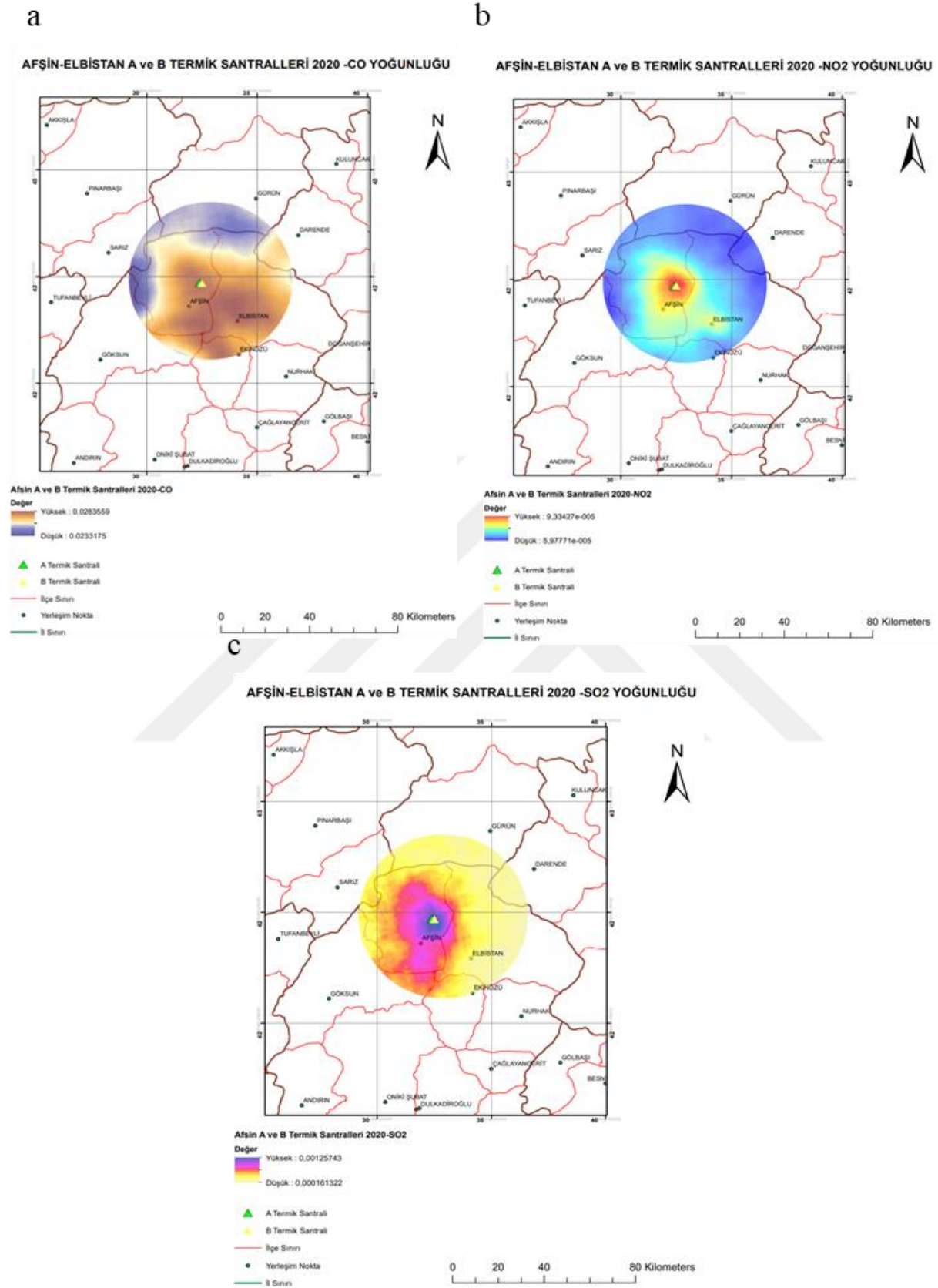
Haritalar incelendiğinde NO₂ gaz konsantrasyon yoğunluğunun en düşük olduğu senenin 2020 yılında 5,97771e-005 mol/m², en yüksek değerin ise 2022 senesinde 0,000125 mol/m² olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ölçülen en yüksek değerin en düşük olduğu senenin 2020 senesinde 9,33427e-005 olarak ölçülmüştür. 2020 senesi Covid-19 pandemisinin en yoğun yaşandığı bir senedir ve buna bağlı olarak çevrede bulunan bazı endüstriyel tesisler vardiyalı olarak çalışmıştır. A ve B Termik Santralleri için ise kapanma kararı alınmıştır. Daha öncesinde de 1 Ocak 2020 tarihinde filtreleme ve baca gazı arıtma sistemleri tam anlamıyla kurulamadığından geçici süre kapatılmıştır. Ardından A Termik Santrali için tamamen kapatılması kararı alınmıştır (2 ünitesi daha sonrasında faaliyetine devam etmiştir) ve faaliyetine ara veren B termik santrali, NO₂ seviyelerindeki düşüşün yaşanmasında etkili bir rol oynamıştır.

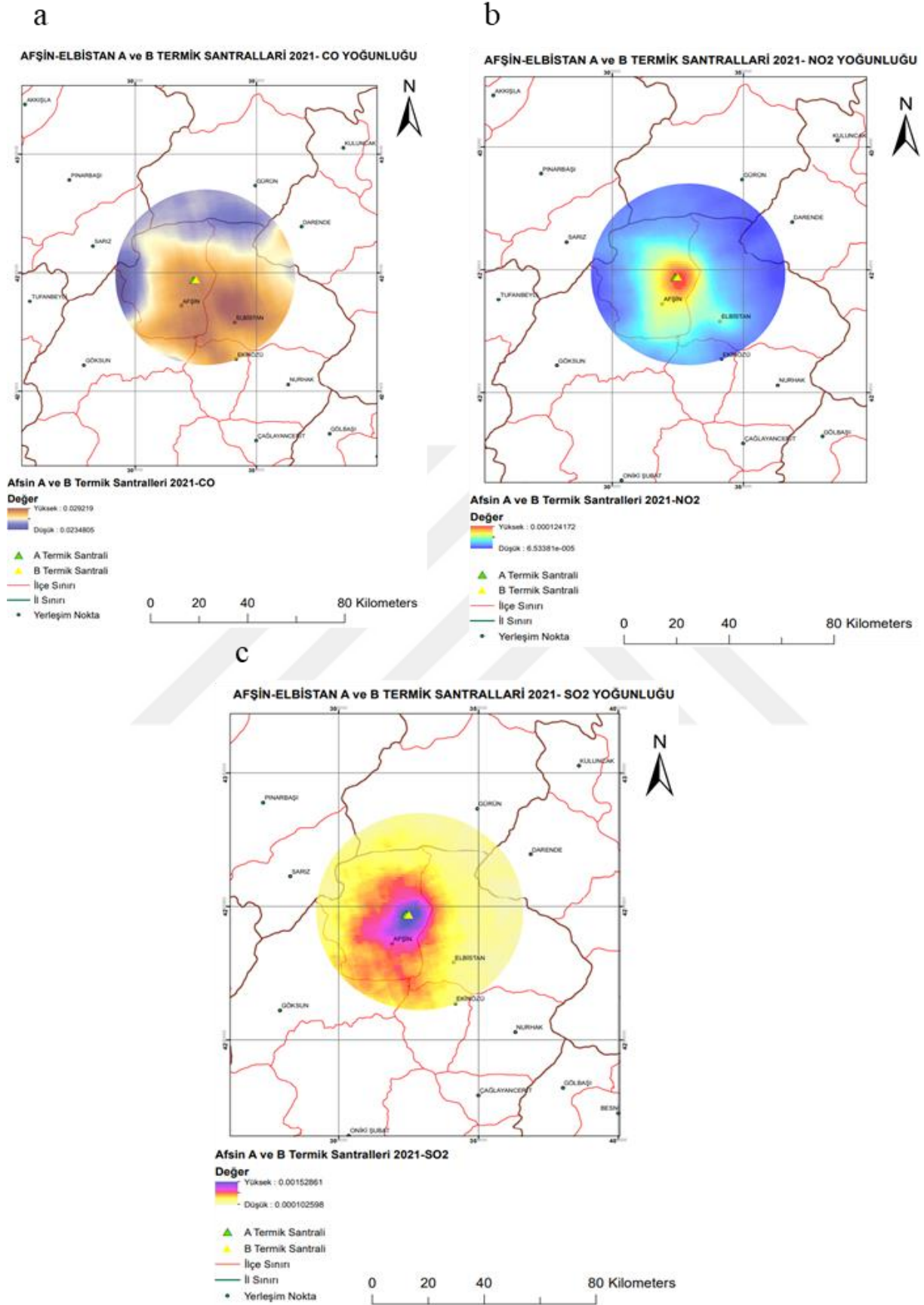
SO₂ gaz konsantrasyon değişimleri incelendiğinde en düşük seviyelerin 2021 yılında 0.0001025 mol/m², en yüksek seviyelerin 2022 senesinde 0,00152 mol/m² olduğu gözlemlenmiştir. SO₂ seviyelerinin termik santral çevresinde gözle görülür şekilde yoğun olmasının sebebi ise EMBER (Energy and Climate Intelligence Unit)'ın hazırlamış olduğu rapora göre termik santrallerin, baca gazı kükürt arıtma sistemine sahip olmaması (Independent, 2021). Bununla beraber Afşin-Elbistan Termik Santralleri linyit kömürü ile çalışan termik santrallerdir ve linyit kömürü kükürt oranı yüksek bir kömür çeşididir. Yanma esnasında oksijen (O₂) ile tepkimeye giren kükürt (S) reaksiyon sonucu SO₂ gazını oluşturur.

Türkiye'nin, kömür sahalarını yüksek karbon ekonomisine dönüştürme çabaları, elektrik üretiminden çok iklim değişikliğini hızlandırmıştır (Algedik, 2015).

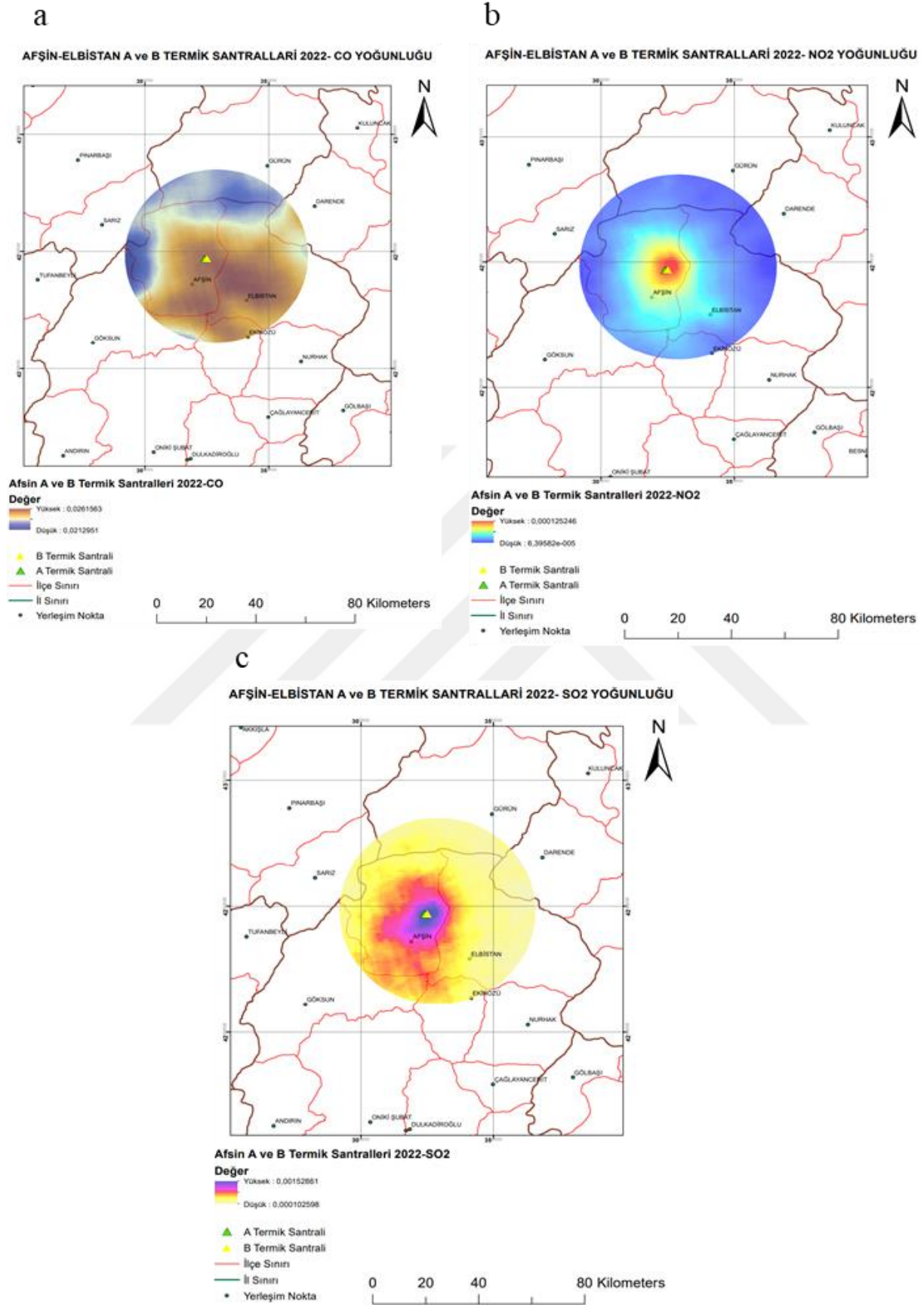


Şekil 4.5. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.





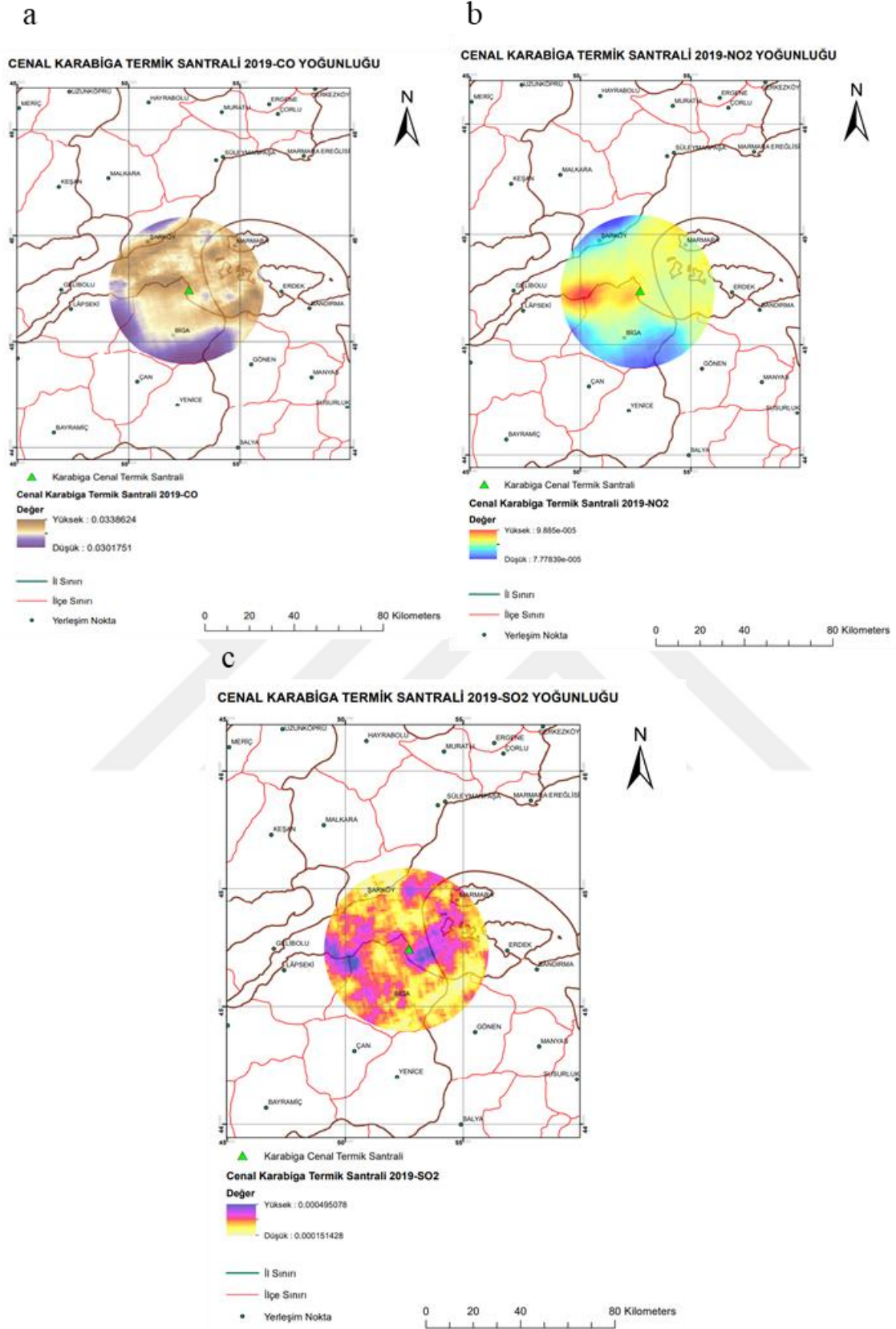
Şekil 4.7. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2021 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



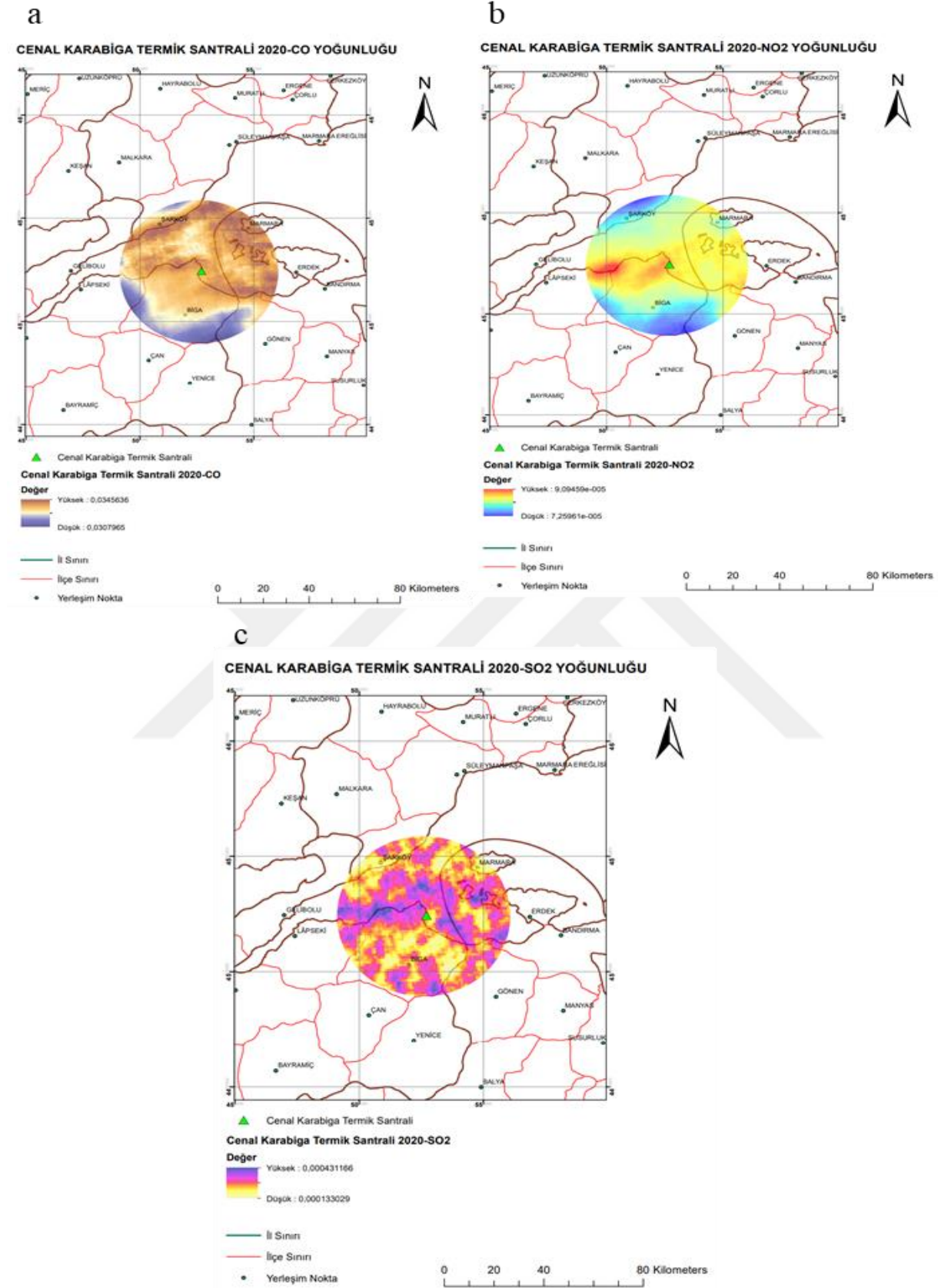
Şekil 4.8. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2022 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

4.1.3. Cenal Karabiga Termik Santrali Haritaları

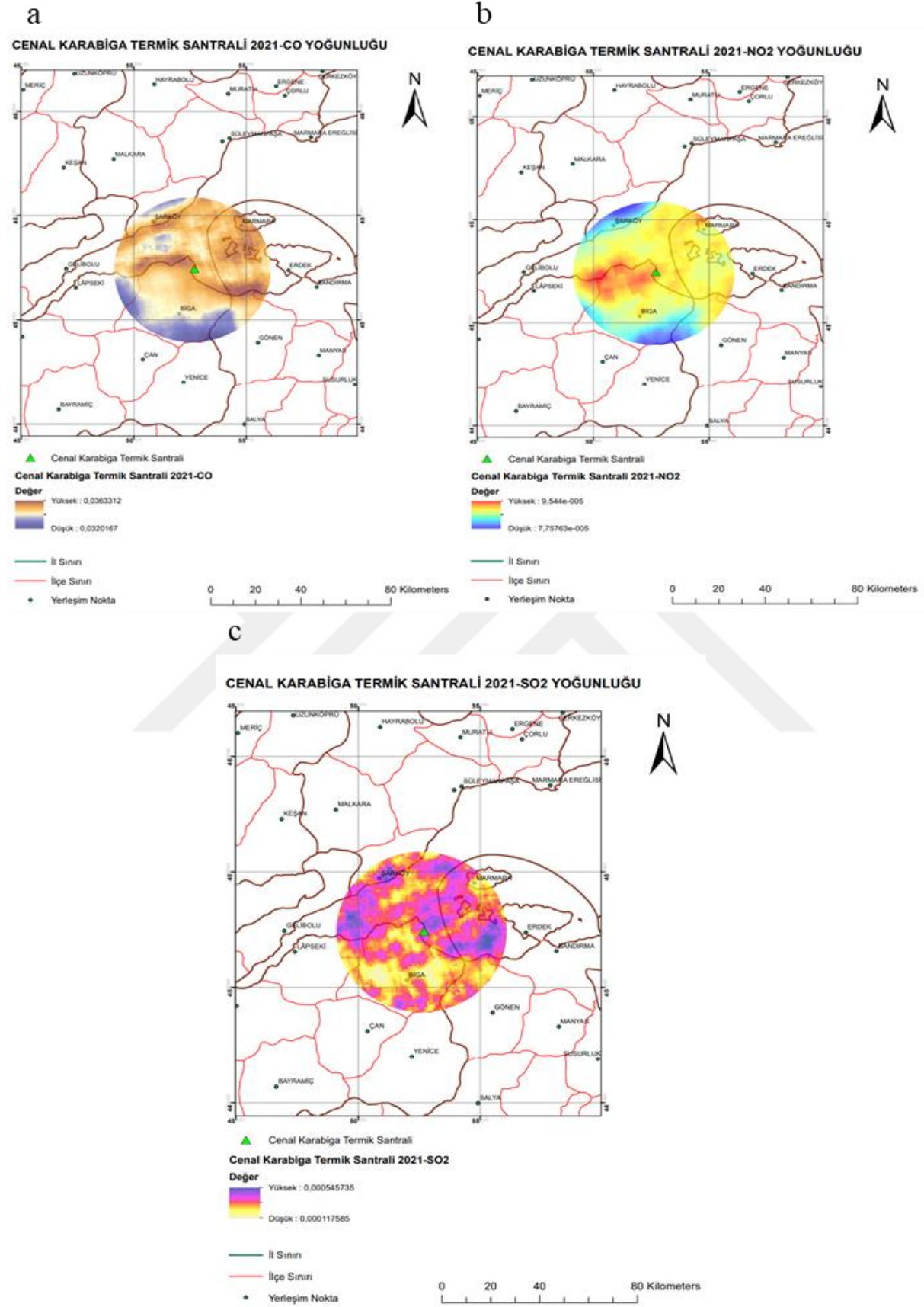
Çanakkale'nin Biga ilçesinde bulunan Cenal Karabiga Termik Santrali Türkiye'nin en büyük 2. ithal kömür yakıtlı termik santralidir. Bölgedeki çalışmalarımızla oluşturulan haritalar yukarıda verilmiştir. CO emisyonu için uydu haritaları incelendiğinde, en düşük değerin 2022 senesi Ekim ve Kasım aylarında $0,028 \text{ mol/m}^2$, en yüksek değerin ise 2020 senesi Nisan ayında $0,0395 \text{ mol/m}^2$ olduğu görülmüştür. 2019, 2020, 2021 ve 2022 yılları incelendiğinde, her yılın ilk 6 ayı yüksek konsantrasyon, ikinci 6 ayında ise düşük konsantrasyon olduğu gözlemlenmiştir. Bölgedeki düşük NO_2 ve SO_2 emisyonları da dikkat çekmektedir. Bahsedilen dört yıl boyunca izlenen NO_2 ve SO_2 gazlarının konsantrasyonları, her yılın Kasım ayında en yüksek olduğu görülmüştür. Haritalarda ise her yılın yıllık ortalama değerleri görünmektedir. Diğer santrallerde de olduğu gibi incelenen bu dört yıldaki en düşük değerler 2020 yılında karşımıza çıkmıştır. COVID-19 pandemisinin etkilerini bu haritalardan da görmek mümkündür.

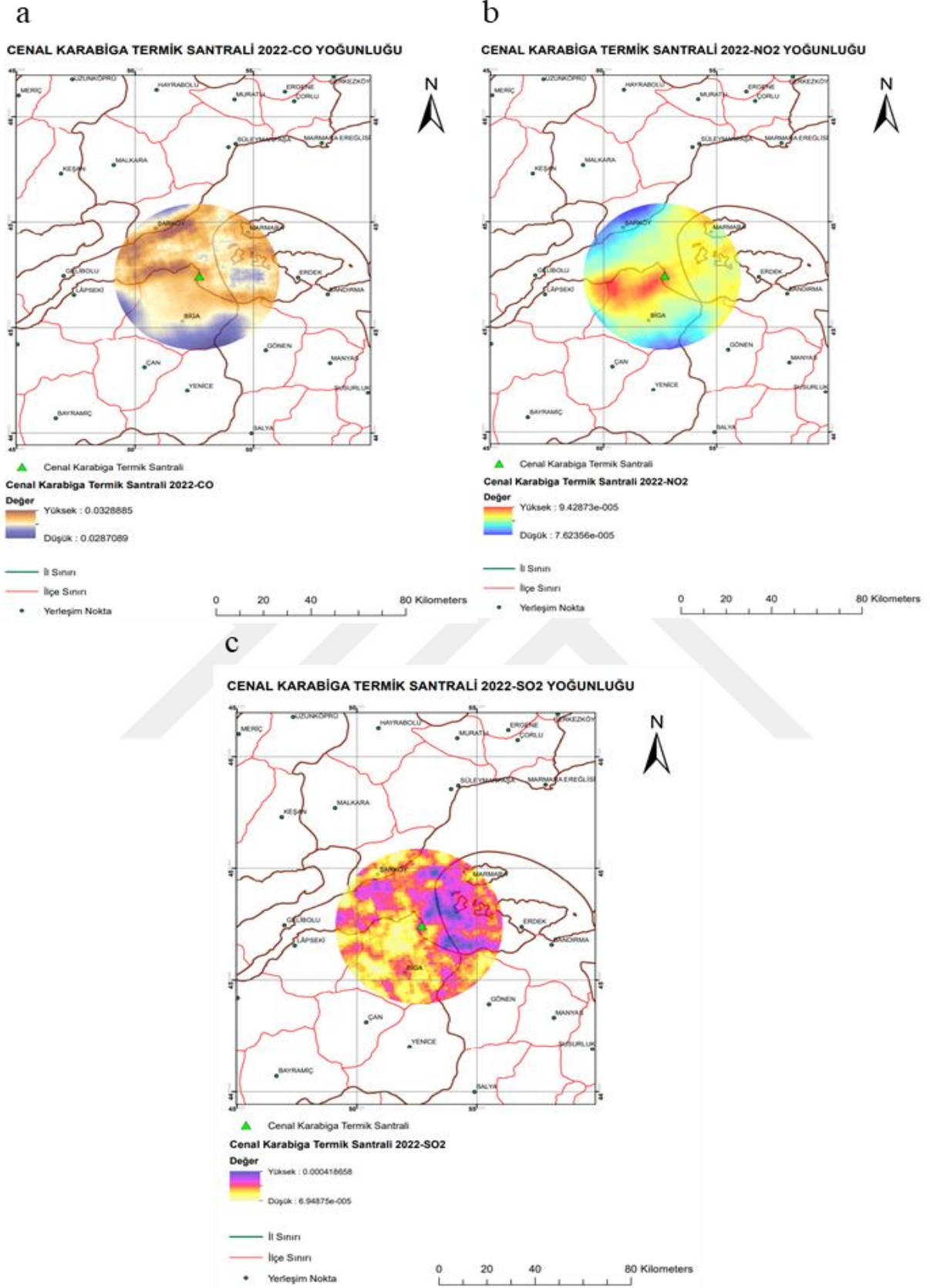


Şekil 4.9. Cenal Karabığa Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.10. Cenal Karabiga Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

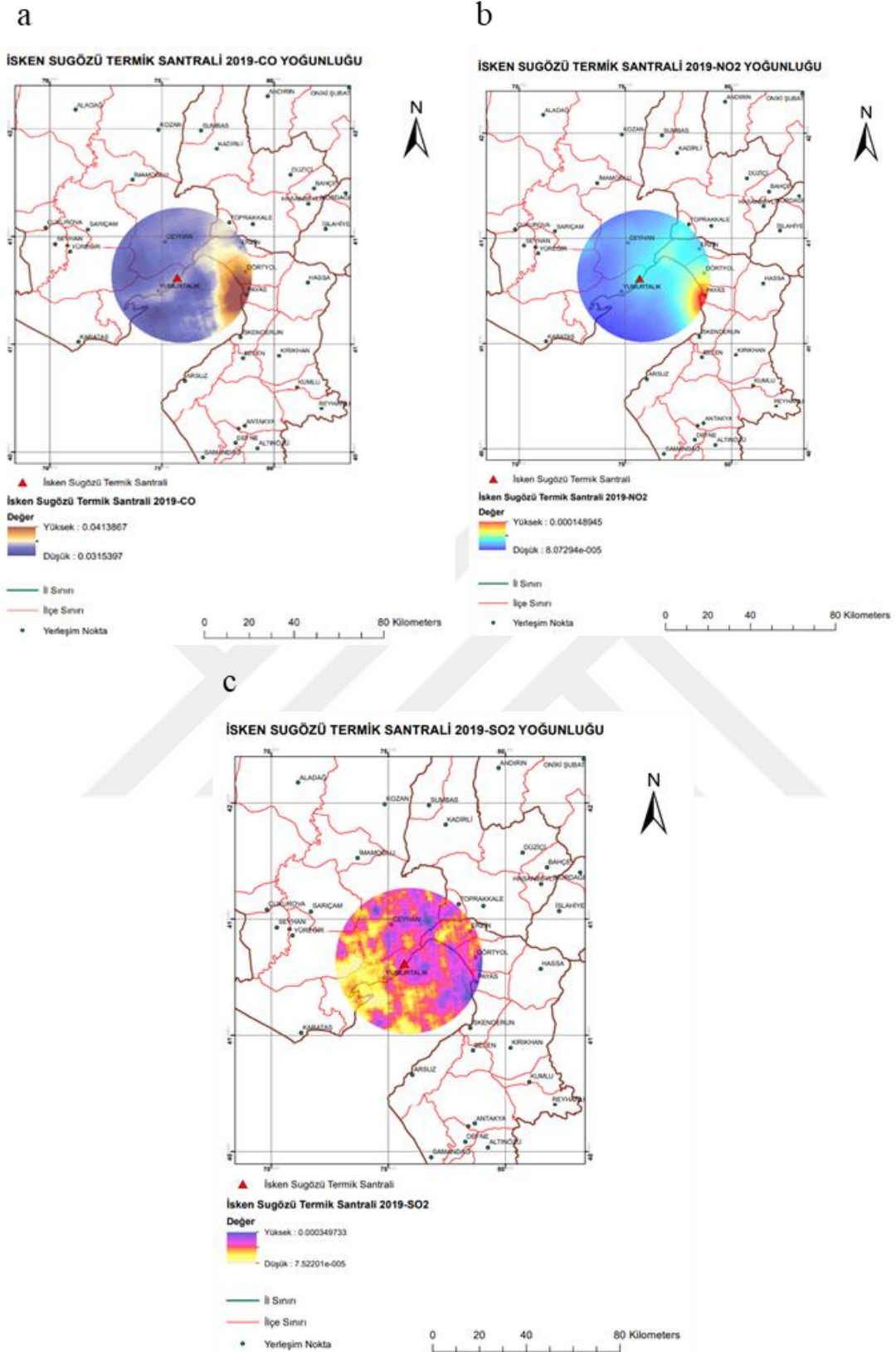




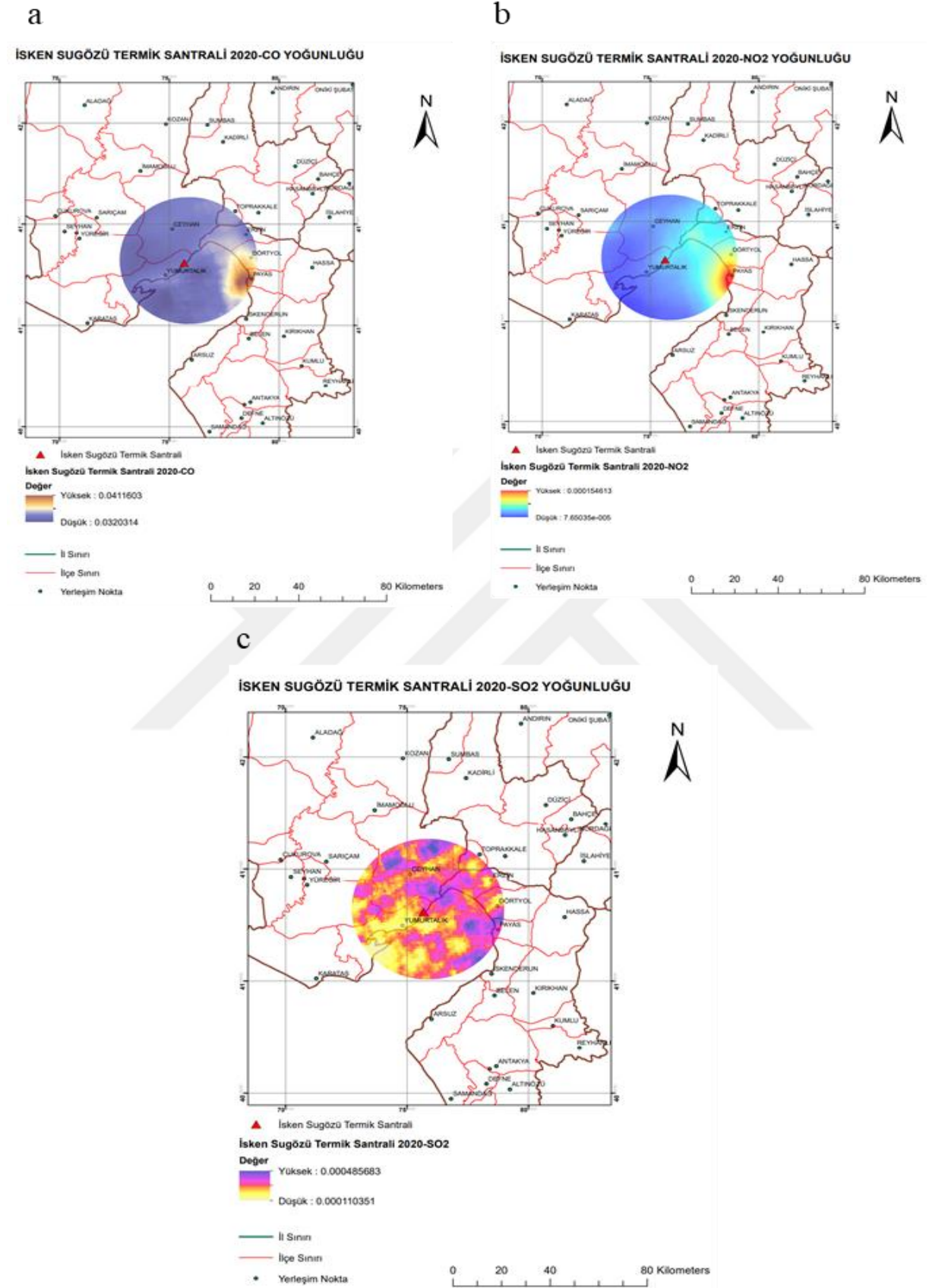
4.1.4. İsken Sugözü Termik Santrali Haritaları

İsken Sugözü Termik Santrali için yapılan CO gaz konsantrasyonu ölçme çalışmalarında en düşük değerin 2022 yılında 0,0300696 mol/m², en yüksek değerin ise 2021 yılında 0,0419363 mol/m² olduğu görülmektedir. 2019, 2020, 2021 ve 2022 senelerin CO parametresi için yapılan haritalarda ortak olarak CO yoğunluğunun İsken Sugözü Termik Santrali çevresinden uzakta ve Hatay'a bağlı Payas ilçesinde olduğu görülmüştür. Aynı zamanda Payas ilçesi Türkiye'nin en önemli sanayi bölgelerinden biri olan ve içerisinde birçok endüstri tesisini barındıran İskenderun Körfezi'nin doğu kısmında yer almaktadır. Bu kesimde yer alan ve Payas'ın da karbonmonoksit (CO) yoğunluğuna maruz kalmasına sebep olan başlıca endüstri tesisleri arasında; İskenderun Limanı, İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) İskenderun Rafinerisi, İskenderun Gübre Fabrikası, İskenderun Kombine Çevrim Santrali ve SOCAR (Azerbaycan Devlet Petrol Şirketi)'nin İskenderun'da açmış olduğu modern petrol rafinerisi gösterilebilir. İsken Sugözü Termik Santrali merkezli yapılan hava kalitesi belirleme çalışmasında, termik santral bölgesinde diğer bölgelere nazaran daha az hava kirliliğinin bulunmasının sebebi olarak kullanılan arıtma sistemlerinin, baca gazları, su atıkları ve katı atıkları tamamen zararsız hale getirdiğini söylemek mümkündür. İSKEN Sugözü Termik Santrali Direktörü Norbert Melcher, 2007 yılında yapılan röportajında Çukurova Üniversitesi ve TÜBİTAK tarafından kendilerinden habersizce yapılan ölçümler ışığında santralin çevreye zarar vermediğini belirtmiştir. (Adana-Kyoto'ya Uygun, Çevreyle Dost Enerji Santrali: İsken, 2005)

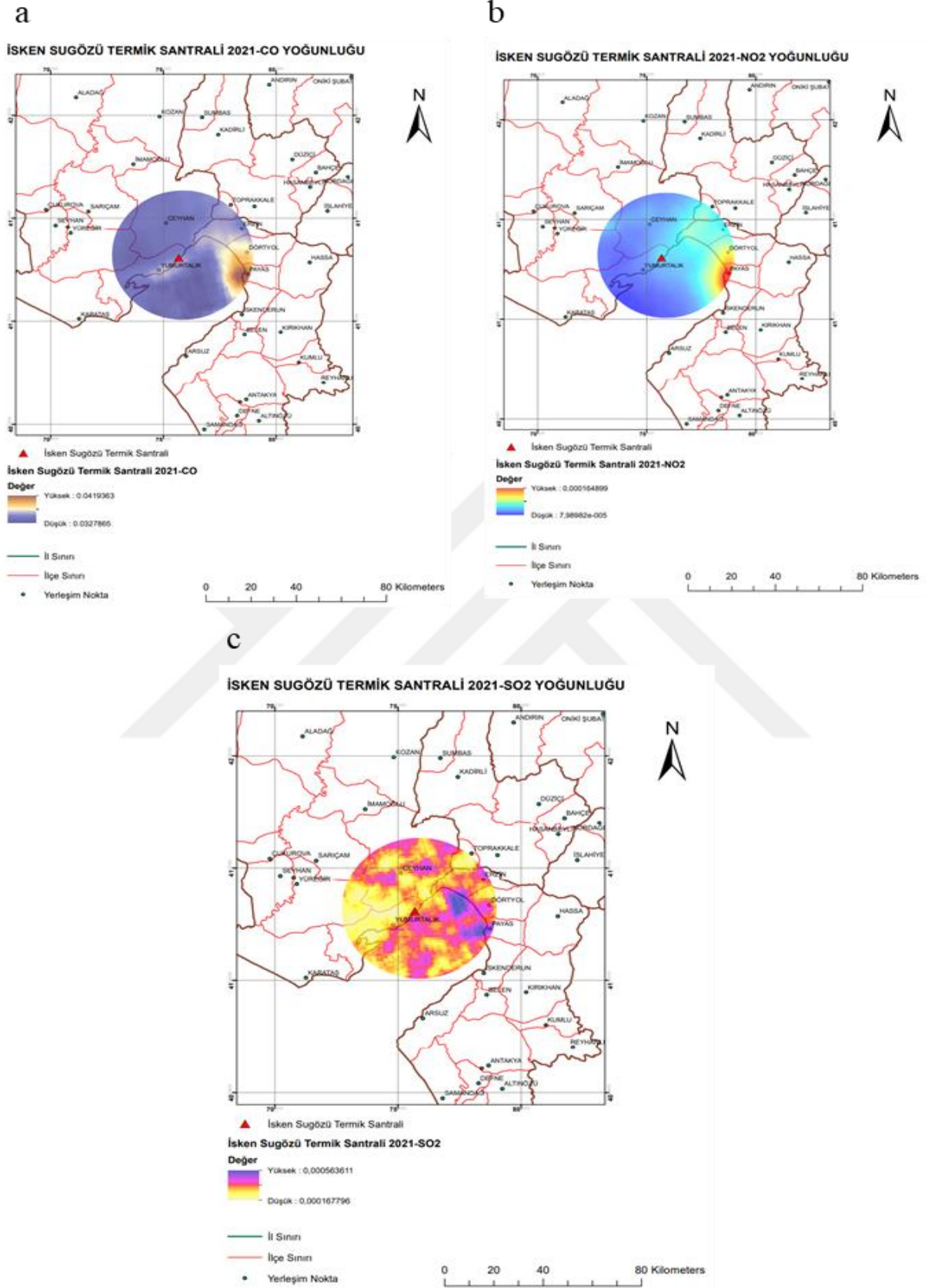
Azotdioksit (NO₂) gaz konsantrasyonları incelendiğinde yoğunluğun en düşük olduğu senenin 2020 yılında 7,65035e-005 mol/m², en yüksek olduğu senenin ise 2022 yılında 0,000167459 mol/m² olarak ölçüldüğü görülmüştür. 2020 senesinde en düşük NO₂ değerlerinin elde edilmesinin temel sebebi olarak diğer termik santrallerde de görüldüğü üzere COVID-19 pandemisi sürecindeki kapanmalar gösterilebilir. Bölgesel olarak değerlendirildiğinde CO gaz konsantrasyonu yoğunluğunda olduğu gibi Payas ilçesi ve çevresinde NO₂ yoğunluğunun arttığını söylemek mümkün. Kükürtdioksit (SO₂) gaz konsantrasyon yoğunluklarına bakıldığında en düşük değerin 2019 yılında 7,52201e-005 mol/m², en yüksek değerin ise 2021 yılında 0.000563611 mol/m² olduğunu görmek mümkündür.



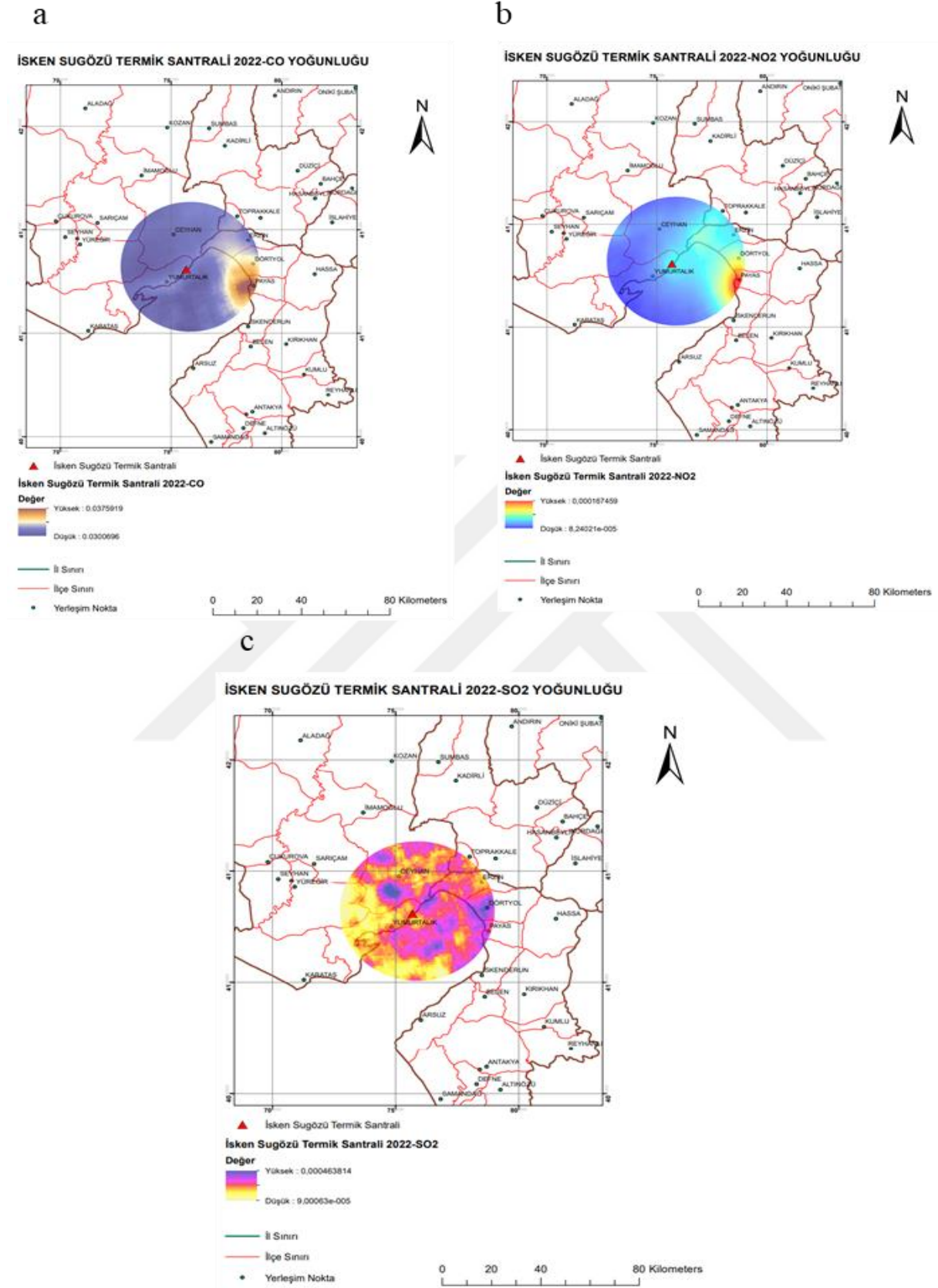
Şekil 4.13. İsken Sugözü Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.14. İsken Sugözü Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.15. İsken Sugözü Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

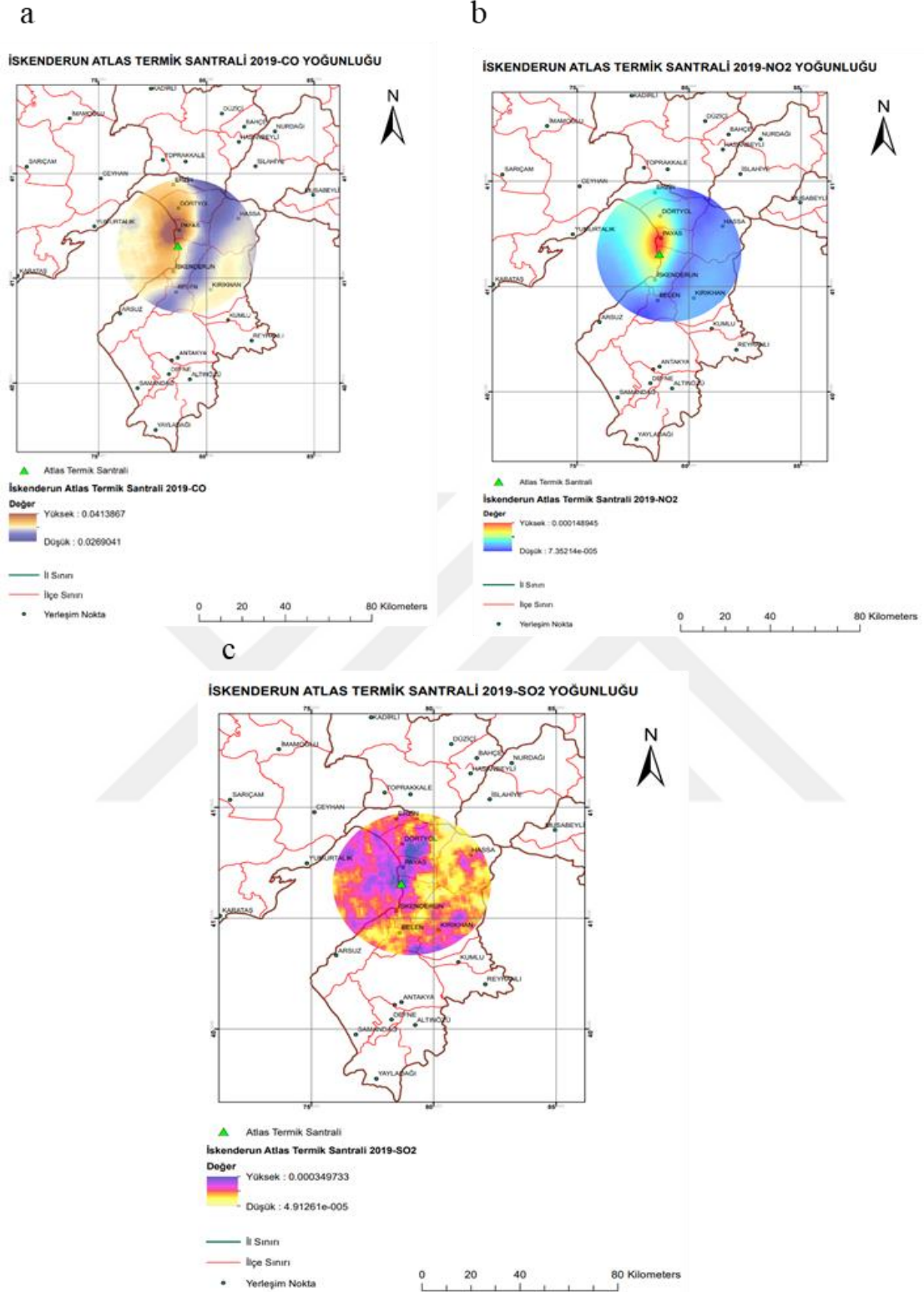


Şekil 4.16. İsken Sugözü Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

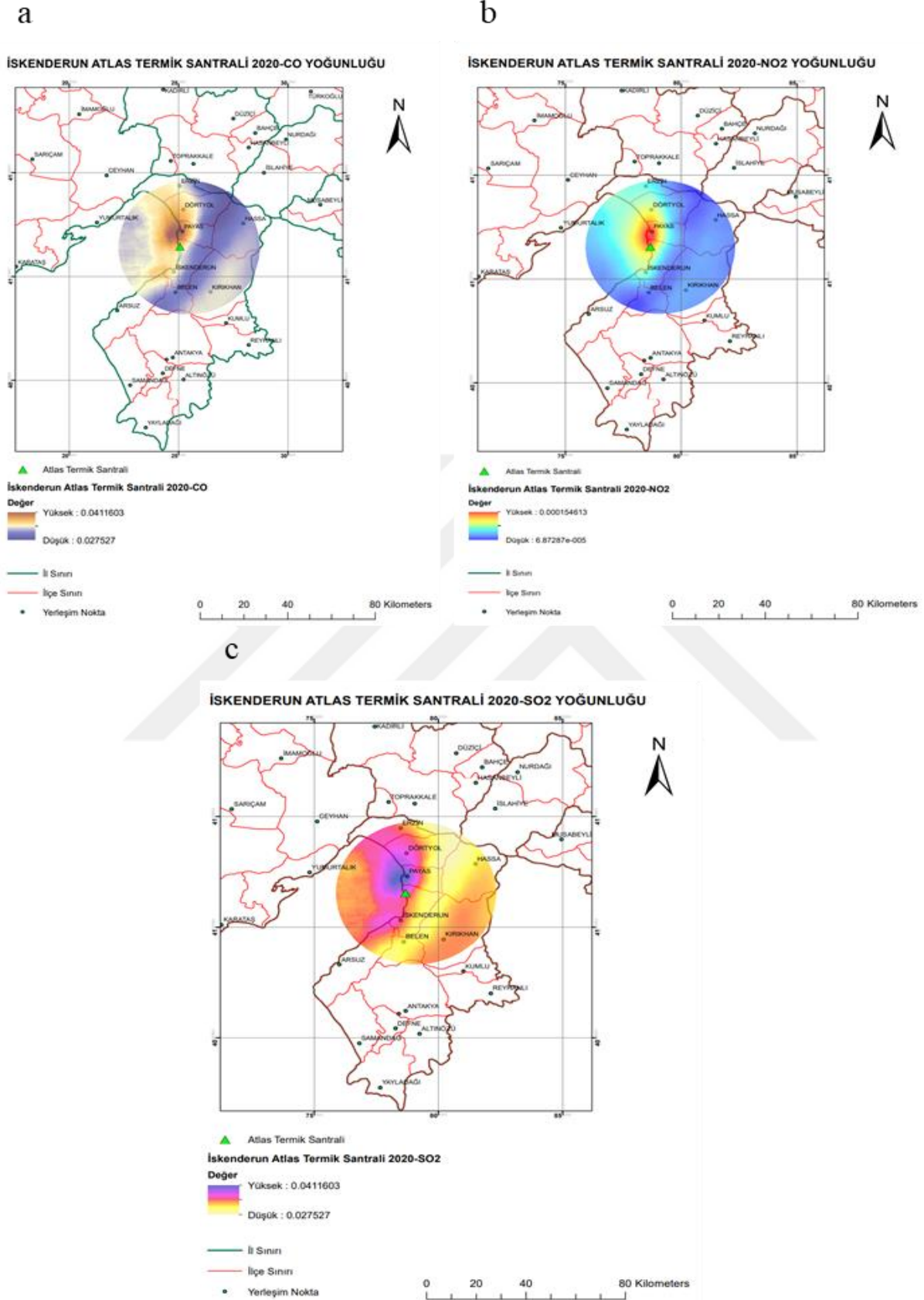
4.1.5. İskenderun Atlas Termik Santrali Haritaları

İskenderun Atlas Termik Santrali hava kalitesini belirlemek için oluşturulan çalışma alanında, CO gaz konsantrasyonu haritaları incelendiğinde elde edilen en düşük değerin 2022 yılına ait $0,0254128 \text{ mol/m}^2$, en yüksek değerin ise $0,0419363 \text{ mol/m}^2$ olduğu görülmüştür. CO gaz konsantrasyonunun termik santral bölgesinde yoğunlaştığı görülse de Payas ilçesi ve çevresinde daha fazla olduğu dikkat çekmiştir. Bunun temel sebebi olarak ilçede ve çevresinde bulunan endüstri kuruluşları gösterilebilir.

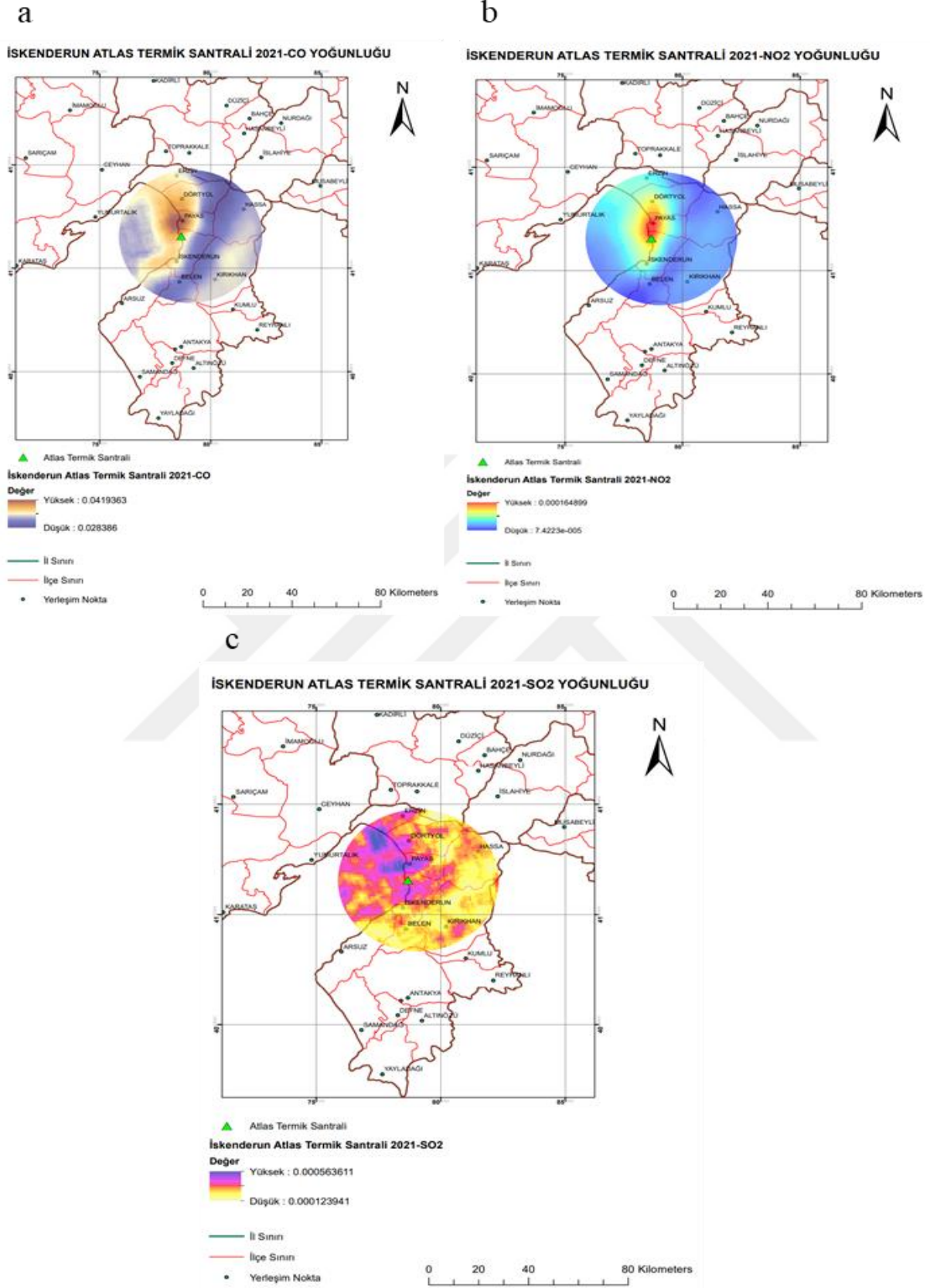
Azotdioksit (NO_2) yoğunlukları incelendiğinde en düşük değerin 2020 senesinde $6,87287\text{e-}005 \text{ mol/m}^2$, en yüksek değerin ise 2022 senesine ait $0,000167459 \text{ mol/m}^2$ olduğu gözlemlenmiştir. 2020 senesinde yaşanan azalmanın COVID 19 kaynaklı olduğunu söylemek mümkündür. Kükürtdioksit (SO_2) yoğunlukları incelendiğinde en düşük değerin 2019 yılında $4,91261 \text{ e-}005 \text{ mol /m}^2$, en yüksek değerin ise 2020 yılında $0,0411603 \text{ mol/m}^2$ olarak ölçülmüştür. Payas ilçesi ve çevresinin en yoğun bölgeler olduğu açıkça görülürken, İskenderun Körfezi çevresinin diğer yıllarla karşılaştırıldığında SO_2 yoğunluğunun daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Bunun nedeni olarak İskenderun Körfezi'nin önemli bir liman ve bağlantı noktası olmasından kaynaklı, COVID-19 pandemisi dönemindeki ithalat ve ihracatın buradan devam ettirilmesi etkili olmuştur.



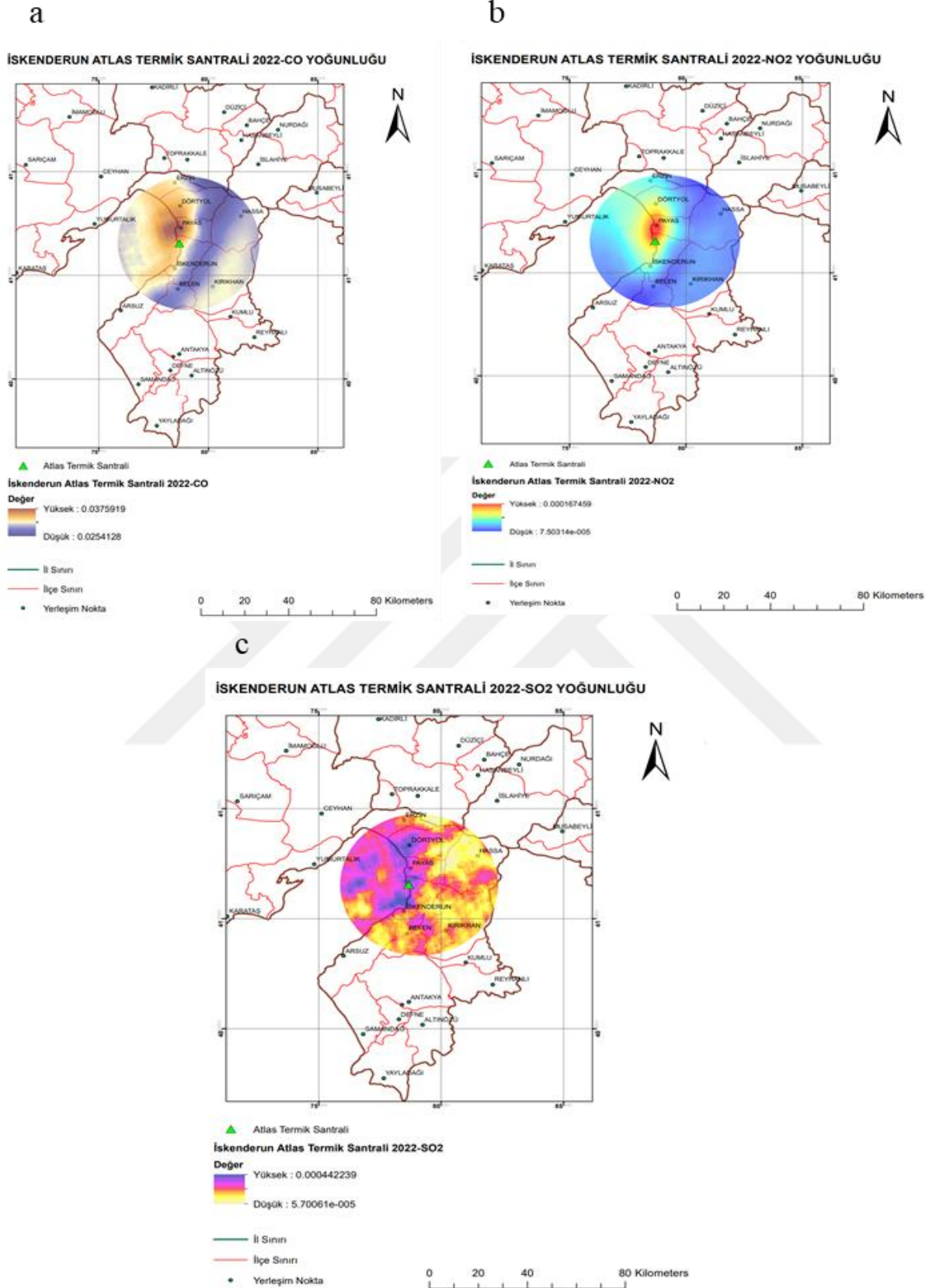
Şekil 4.17. İskenderun Atlas Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.18. İskenderun Atlas Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

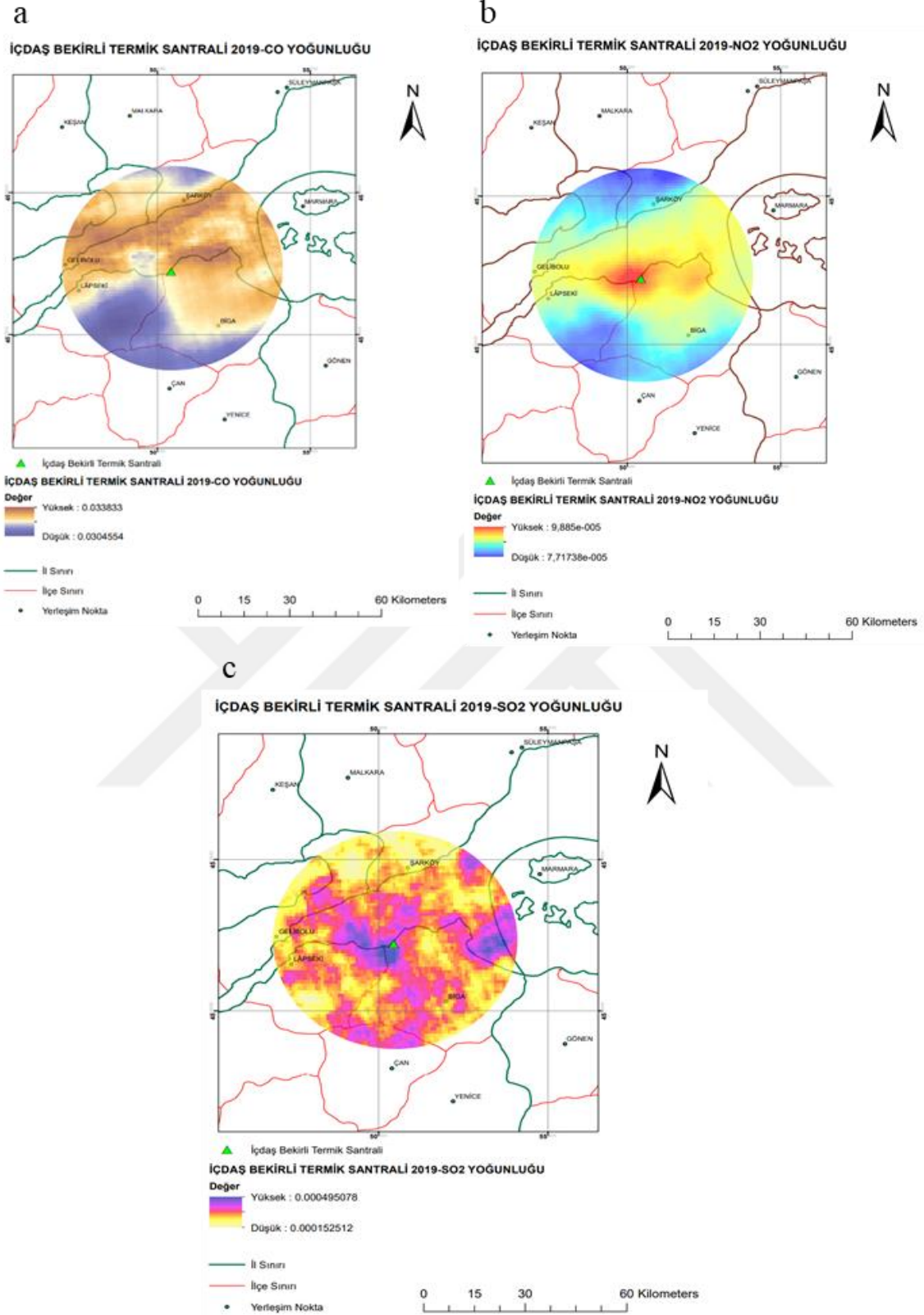


Şekil 4.19. İskenderun Atlas Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

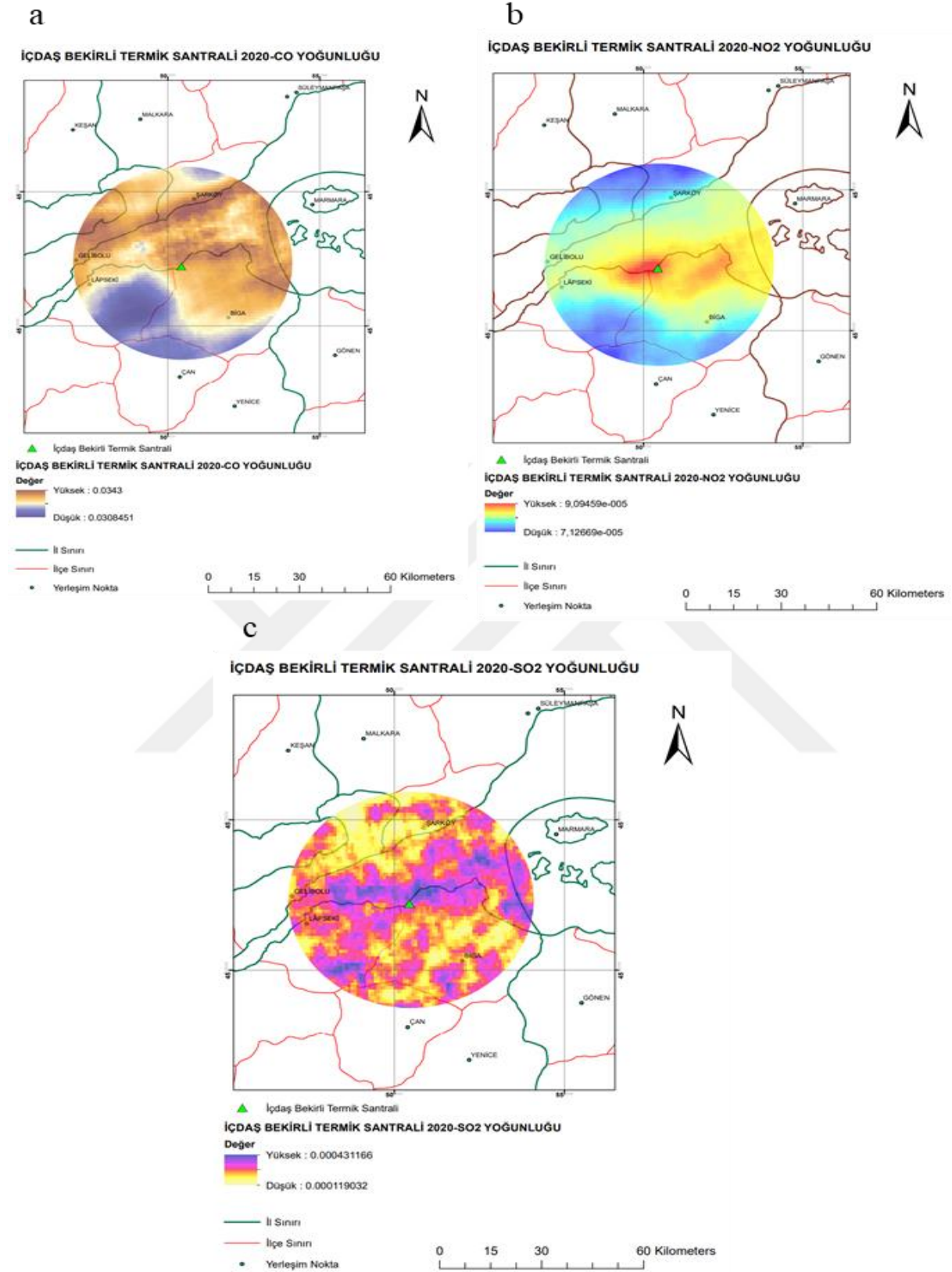


4.1.6. İçdaş Bekirli Termik Santrali Haritaları

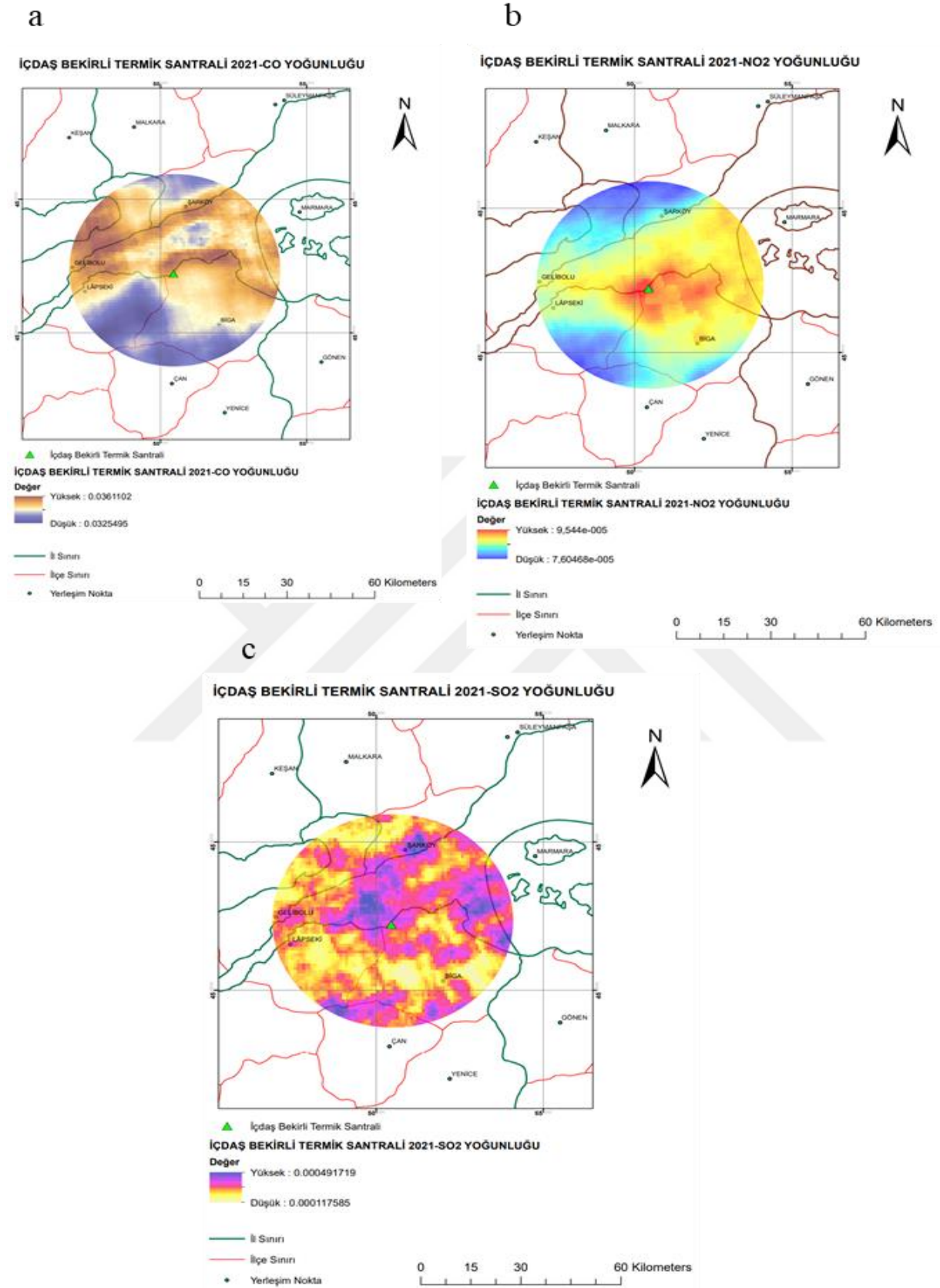
Çanakkale'nin Biga ilçesinde bulunan İçdaş Bekirli Termik Santrali ithal kömür yakıtlı termik santralidir. Bölgedeki çalışmalarımızla oluşturulan haritalar yukarıda verilmiştir. CO emisyonu için uydu haritaları incelendiğinde, en düşük değerin 2022 senesi Ekim ve Kasım aylarında $0,028 \text{ mol/m}^2$, en yüksek değerin ise 2020 senesi Nisan ayında $0,039 \text{ mol/m}^2$ olduğu görülmüştür. 2019, 2020, 2021 ve 2022 yılları incelendiğinde, her yılın ilk 6 ayı yüksek konsantrasyon, ikinci 6 ayında ise düşük konsantrasyon olduğu gözlemlenmiştir. Bölgedeki düşük NO_2 ve SO_2 emisyonları da dikkat çekmektedir. Bahsedilen dört yıl boyunca izlenen NO_2 ve SO_2 gazlarının konsantrasyonları, her yılın Kasım ayında en yüksek olduğu görülmüştür. Haritalarda ise her yılın yıllık ortalama değerleri görülmektedir. Diğer santrallerde de olduğu gibi incelenen bu dört yıldaki en düşük değerler 2020 yılında karşımıza çıkmıştır. COVID-19 pandemisinin etkilerini bu haritalardan da görmek mümkündür. Analizler sonucunda Cenal Karabiga Termik Santrali ile yaklaşık değerlere sahip olduğu görülmektedir.



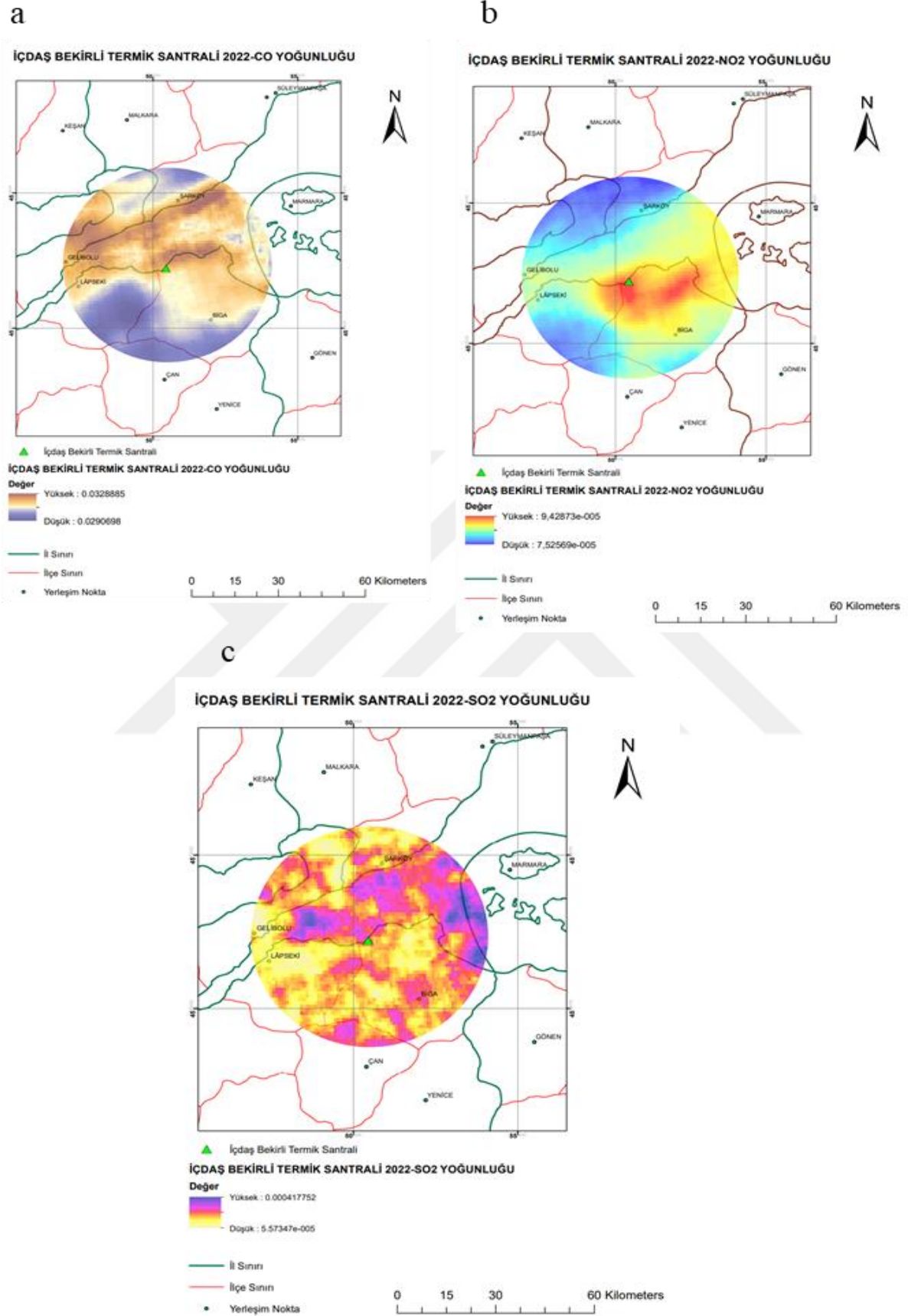
Şekil 4.21. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.22. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2020 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.23. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2021 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.



Şekil 4.24. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2022 yılına ait CO (a), NO₂ (b) ve SO₂ (c) yoğunluğu haritaları.

4.2. Hava Kirleticisi Emisyon Verileri ve Arazi Örtüsü Sınıfları

Zonguldak Eren Termik Santrali, Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri, Cenal Karabiga Termik Santrali, İskenderun Atlas Termik Santrali ve İçdaş Bekirli Termik Santrali merkezli çalışma bölgeleri için 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait santrale en yakın yersel istasyondan alınan, PM_{2.5} ve PM₁₀ verileri ile oluşturulan tablo ve grafikler doğrultusunda uydu verileri ile oluşturulan harita ve grafikleri destekleyici nitelikte hava kalitesi termik santral merkezli belirlenmiş ve analiz edilmiştir.

Sentinel 5P uydu verileri kullanılarak yapılan hava kalitesi belirlemeye yönelik çalışmada CO, NO₂ ve SO₂ parametrelerinden yararlanılarak bu dört yılın her ayına ait veriler grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmanın termik santral merkezli olması ve 40 km yarıçaplı dairesel çalışma alanlarının yerleşim yeri, tarımsal alan, sulak alan ve ormanlık alanların yakınında veya içerisinde olması göz önünde bulundurularak, termik santrallerin farklı bölgelerde arazi örtüsünde yol açtığı olumsuzlukları değerlendirmek ve analiz edebilmek amaçlanmıştır. Bu sebeple Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Corine 2018 Arazi Örtüsü verisi; arazi örtüsü, kullanımı ve sınıflandırılmasını göstermek amaçlı kullanıcılara sunulmaktadır. Corine 2018 verileri ArcMap yazılımında, çalışma alanları üzerinde işlenmiş ve her termik santral çevresi için ayrı ayrı incelenmiştir.

4.2.1. Zonguldak Eren Termik Santrali Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları

Tablo 4.1.'de de görüldüğü üzere Zonguldak Eren Termik Santrali'nin bulunduğu bölgede, Hava Kalitesi İzleme Merkezi'nden alınan değerlere göre DSÖ'nün PM_{2.5} için belirlemiş olduğu limit değerlerin aşıldığı görülmüştür. Bölgedeki hava kalitesi izleme istasyonu, son 4 yıla yakın zamanda yılda en iyi %89'luk bir oranla ölçüm yapmıştır. Bu ölçümlerden, 2023 yılının ilk 5 ayının tamamında DSÖ limit değeri aşılmıştır. Aynı zamanda incelediğimiz 2020, 2021, 2022 ve 2023 yıllarındaki yıllık ortalama PM_{2.5} değerlerinin de limit değerin (5 µg/m³) üzerinde olduğu görülmüştür. Ülkemizde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre PM_{2.5} için bir limit değer tanımlanmamıştır.

Tablo 4.1. Zonguldak Eren Termik Santrali PM_{2.5} Değerleri Analizi.

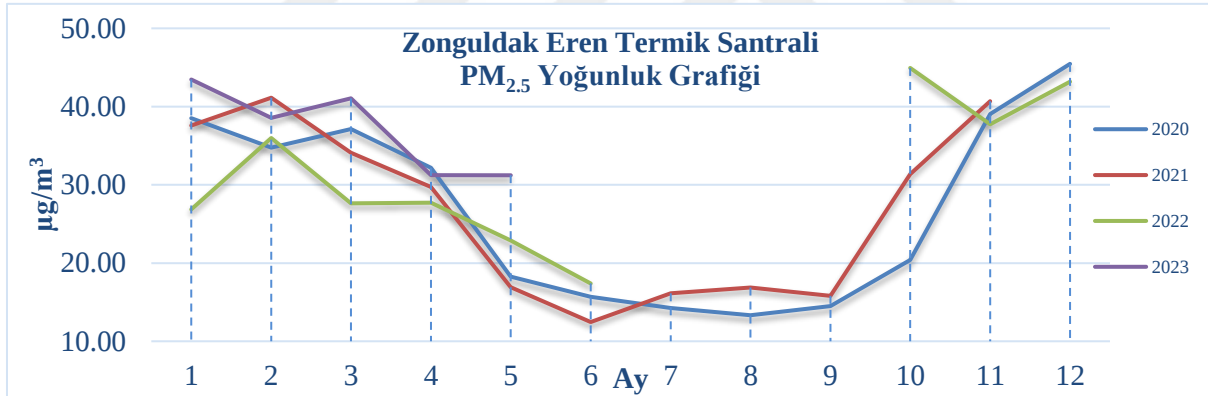
	2020	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	324	288	202	135
Eksik Gün	41	77	163	47
Ölçüm Yüzdesi	89%	79%	55%	89%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	239	213	176	135
Limit Değer Altında Kalan (gün)	85	75	26	0
Limit Değer Aşan Gün Yüzdesi	74%	74%	87%	100%
Yıllık Ortalama Değer (µg/m ³)	28,20	26,16	31,37	37,13
*2023 yılında ilk 5 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.				

Tablo 4.2.'de ise PM_{10} kirleticisi için limit değerlere göre ve Şekil 4.78, Şekil 4.79, Şekil 4.81 ve Şekil 4.82'deki grafiklere göre analiz yapılmıştır. Analizlerde, günlük ortalama ve yıllık ortalama değerler, DSÖ kılavuz değerleri ve ülkemiz yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Sonuç olarak ilgili bölgede yaşayan insanlar için tehlikeli olabilecek seviyede $PM_{2.5}$ ve PM_{10} etkilerine maruz kaldıkları görülmüştür. Bir yılda yaklaşık her üç günde bir $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kirleticilerine, limit değeri üzerinde maruz kaldığı saptanmıştır.

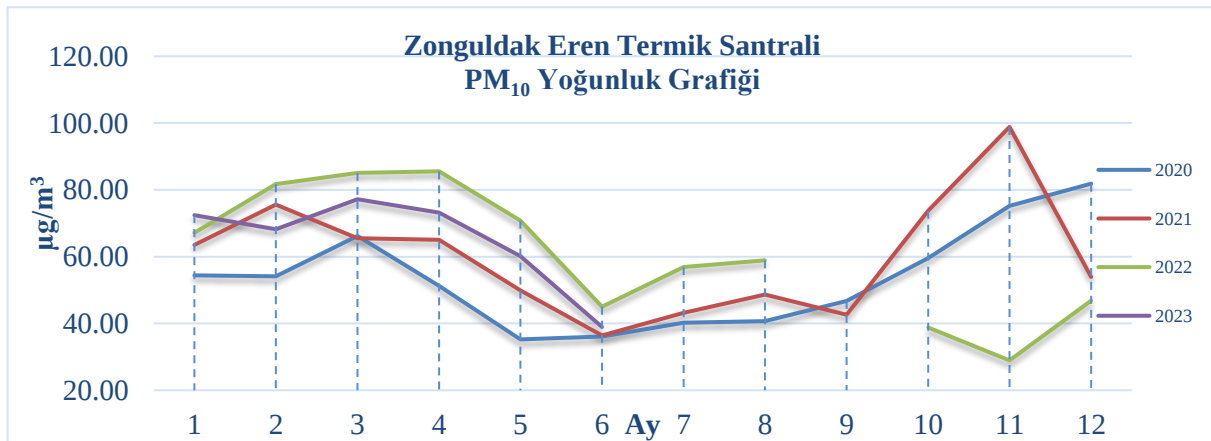
Tablo 4.2. Zonguldak Eren Termik Santrali PM_{10} Değerleri Analizi.

	2020	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	346	346	346	152
Eksik Gün	19	19	19	0
Ölçüm Yüzdesi	95%	95%	95%	100%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	191	217	233	123
Limit Değer Altında Kalan (gün)	155	129	113	30
Limit Değer Aşım Gün Yüzdesi	55%	63%	67%	81%
Yıllık Ortalama Değer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	54	61	64	66

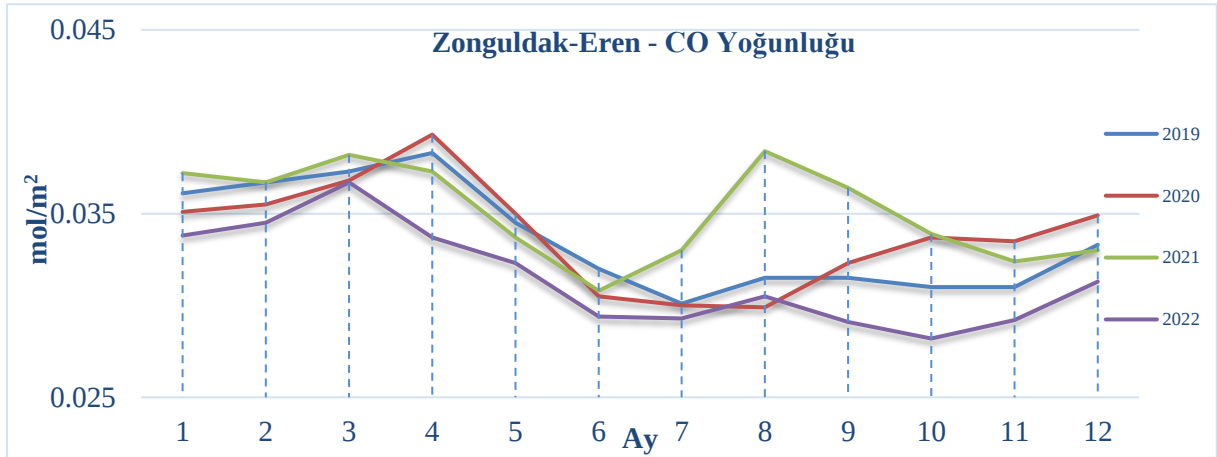
*2023 yılında ilk 5 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.



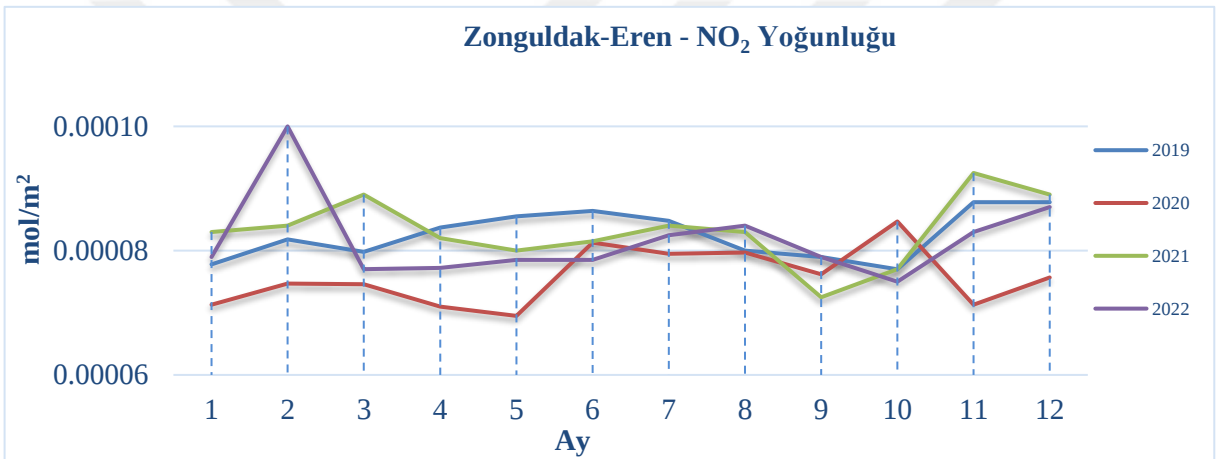
Şekil 4.25. Zonguldak Eren Termik Santrali 2020-2023 yılları arası $PM_{2.5}$ yoğunluk grafiği ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



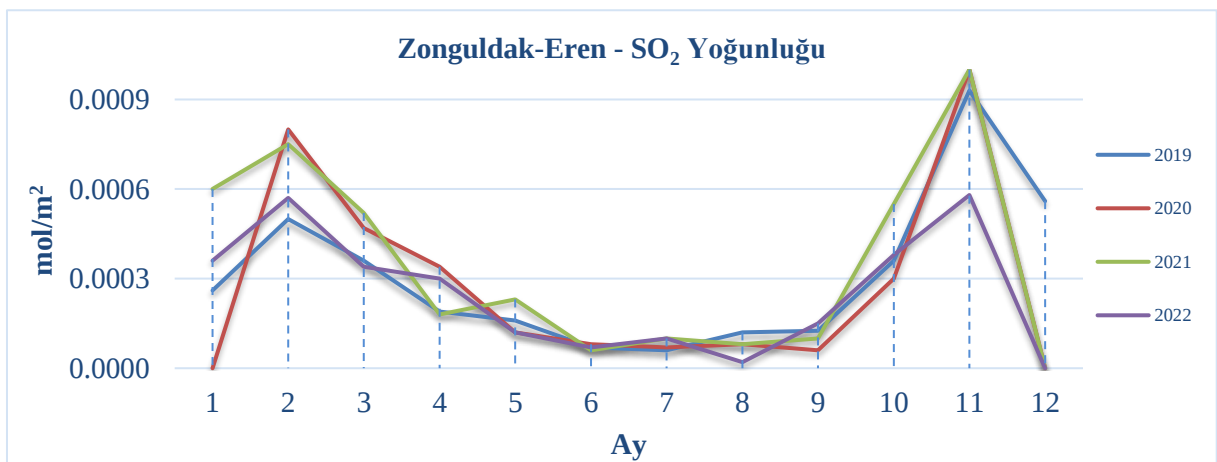
Şekil 4.26. Zonguldak Eren Termik Santrali 2020-2023 yılları arası PM_{10} yoğunluğu grafiği ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Şekil 4.27. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği (mol/m²).



Şekil 4.28. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).



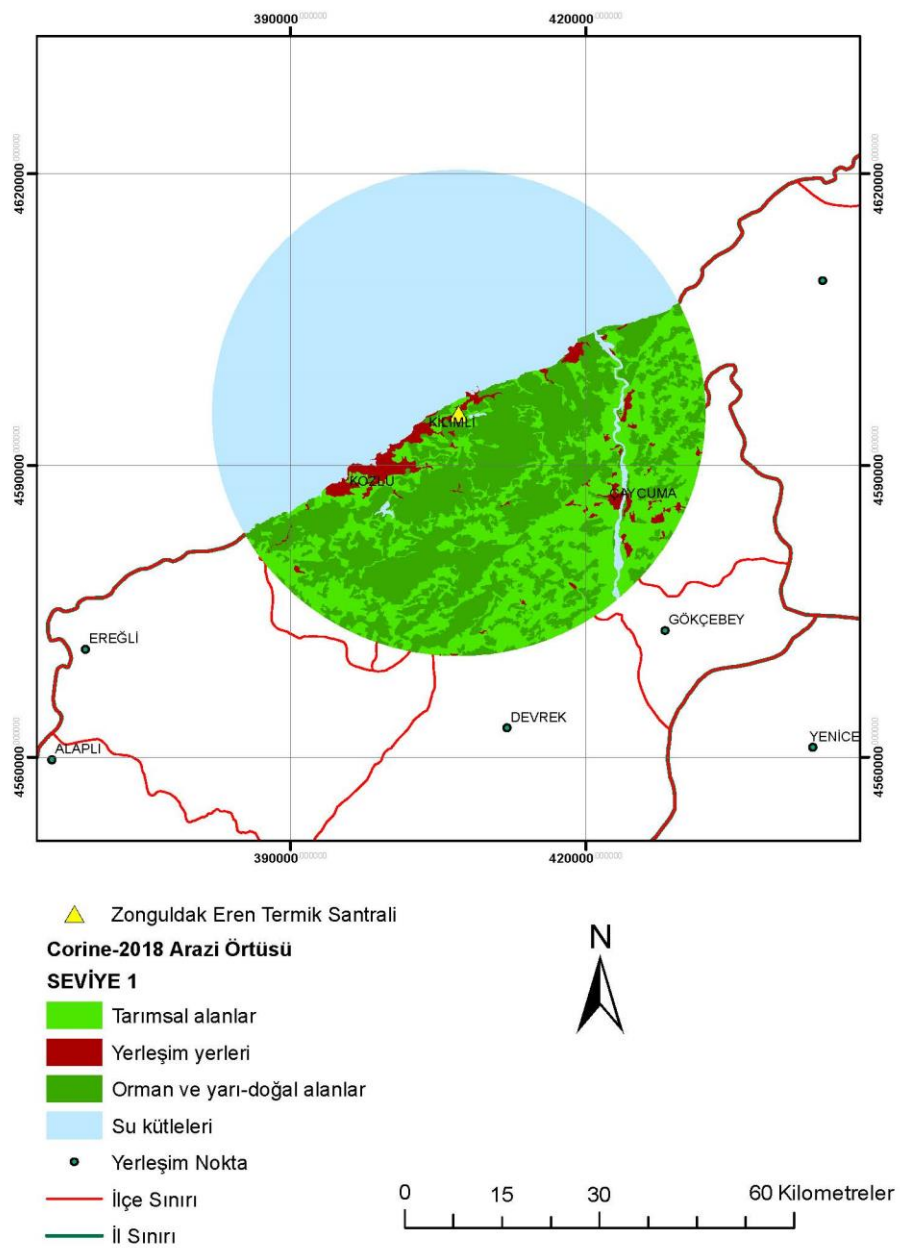
Şekil 4.29. Zonguldak Eren Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

Zonguldak Eren Termik Santrali merkezli, 40 km yarıçaplı dairesel çalışma alanları için Corine 2018 Arazi Örtüsü verisiyle oluşturulan arazi kullanım haritalarında; tarım arazileri, yerleşim yerleri,

ormanlık alanlar, su kütleleri ve sulak alanlar için elde edilen veriler doğrultusunda termik santralin sebep olabileceği kirlilik harita üzerinden alansal olarak yorumlanmıştır.

Eldeki sonuçlar doğrultusunda 98927 hektarlık tarımsal alan, 7074 hektarlık yerleşim yeri alanları ve 82730 hektarlık ormanlık alan olduğu tespit edilmiştir. Tarımsal alan büyüklüğünün fazla olması termik santral sebepli kirliliğin tarımsal faaliyetleri ve çiftçinin elde ettiği verimi olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir. Şekil 4.30'da görüldüğü üzere termik santralin yerleşim yerine çok yakın bir bölgede kurulmuş olması termik santralin sebep olduğu kirliliğin direkt olarak insan yaşamına yansıyabileceği fikrini akıllara getirmektedir.

ZONGULDAK EREN TERMİK SANTRALİ ve CORINE 2018 ARAZİ ÖRTÜSÜ



Şekil 4.30. Zonguldak Eren Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü.

4.2.2. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları

Afşin Elbistan Termik Santralleri'nin bulunduğu bölgedeki Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda 2021 yılı itibari ile kayıtlara ulaşılmıştır. Tablo 4.2'de özetlenen kayıtlarda yıl içerisinde ölçüm yapılan gün yüzdesinin yüksek olduğu görülmüştür. Ancak değerler DSÖ limit değerlerinin çok üzerinde olduğu, 2021 yılında ise bir yılda %83 oranında bölgedeki PM_{2.5} kirletici emisyonunun limit değeri üzerinde olduğu görülmüştür.

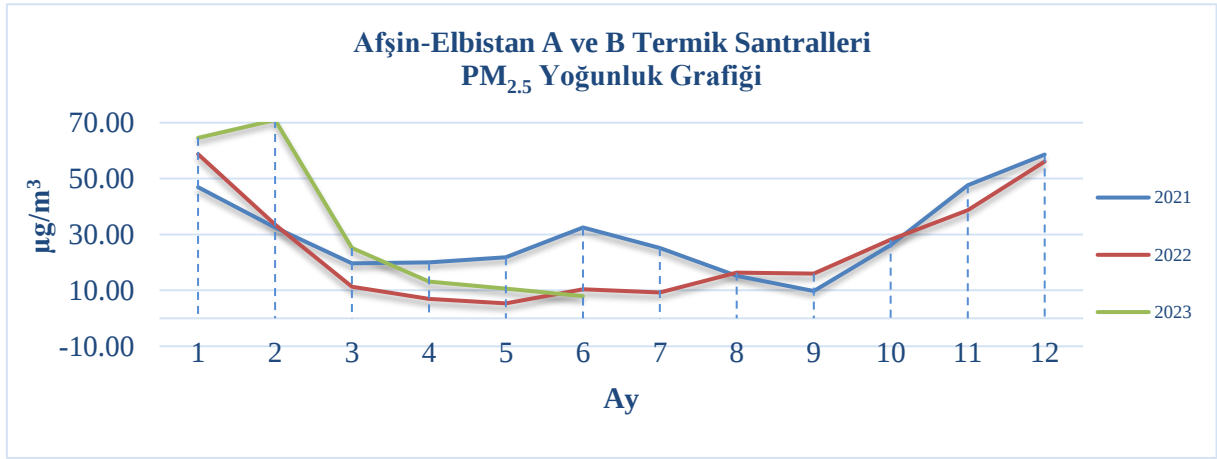
Tablo 4.3. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri PM_{2.5} Değerleri Analizi.

	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	355	353	152
Eksik Gün	10	12	0
Ölçüm Yüzdesi	97%	97%	100%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	295	176	87
Limit Değer Altında Kalan (gün)	60	177	65
Limit Değer Aşan Gün Yüzdesi	83%	50%	57%
Yıllık Ortalama Değer (µg/m ³)	29,22	24,47	30,24
*2023 yılında ilk 5 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.			

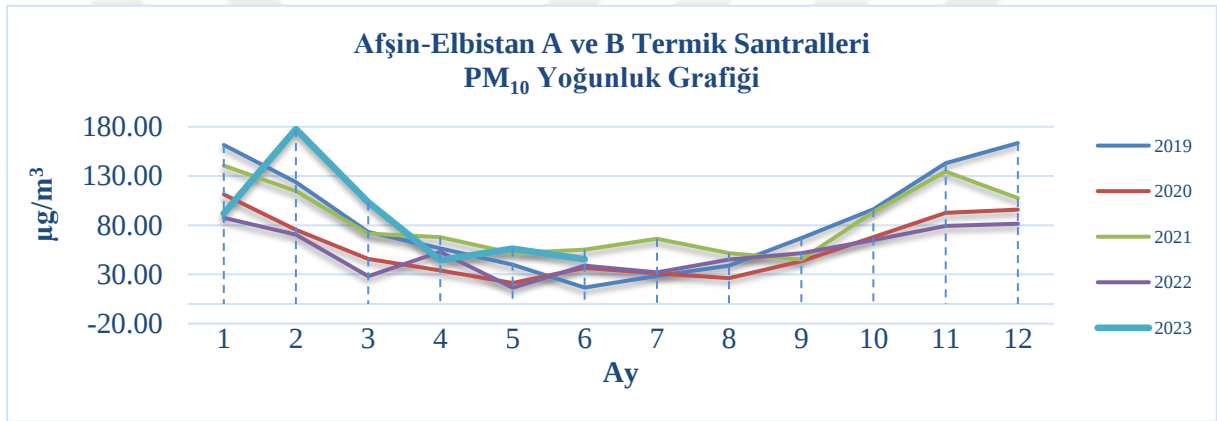
Tablo 4.3'de özetlenen (Şekil 4.87, Şekil 4.89, Şekil 4.90, Şekil 4.92, Şekil 4.93) Hava Kalitesi İzleme İstasyon, son 4 yılda yüksek oranda ölçüm yapmıştır. %98 verimle ölçüm yapılan 2021 yılında PM₁₀ kirletici oranı yıl içerisinde %80 oranla DSÖ günlük limit değerlerini (45 µg/m³) aşmıştır. Yıllık ortalama limit değeri olan DSÖ kılavuzunda 15 µg/m³, Türkiye standartlarında 40 µg/m³ olan değerler de son dört yılda aşılmıştır.

Tablo 4.4. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri PM₁₀ Değerleri Analizi.

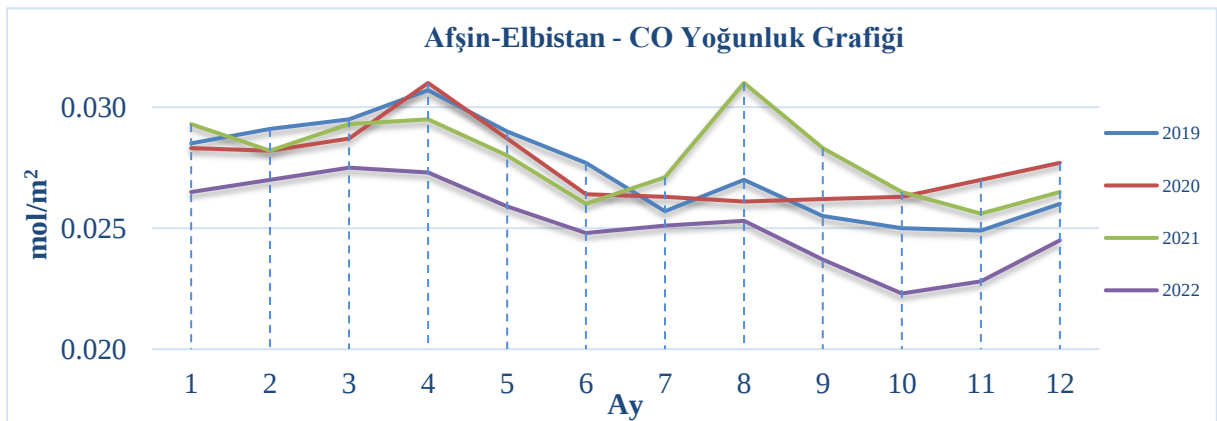
	2019	2020	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	300	274	358	347	152
Eksik Gün	65	91	7	18	0
Ölçüm Yüzdesi	82%	75%	98%	95%	100%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	207	144	287	160	101
Limit Değer Altında Kalan (gün)	93	130	71	187	52
Limit Değer Aşan Gün Yüzdesi	69%	53%	80%	46%	66%
Yıllık Ortalama Değer (µg/m ³)	87,51	63,53	82,58	53,94	81,18
*2023 yılında ilk 5 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.					



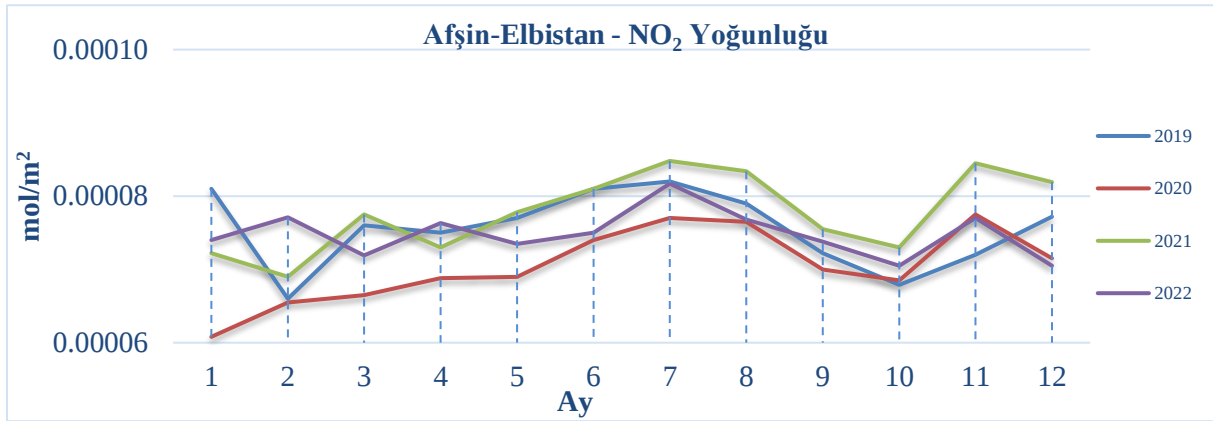
Şekil 4.31. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri 2021-2023 yılları arası PM_{2.5} yoğunluğu grafiği (µg/m³).



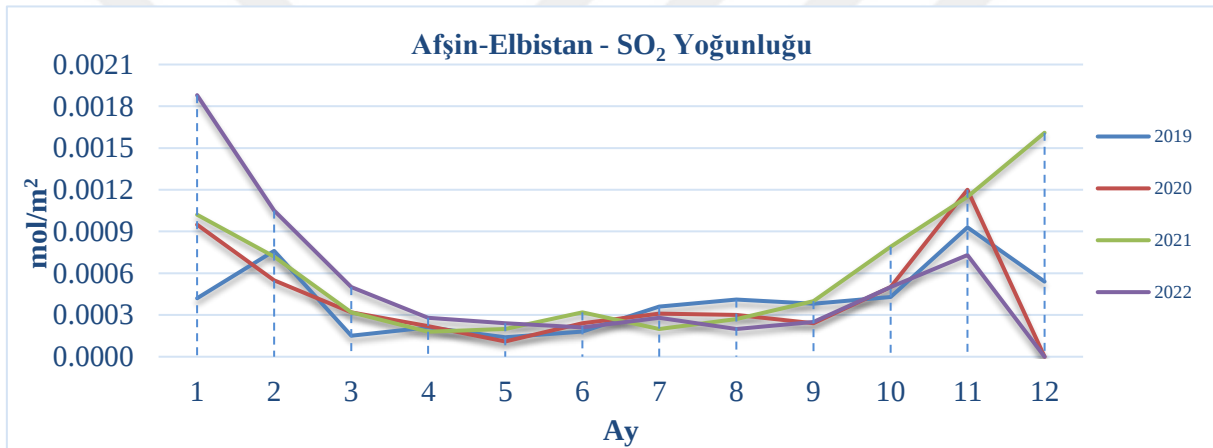
Şekil 4.32. Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri 2021-2023 yılları arası PM₁₀ yoğunluğu grafiği (µg/m³).



Şekil 4.33. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği (mol/m²).



Şekil 4.34. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019-2022 yılları arası NO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

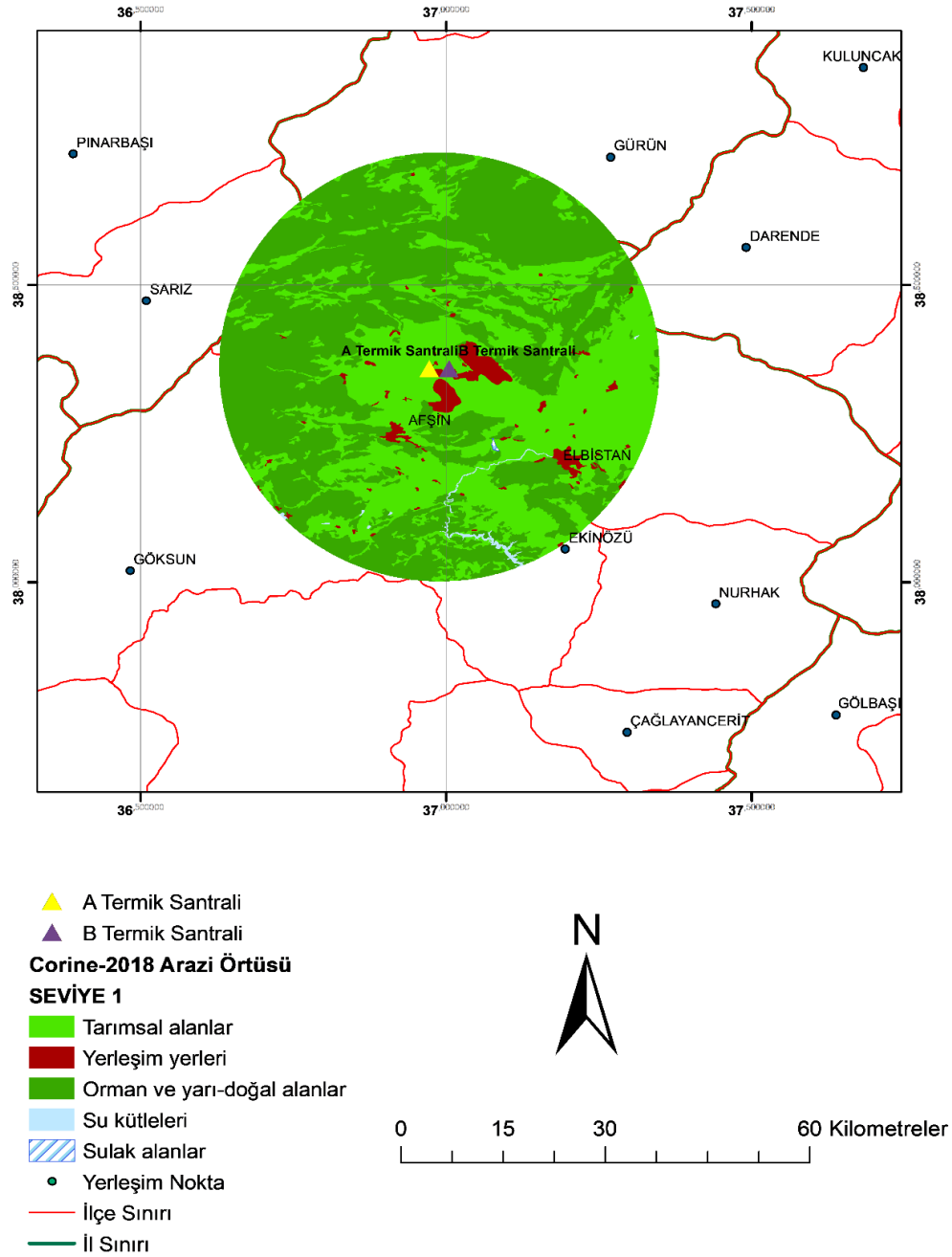


Şekil 4.35. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri 2019-2022 yılları arası SO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

Afşin Elbistan A ve B Termik Santrallerini merkez kabul ederek Corine-2018 verileriyle oluşturulan arazi örtüsü verilerine bakılarak 164687 hektar tarımsal alan, 9793 hektar yerleşim yeri ve 219521 hektar ormanlık alana rastlanılmıştır. Afşin-Elbistan Termik Santrali oluşturulan çalışma alanları içerisinde en geniş ormanlık alana sahip bölge olarak nitelendirilebilir. Termik santralin çevrede yaymış olduğu zararlı gazların, ormanlık alanlar üzerindeki etkisinin diğer termik santrallere göre nispeten fazla olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra Şekil 4.36'da görüldüğü gibi iki termik santral de yerleşim yerlerinin çok yakınında kurulmuştur. Bu bölgede yaşayan insanların ve diğer canlıların termik santral sebebiyle olumsuzluklardan fazlaca etkileneceği düşünülmektedir. Termik santraller çevresinde gerçekleştirilen literatürdeki başka çalışmalarda ise; santrallerin çevresel etkilerinin oldukça geniş alanlarda görüldüklerinden bahsedilmektedir. Bu çalışmalara göre, santrallerin etrafındaki bölgelerde bitki ve toprak örneklerinde yüksek kükürt seviyeleri tespit edilmiş ve bu nedenle santral kaynaklı külün tarım için uygun olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca, sağlık sorunlarına neden olan etkenlerin, santrale olan mesafeye ters orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, termik santrallerin

etkilerinin sadece bölgesel değil, aynı zamanda evrensel ölçekte de önemli olduğunu göstermektedir (Özdemir, 2013; Reyhanlı, 2004).

AFŞİN-ELBİSTAN A-B TERMİK SANTRALİ ve CORINE 2018 ARAZI ÖRTÜSÜ



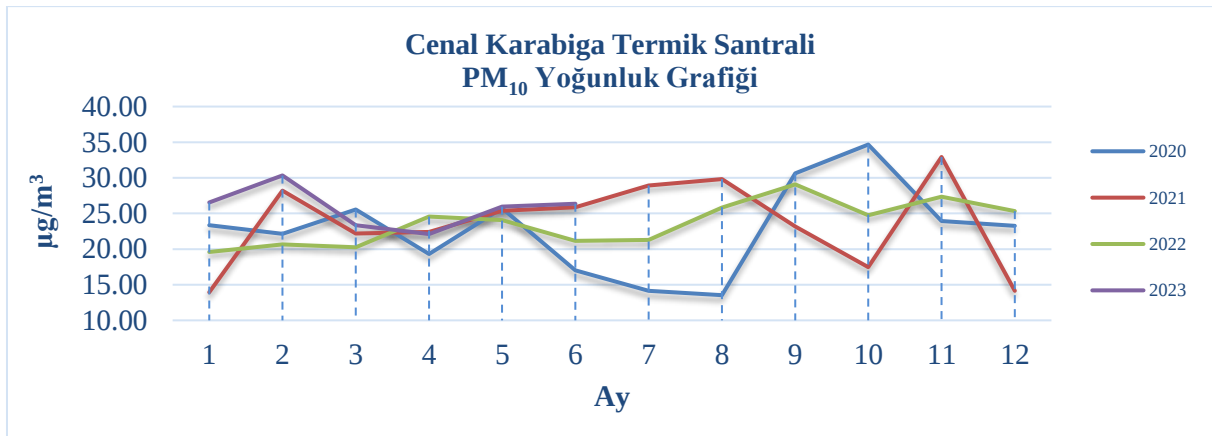
Şekil 4.36. Afşin Elbistan A ve B Termik Santralleri ve Corine 2018 Arazi Örtüsü.

4.2.3. Cenal Karabiga Termik Santrali Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları

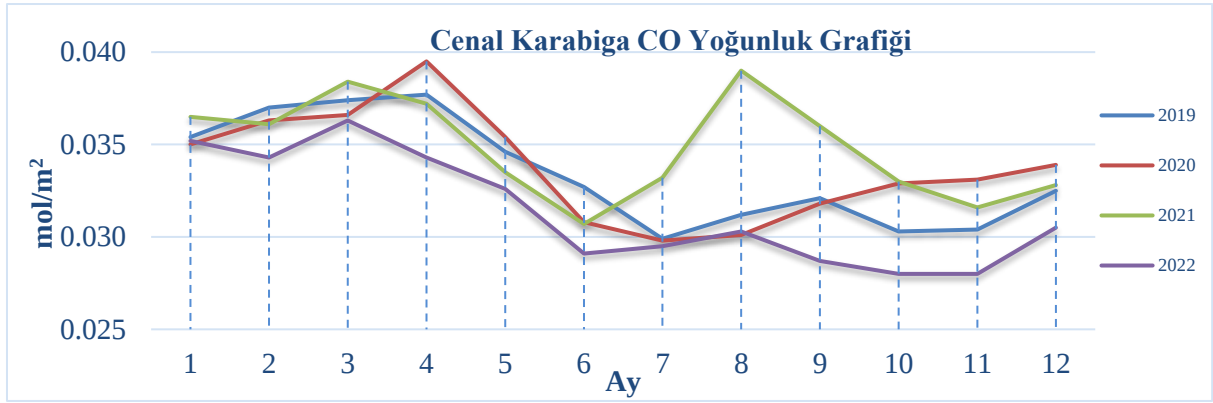
Cenal Karabiga Termik Santrali'nin bulunduğu bölgedeki Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nda $PM_{2.5}$ verilerine ulaşılamamıştır. Bu bölgede $PM_{2.5}$ okuması yapılmamıştır. 2020 yılı itibari ile ulaştığımız PM_{10} istasyon verileri, Tablo 4.4'te görüldüğü üzere yüksek ölçüm yüzdesi ve düşük aşım değerleri göstermiştir. DSÖ kılavuzlarına göre günlük ortalamalarda limit değerin aşılması yıl içerisinde %6 oranda gerçekleşmiştir. Yine bu değerler göz önünde bulundurularak Türkiye standartlarına göre incelediğimizde bu oran %4'tür. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde, DSÖ limit değeri olan $15 \mu g/m^3$, her yıl aşılmıştır. Yine yıllık ortalama değerler Türkiye standartlarında belirtilen limit değeri olan $40 \mu g/m^3$ 'ün altında kalmıştır.

Tablo 4.5. Cenal Karabiga Termik Santrali PM_{10} Değerleri Analizi.

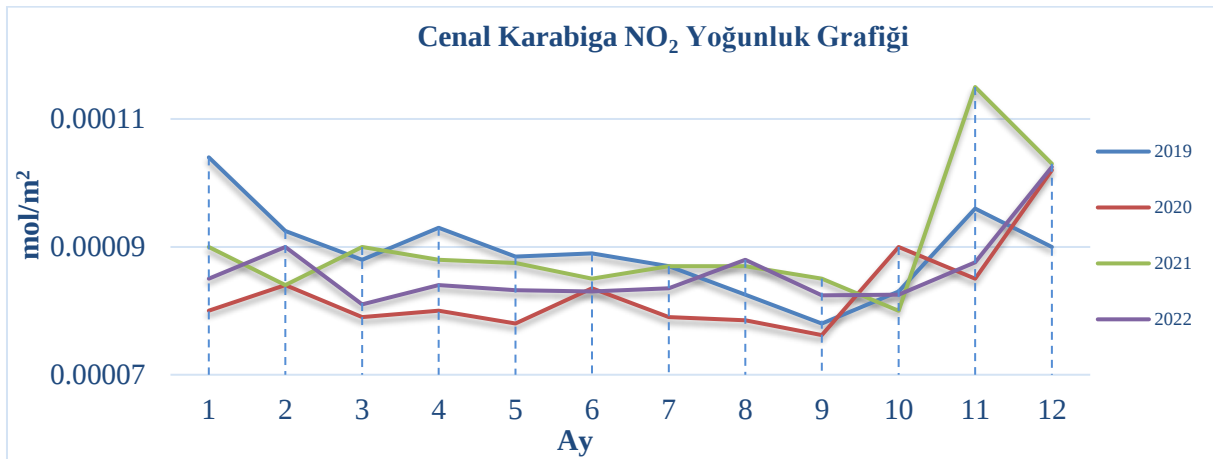
	2020	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	344	349	350	145
Eksik Gün	21	16	15	7
Ölçüm Yüzdesi	94%	96%	96%	95%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	21	13	16	6
Limit Değer Altında Kalan (gün)	323	336	333	139
Limit Değer Aşan Gün Yüzdesi	6%	4%	5%	4%
Yıllık Ortalama Değer ($\mu g/m^3$)	22,70	23,51	23,63	25,90
*2023 yılında ilk 5 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.				



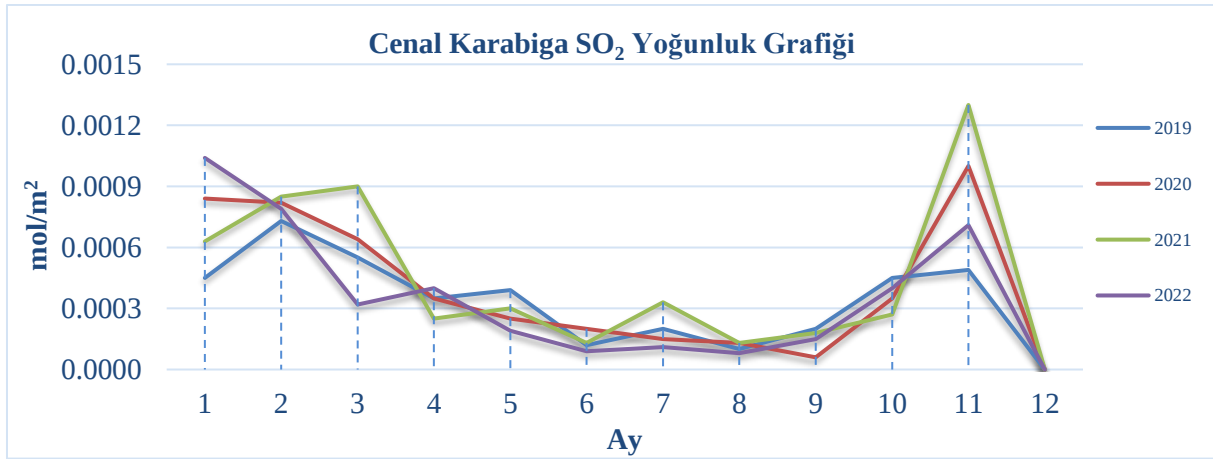
Şekil 4.37. Cenal Karabiga Termik Santrali 2020-2023 yılları arası PM_{10} yoğunluğu grafiği ($\mu g/m^3$).



Şekil 4.38. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği (mol/m²).



Şekil 4.39. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

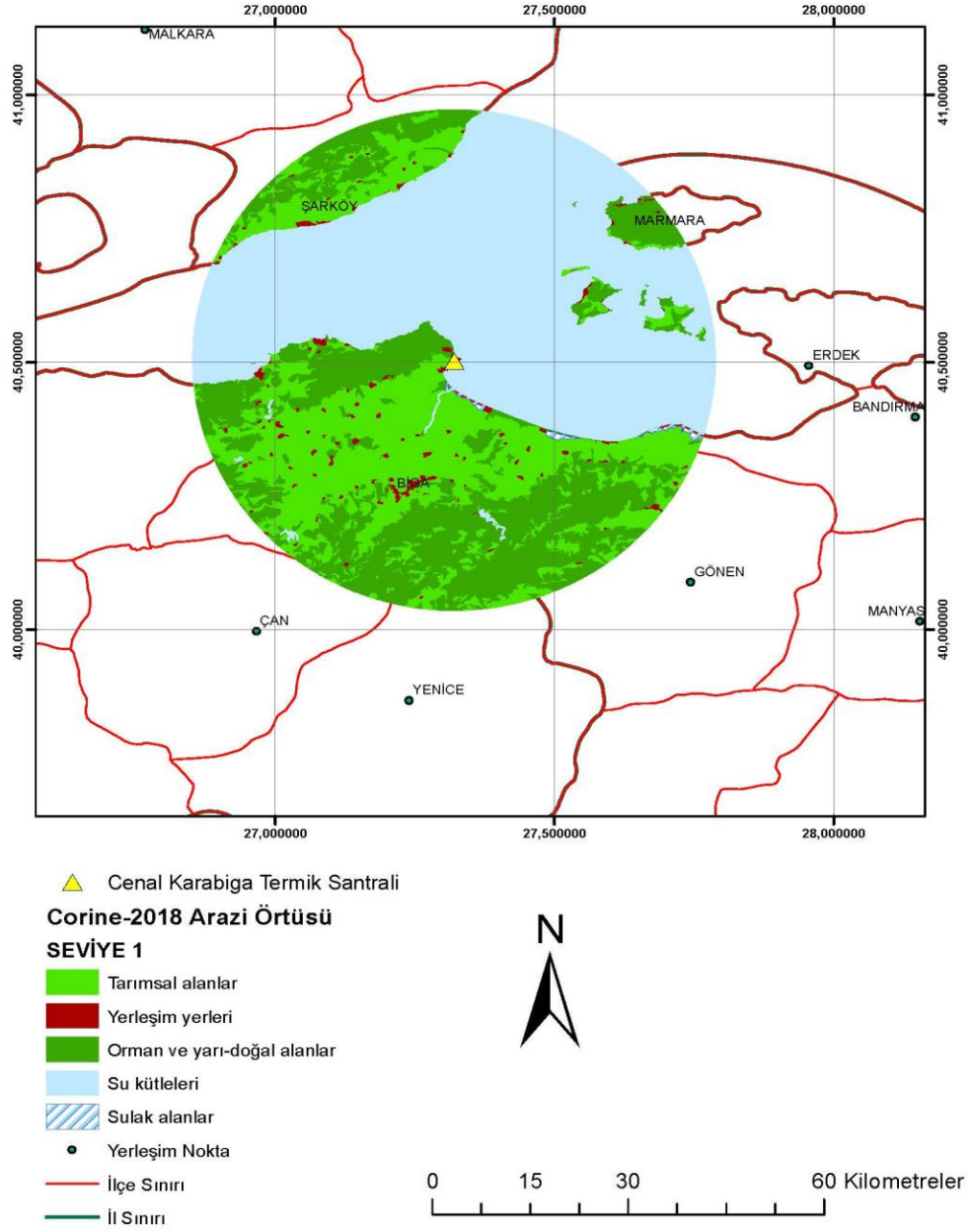


Şekil 4.40. Cenal Karabiga Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

Cenal Karabiga Termik Santrali merkez alınarak Corine 2018 Arazi Örtüsü verisiyle oluşturulan arazi kullanım haritasında (Şekil 4.41) 105632 hektar tarım arazisi, 6059 hektar yerleşim yeri ve 90475 hektar ormanlık alan olduğu görülmüştür. Cenal Karabiga Termik Santrali merkezli çalışma sahasında tarım arazilerinin yerleşim yeri ve ormanlık alana göre fazla oluşu dikkat çekmektedir. Biga ovası genel olarak hububat, sebze, meyve üretimi açısından önemli potansiyele sahiptir (Ekinci vd., 2008). Ancak

termik santralin bu çevrede kurulu olması tarım arazilerinin verimini tehdit eden bir unsur olarak gösterilebilir.

CENAL KARABİGA TERMİK SANTRALİ ve CORINE 2018 ARAZİ ÖRTÜSÜ



Şekil 4.41. Cenal Karabiga Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü.

4.2.4. İskenderun Sugözü ve Atlas Termik Santralleri Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları

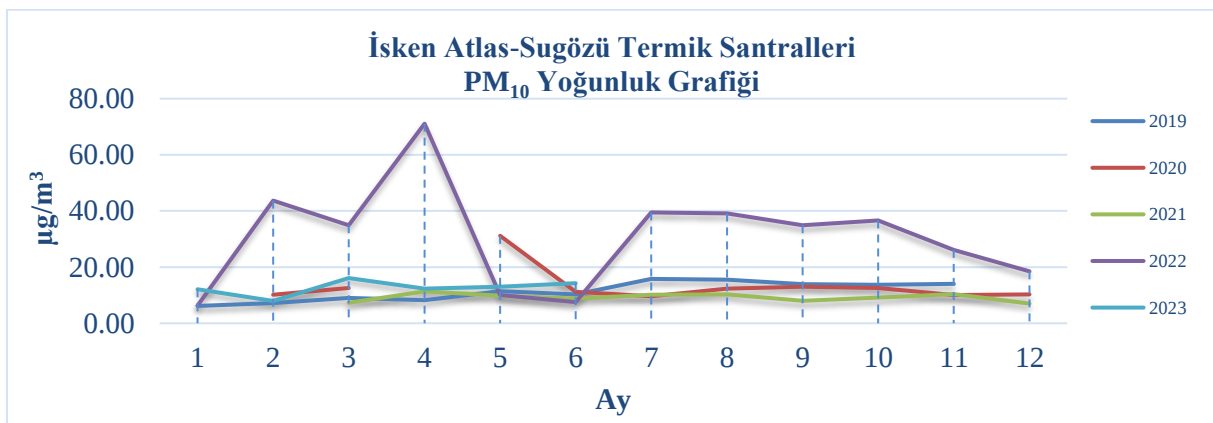
İskenderun Sugözü ve İskenderun Atlas termik santralleri için Hava Kalitesi İzleme İstasyonu olarak İskenderun istasyonu seçilmiştir. Bu istasyondan alınan veriler ile her iki santralin de analizini yapmak mümkündür. Santrallerin her ikisine de yakın olan bu istasyon verileri Şekil 4.102, Şekil 4.103, Şekil 4.105, Şekil 4.106 ve Şekil 4.108’de grafik ile gösterilmiş aynı zamanda aşağıdaki Tablo 4.5’te özetlenmiştir. Bu istasyonda $PM_{2.5}$ kirlenici ölçümleri yapılmamıştır.

2019 yılından itibaren ulaştığımız PM_{10} kirlenici verileri ölçümü 2019 ve 2020 yıllarında %53 gibi düşük bir oranla gerçekleştirilmiş ancak bu ölçümlerde limit aşımı değerleri yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. En çok ölçüm yapılan 2021 ve 2022 yıllarında ise 2021 yılında hiç limit aşımı olmamasına rağmen 2022 yılında %15 oranında limit değer aşılması gözlemlenmiştir. 2023 yılında ise altı ay ölçüm yapılmış ve %1 gibi çok küçük oranla limit değer aşılması izlenmiştir.

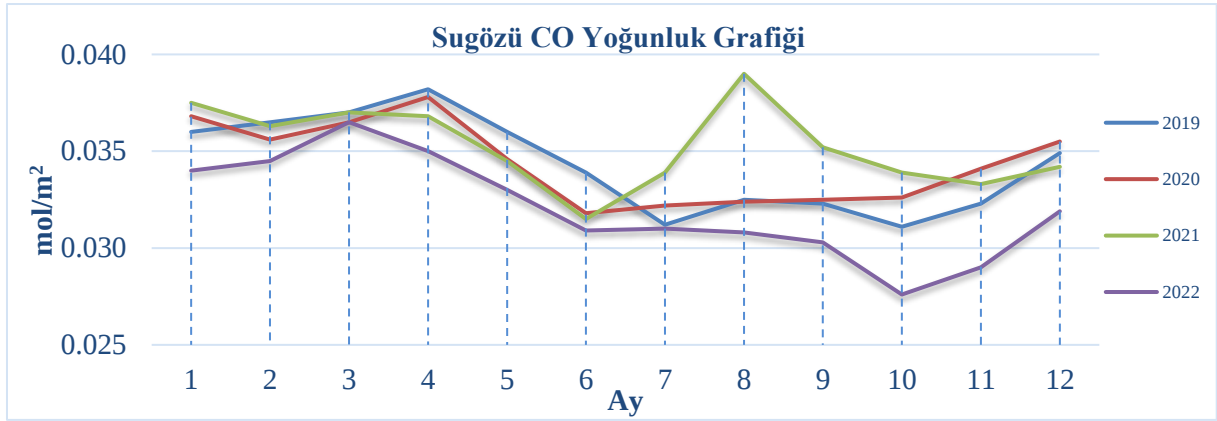
Tablo 4.6. İskenderun Sugözü ve Atlas Termik Santralleri PM_{10} Değerleri Analizi.

	2019	2020	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	195	194	296	316	169
Eksik Gün	170	171	69	49	14
Ölçüm Yüzdesi	53%	53%	81%	87%	93%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	0	4	0	47	2
Limit Değer Altında Kalan (gün)	195	190	296	269	167
Limit Değer Aşım Gün Yüzdesi	0%	2%	0%	15%	1%
Yıllık Ortalama Değer ($\mu g/m^3$)	12,64	12,53	9,56	29,94	12,69

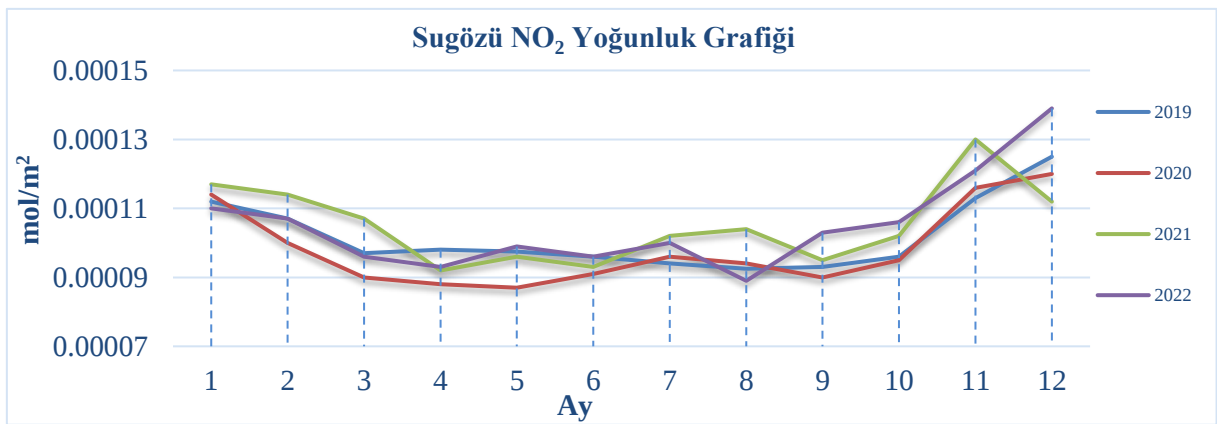
*2023 yılında ilk 6 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.



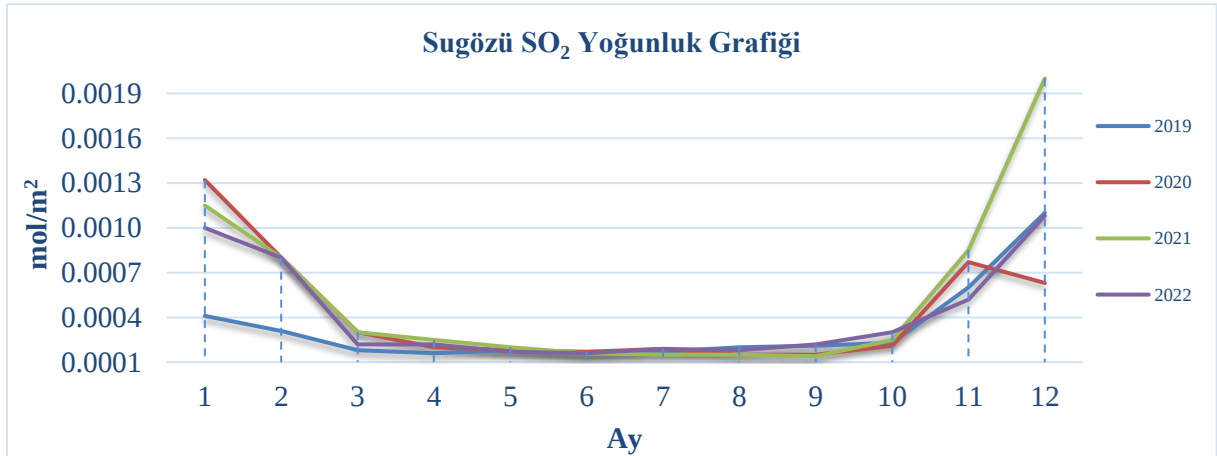
Şekil 4.42. İskenderun Sugözü-Atlas Termik Santralleri 2019-2023 yılları arası PM_{10} yoğunluğu grafiği ($\mu g/m^3$).



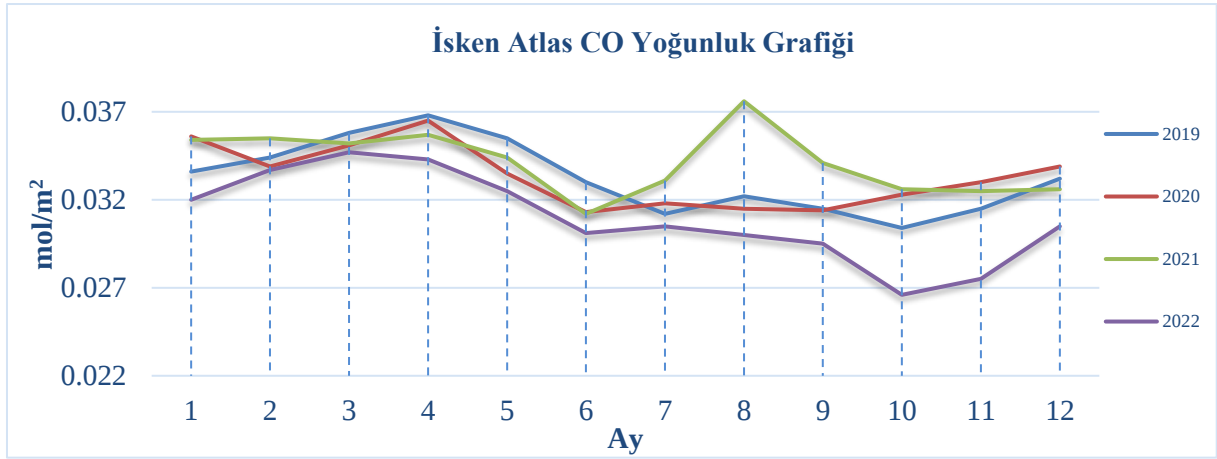
Şekil 4.43. Sugözü Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği (mol/m²).



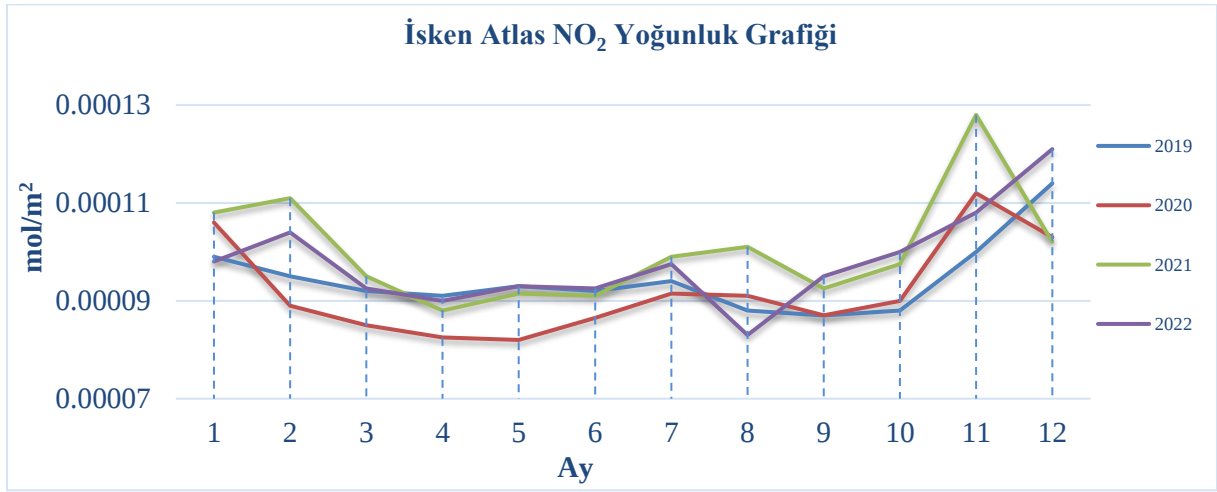
Şekil 4.44. Sugözü Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).



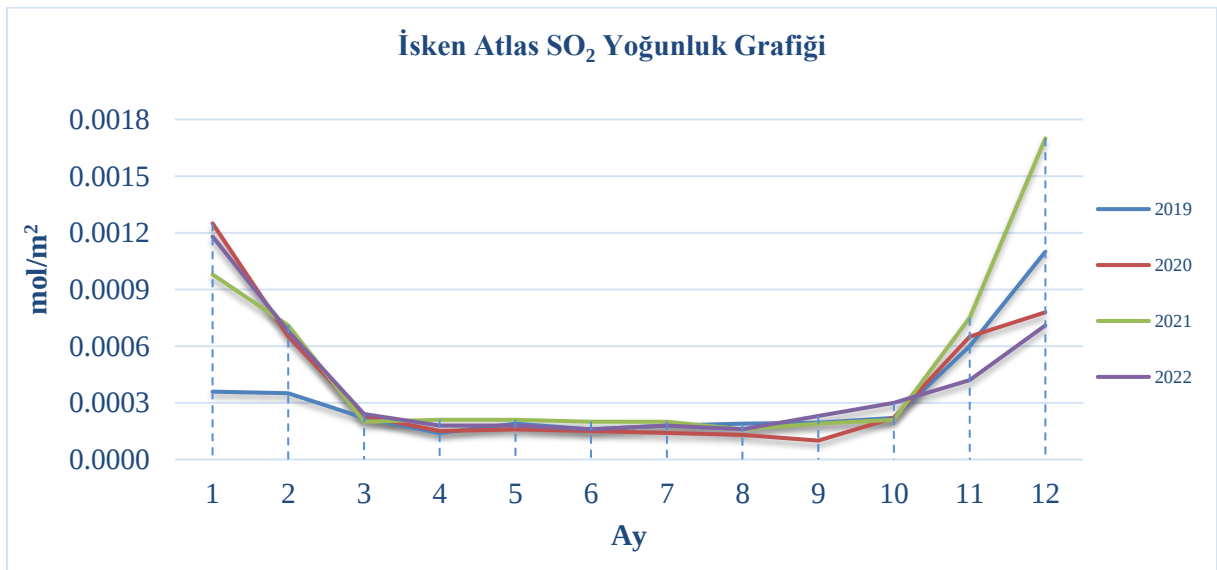
Şekil 4.45. Sugözü Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).



Şekil 4.46. İsken Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği (mol/m²).



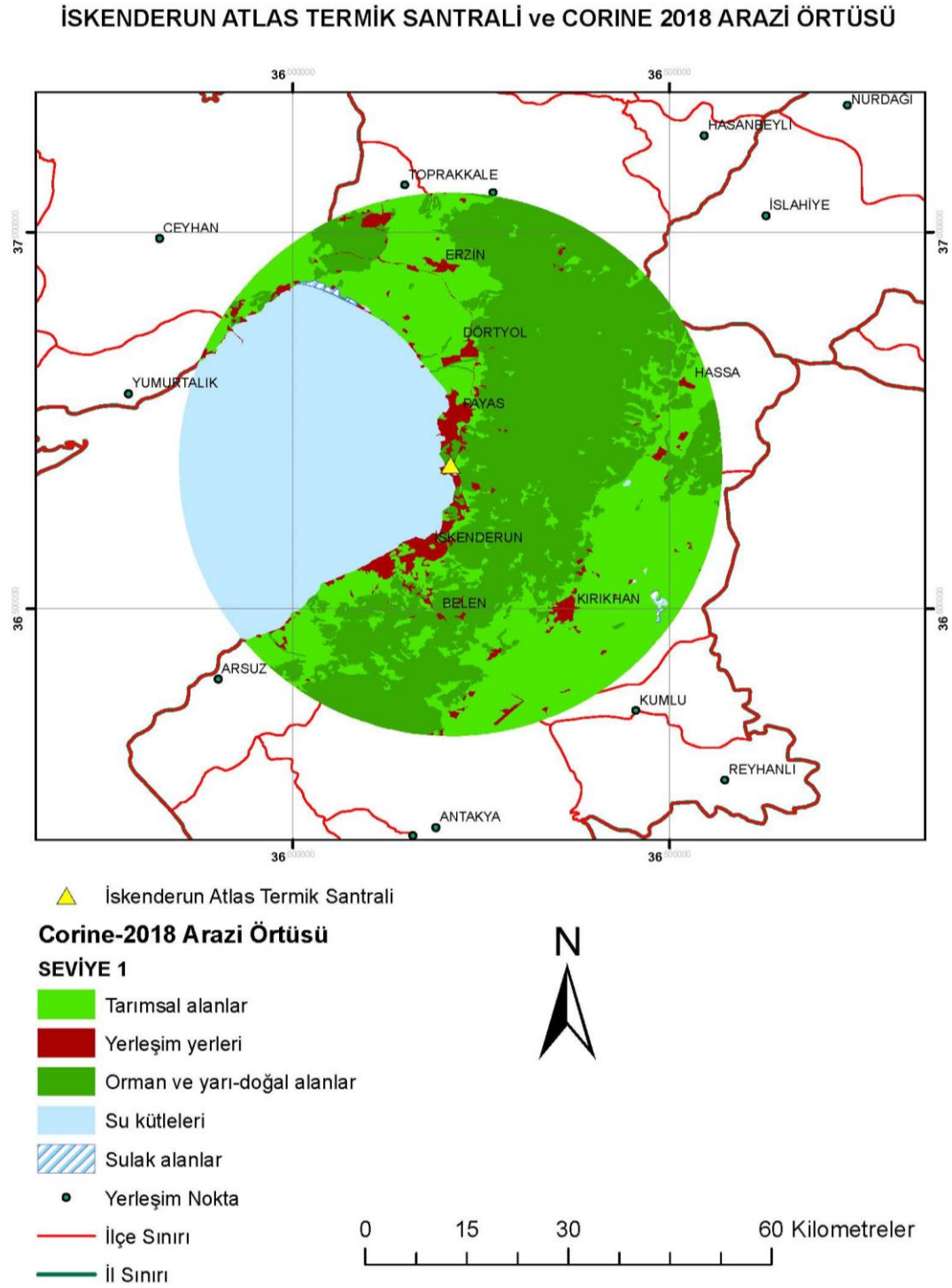
Şekil 4.47. İsken Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).



Şekil 4.48. İsken Atlas Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

İskenderun Atlas Termik Santrali merkez alınarak oluşturulan çalışma alanları içerisinde, Corine-2018 verileri kullanılarak yapılan arazi örtüsü haritalarında (Şekil 4.49) 124436 hektarlık tarımsal alan, 16108 hektarlık yerleşim yeri ve 145596 hektarlık ormanlık alan verisine ulaşılmıştır. Termik santralin yerleşim yerlerinin çok yakınında olması, çevreye yayılan zararlı gazların insan sağlığı üzerinde büyük bir tehdit oluşturduğunu düşündürmektedir. Ancak İskenderun Atlas Termik Santrali yakınlarında birçok sanayi merkezinin ve körfezin işlek bir nokta olması, oluşturabilecek sağlık sorunlarının tek odaklı olmasının önüne geçmektedir.

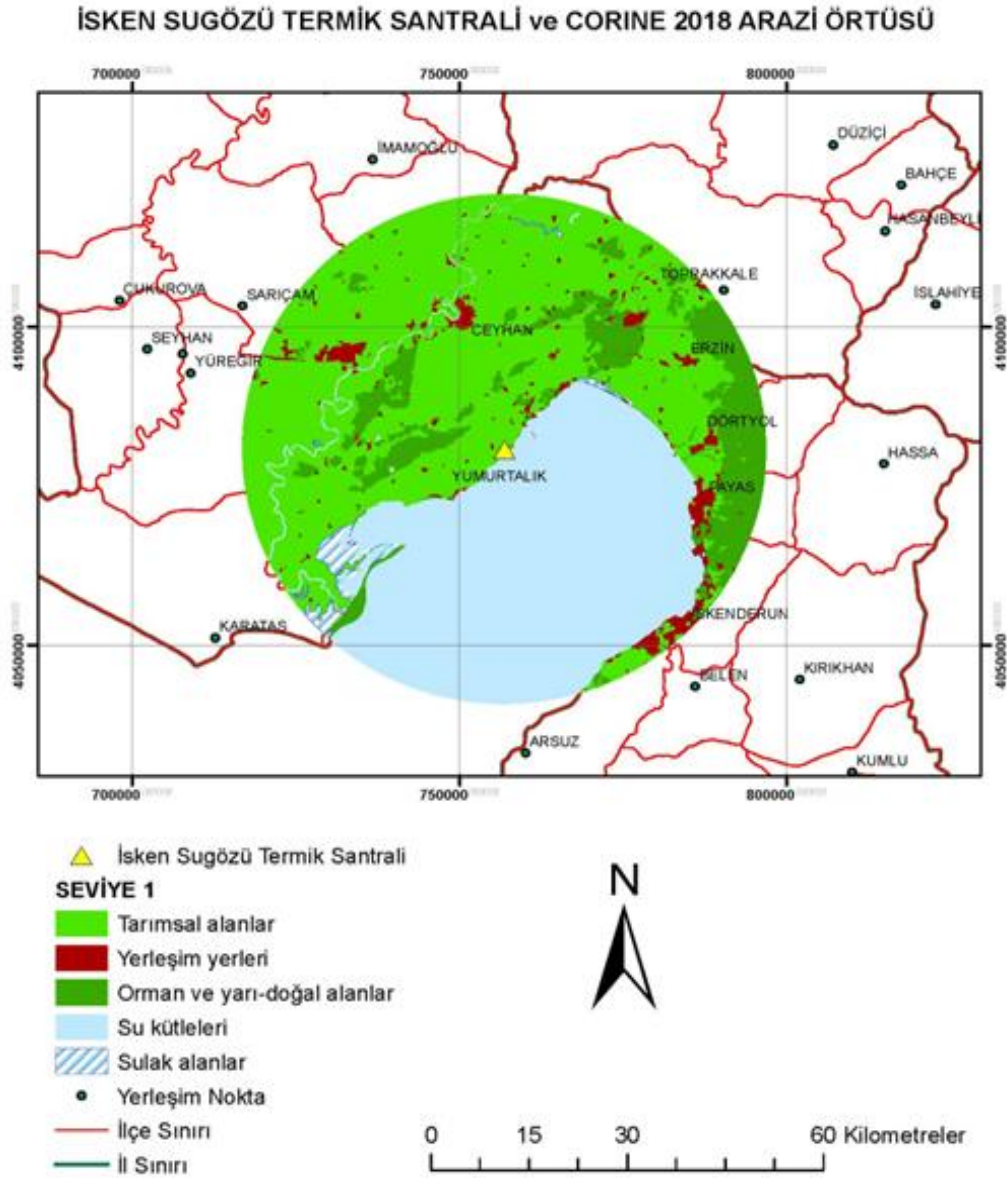




Şekil 4.49. İskenderun Atlas Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü.

İsken Sugözü Termik Santrali merkezli dairesel çalışma alanı için, Corine 2018 Arazi Örtüsü verileri ile hazırlanan haritada 235663 hektar tarımsal alan, 21569 hektar yerleşim yeri ve 54141 hektar ormanlık alan olduğu gözlemlenmiştir. Corine 2018 Arazi Örtüsü verileriyle oluşturulan haritalar göz önünde bulundurulduğunda en geniş tarımsal alanın ve yerleşim yeri sahasının İsken Sugözü Termik Santrali merkezli çalışma alanında olduğu görülmektedir. Bu yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların

yaşam kalitesini düşüren bir etkidir ifadesini akıllara getirmektedir. Ek olarak Şekil 4.50’de termik santralin tarımsal alanların çok yakınında olması ürün verimini düşürebilen bir faktör olarak düşünülebilir.



Şekil 4.50. İsken Sugözü Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü.

4.2.5. İçdaş Bekirli Termik Santrali Analizleri ve Arazi Örtüsü Sınıfları

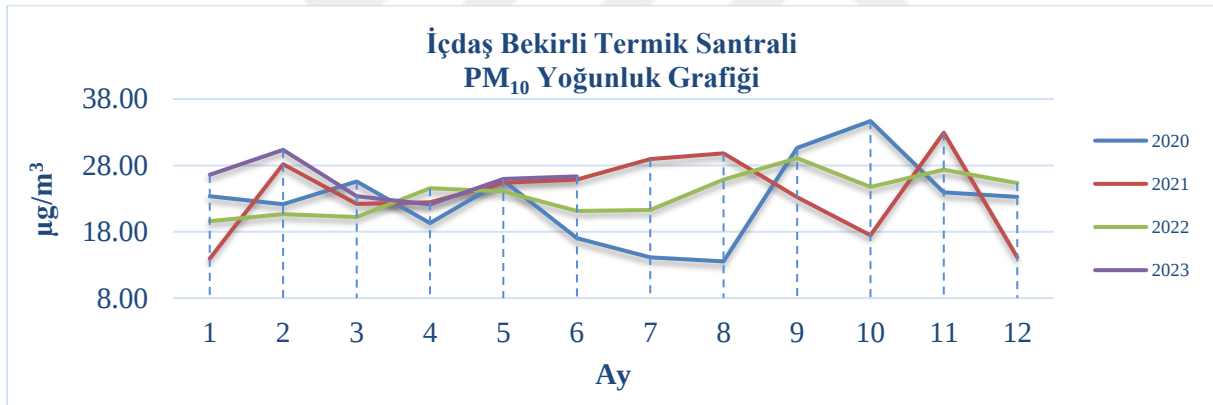
Cenal Karabiga Termik Santrali’nin bulunduğu bölgedeki Hava Kalitesi İzleme İstasyonu ile aynı bölgede bulunan İçdaş Bekirli Termik Santrali için de PM_{2.5} verilerine ulaşılamamıştır. Bu bölgede PM_{2.5} okuması yapılmamıştır. 2020 yılı itibari ile ulaştığımız PM₁₀ istasyon verileri, Tablo 4.5’te

görüldüğü üzere yüksek ölçüm yüzdesi ve düşük aşım değerleri göstermiştir. DSÖ kılavuzlarına göre günlük ortalamalarda limit değerin aşılması yıl içerisinde %6 oranda gerçekleşmiştir. Yine bu değerler göz önünde bulundurularak Türkiye standartlarına göre incelediğimizde bu oran %4'tür. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde, DSÖ limit değeri olan $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, her yıl aşılmıştır. Yine yıllık ortalama değerler Türkiye standartlarında belirtilen limit değeri olan $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün altında kalmıştır.

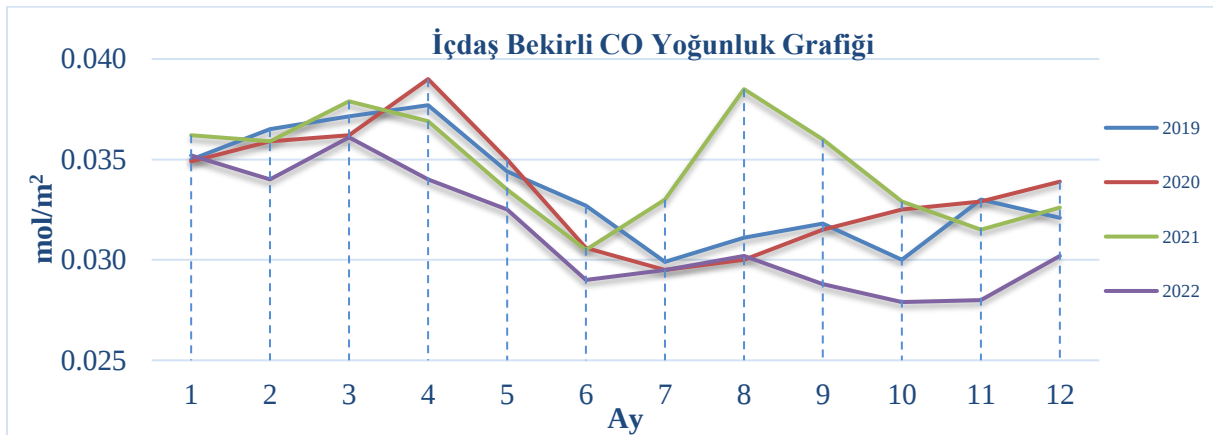
Tablo 4.7. İçdaş Bekirli Termik Santrali PM_{10} Değerleri Analizi.

	2020	2021	2022	2023*
Ölçüm Yapılan Gün	344	349	350	145
Eksik Gün	21	16	15	7
Ölçüm Yüzdesi	94%	96%	96%	95%
Limit Değer Aşım Adedi (gün)	21	13	16	6
Limit Değer Altında Kalan (gün)	323	336	333	139
Limit Değer Aşım Gün Yüzdesi	6%	4%	5%	4%
Yıllık Ortalama Değer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	22,70	23,51	23,63	25,90

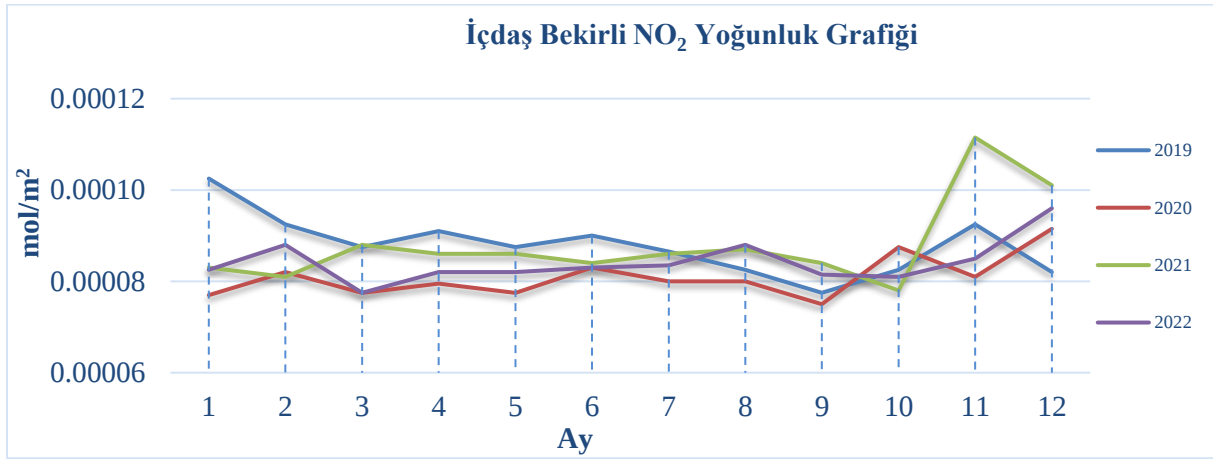
*2023 yılında ilk 5 ay ölçümleri dikkate alınmıştır.



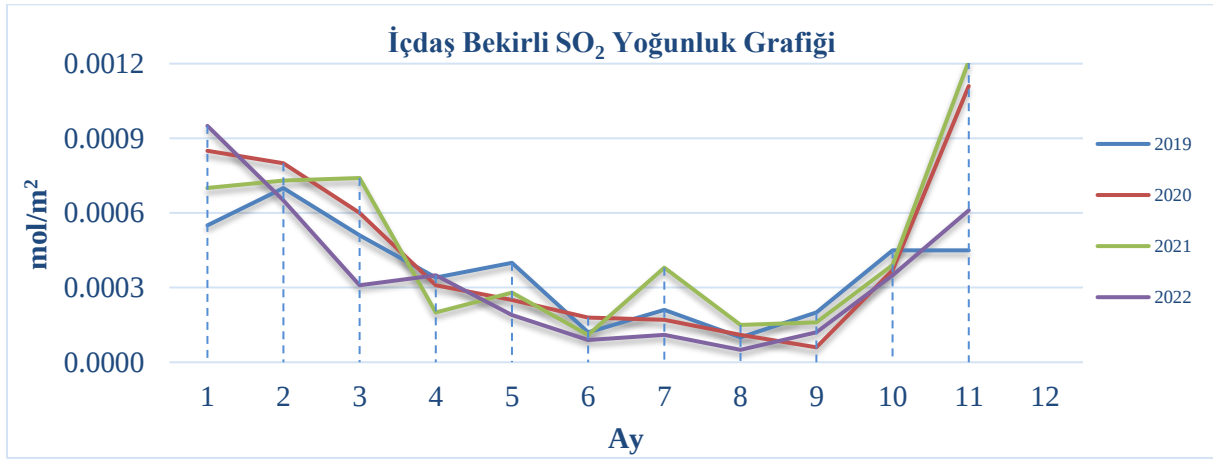
Şekil 4.51. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2020-2023 yılları arası PM_{10} yoğunluğu grafiği ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Şekil 4.52. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019-2022 yılları arası CO yoğunluğu grafiği (mol/m^2).



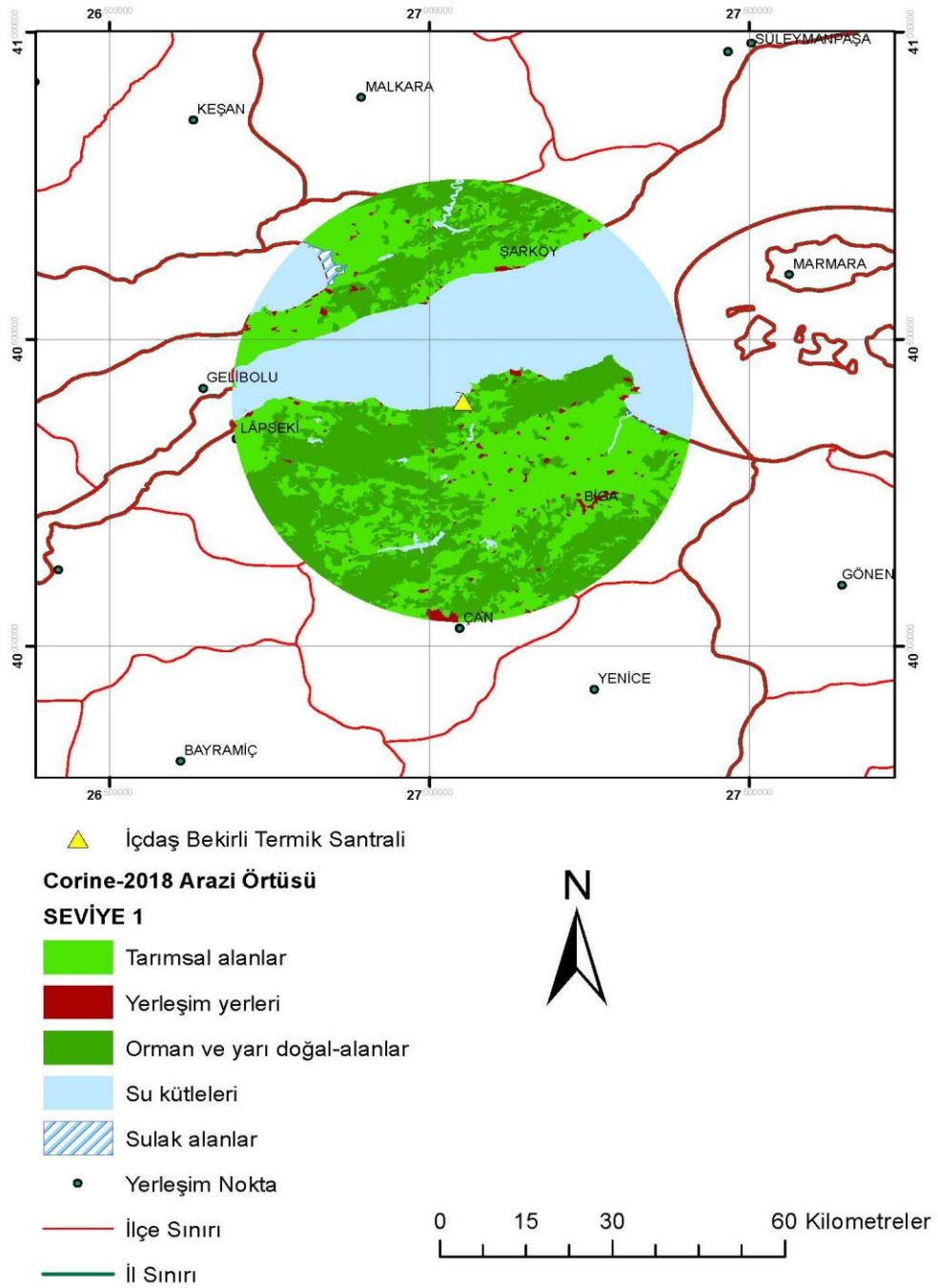
Şekil 4.53. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019-2022 yılları arası NO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).



Şekil 4.54. İçdaş Bekirli Termik Santrali 2019-2022 yılları arası SO₂ yoğunluğu grafiği (mol/m²).

İçdaş Bekirli Termik Santrali merkez alınarak oluşturulmuş çalışma alanı sınırları içerisinde, Corine 2018 Arazi Örtüsü verileri kullanılarak yapılan çalışmada (Şekil 4.55) 141746 hektarlık tarımsal alan, 7667 hektarlık yerleşim yeri ve 114961 hektarlık ormanlık alan bilgisi elde edilmiştir. Bu çalışma sahası içerisinde tarımsal alan ve ormanlık alan varlığının geniş yer kaplaması, doğal yaşamı tehdit eden ve tarım arazilerinden elde edilen ürünlerin verimini düşüren bir faktör olarak düşünülmektedir.

İÇDAŞ BEKİRLİ TERMİK SANTRALİ ve CORINE 2018 ARAZİ ÖRTÜSÜ



Şekil 4.55. İçdaş Bekirli Termik Santrali ve Corine 2018 Arazi Örtüsü.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Belirlenen termik santraller merkez kabul edilerek oluşturulan, yarıçapı 30 ila 40 km aralığında değişen çalışma alanlarında Sentinel 5P TROPOMI cihazından alınan CO, NO₂ ve SO₂ gaz emisyon değerlerinin mekânsal dağılımının; kullanılan filtreye, diğer termik santrallerin ve endüstri merkezlerinin bu çalışma alanına yakınlığına, kömürün cinsine ve yerleşim bölgelerine uzaklığına göre genel anlamda değiştiği gözlemlenmiştir.

Ülkemizde hava kirletici emisyonlardan özellikle PM_{2.5} kirleticisinin ölçümü çok düşük seviyede olduğu görülmüştür. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Sürekli İzleme Merkezi'ne ait ölçüm istasyonu sayısı 257'dir. Bu 257 adet istasyondan sadece 173 tanesinin PM_{2.5} ölçümü için altyapısı bulunmaktadır. Ancak PM_{2.5} ölçümü yapan sadece 62 adet istasyon olduğu ve bu istasyonların 8 ili kapsadığı görülmüştür. 73 ilde PM_{2.5} ölçümü halen yapılamamaktadır. Ayrıca ölçüm yapılan istasyonların verilerine göre Türkiye'de PM_{2.5} değerleri, DSÖ'nün limit değerlerinin her zaman üzerinde kalmıştır (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2020).

Sentinel 5P TROPOMI cihazından alınan SO₂, NO₂ ve CO gaz konsantrasyonları yoğunluklarına ilişkin yapılan dört senelik (2019-2022) çalışmalarda harita analizleri sonucu kullanılan üç parametre için de yoğunluğun genellikle termik santral ve çevresinde arttığı gözlemlenmiştir. Bu kaniya uymayan tek yer olarak İsen-Sugözü Termik Santrali gösterilebilir. Başlıca sebebinin Payas bölgesindeki endüstri tesislerinden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Zonguldak Eren Termik Santralleri çevresinde araştırılan hava kirletici emisyonlardan bu üç parametrenin de yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra Çaycuma ve Kozlu ilçelerinde de bu gaz konsantrasyonlarındaki yoğunluğun gözlemlendiği belirtilmiştir. Temel sebep, burada bulunan fabrikalar ve Çatalağzı Termik Santrali'nin bacalarından havaya karışan kirletici emisyonlar olarak belirtilmiştir.

Çalışmanın termik santral ve çevresindeki bölgeler için yapılması bu alandaki hava kirliliğinin ne kadarlık bir kısmının termik santral nedeni olduğunu araştırabilmektir. İki farklı kaynağın kullanılmasının sebebi ise yersel istasyonlardan alınan veriler ve uydu bazlı veriler arasında karşılaştırma yapabilmek, birbirleriyle olan ilişkilerini analiz edebilmektir.

Cenal Karabiga ve İçdaş Bekirli Termik Santralleri'nde benzer sonuçlar elde edilmiştir. İncelenen tüm termik santrallerde NO₂ yoğunluğunun 2020 senesinde azaldığı ve COVID-19 pandemisiyle ilişkili olduğu görülmektedir. SO₂ yoğunluğunun Afşin-Elbistan bölgesinde maksimum seviyede olduğu görülmüştür. Diğer termik santrallerde SO₂ yoğunluğunu termik santral ve çevresinde gözlemek mümkündür; ancak Afşin-Elbistan için bariz bir şekilde termik santral çevresinde yoğunlaşma vardır. Bunun temel sebebi olarak Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri'nde kullanılan düşük kaliteli ve kömür (S) içeriği yüksek linyit kömürünün kullanılması gösterilebilir.

Yersel verilerle yapılan çalışmalarda detaylı ve nitelikli verilerin elde edilmesi daha güçken uydu verileriyle yapılan çalışmalarda bölgesel anlamda hassas sonuçların elde edilmesi daha kolaylaşmaktadır. Bu örnekte de görüldüğü üzere Sentinel 5P uydu verileri kullanılarak Afşin-Elbistan

A ve B Termik Santrali merkezli 40 km yarıçaplı dairesel bir alan içerisinde elde edilen bulgular daha incelikli sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Yersel verilerde çalışma prensibi gereği termik santrale en yakın istasyon neredeyse bu vericiden elde edilen bilgiler ışığında bir çalışma gerçekleştirilebilir. Ancak Sentinel 5P TROPOMI cihazından alınabilecek verilerin tüm hava kirletici emisyonları içermemesi sebebiyle, yine insan sağlığı üzerinde büyük tehdit oluşturan $PM_{2.5}$ ve PM_{10} emisyonları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Sürekli İzleme Merkezi'nden elde edilen verilerle değerlendirilmiş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Bazı istasyonlardan $PM_{2.5}$ verisi bulunamamıştır. Veriler grafikler üzerinde aylık bazda gösterilmiş ve Afşin-Elbistan A ve B Termik Santralleri ile Zonguldak Eren Termik Santralleri'nden elde edilen CO, NO₂ ve SO₂ değerleri grafikler üzerinde incelendiğinde bu emisyon gazları ile PM_{10} arasında bir benzerlik gözlemlenmiştir.

Sentinel 5P uydu verileri kullanılarak hava kirletici emisyonların yoğunluğunu termik santral çevresinde belirlemek amaçlı oluşturulan dairesel çalışma alanları sınırları içerisinde Corine-2018 Arazi Örtüsü verileri kullanılarak arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen haritalarda Seviye 1 verileri kullanılmıştır ve tarımsal alan, yerleşim yeri, ormanlık alan verileri elde edilen haritalar üzerinden ayrı ayrı hesaplanıp yorumlanmıştır. Genel anlamda, hesaplanan alanlar için en geniş tarımsal alan ve yerleşim yeri bilgisine ulaşılan termik santralin İskenderun Termik Santrali olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra İçdaş Bekirli Termik Santrali hariç çalışmaya konu diğer altı termik santralin yerleşim yeri ve tarım arazilerinin çok yakınında kurulduğu görülmektedir. İçdaş Bekirli Termik Santrali ise ormanlık alan yakınında kurulmuş bir termik santraldir. Ormanlık alan verisi en geniş termik santralin Afşin- Elbistan A ve B Termik Santralleri olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer beş çalışma alanı içerisinde coğrafi konum itibarıyla sulak alan ve deniz vs. olduğu görülmektedir; ancak Afşin- Elbistan Termik Santrali merkezli çalışma alanı içerisinde bunun çok çok az bir alanda olduğu fark edilmektedir. Bu sonuç, Afşin-Elbistan şehir merkezinde, kırsalda veya ormanlık alan bölgesinde yaşayan canlıların ve insanların termik santralin sebep olduğu kirlilikten etkilenme oranının arttığı düşüncesini destekler niteliktedir.

KAYNAKLAR

Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M.İ., Öztürk, G. & Ulutak, E. (2021). “Google Earth Engine ile arazi kullanım haritalarının üretimi.” Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 10, No. 1, s. 38-47.

Alagöz, İ., Bahayetmez, A., Karakaya, F.S., Özcan, H.K., Sadıkoğlu, H.Ö., Özen, Ö., Ulugöl, S., (Sümer, A., Başaran, M., Ülker, S., Atan, İ., Ekin, E., Arı, O., editörler) (2023). Kömür Politikaları, Türkiye Elektrik Sanayi Birliği, Ankara, Türkiye.

Algedik, Ö. (2015). Afşin-Elbistan Termik Santralleri- Elektrik üretiminden çok iklimi değiştiriyor. 28 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.onderalgedik.com/wp-content/uploads/2019/10/Afs%CC%A7in-Elbistan-Termik-Santralleri-Raporu.pdf> adresinden erişilmiştir.

Amann, A., Klimont, Z. ve Wagner, F. (2013). “Regional and global emissions of air pollutants: Recent trends and future scenarios.” Annual Review of Environment and Resources, Vol. 38, pp. 31-55.

Ankara Üniversitesi (2023). Çevre Kirliliği. 7 Mayıs 2023 tarihinde https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/198079/mod_resource/content/1/2.%20Hafta-%C3%87K.pdf adresinden erişilmiştir.

Arslan, S.E. (2010). 18 Mart Çan Termik Santrali’nin Yakın Çevresinde Yarattığı Kükürtdioksit Kirliliğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.

Atbinici, M. (2022). Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Hava Kalitesi Parametrelerinin CBS Kullanılarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye.

Ayan, E. (2008). Türkiye’nin Batı Bölgelerinde İklim Değişimi ve Kömürle Çalışan Termik Santrallerden Kaynaklanan CO₂ Emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Avcı, S. (2005). Türkiye’de Termik Santraller Ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (2023). Hava Kirliliği. 10 Mayıs 2023 tarihinde <https://meteoroloji.boun.edu.tr/havakirliligi.php> adresinden erişildi.

Cengiz, M. A., Şenel, T., Terzi, E., Savaş, N. ve Terzi, Y. (2013). “Samsun Bölgesindeki Hava Kirliliğinin Neden Olduğu Hastalıkların İstatistiksel Modellenmesi.” Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 3, No. 8, s. 27-36.

Chew, N.W.S., Lee, G.K.H., Tan, B.Y.Q., Jing, M., Goh, Y. & Sharma, V.K. (2020). “A multinational, multicentre study on the psychological outcomes and associated physical symptoms amongst healthcare workers during COVID-19 outbreak,” National Library of Medicine, Vol. 88, pp. 559-565.

Çakmak, N. (2022). NO₂, CO ve SO₂ Gaz Emisyonlarının Sentinel-5P Tropomi İle Google Earth Engine Ortamında İzlenmesi: Marmara Bölgesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Çelikoğlu, M. (1999). Kocaeli ilinde hava kirliliği ve meteorolojik faktörlerin astım bronşiale üzerindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.

Çermikli, A.H. ve Tokatlıoğlu, İ. (2015). “Yüksek ve orta gelirli ülkelerde teknolojik gelişmenin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisi.” Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 12, No. 32, s. 1-22.

Değer, S.S. (2022). Yüksek Çözünürlüklü Uydu Verileri Kullanılarak Kömür Yakıtlı ve Jeotermal Santrallerden Kaynaklı SO₂ Kirliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Elektrik Elektronik Teknolojisi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara (2011), 18 Haziran 2023 tarihinde

http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Enerji%20%C3%9Cretimi.pdf

adresinden erişildi.

Eken, M., Ceylan, A., Taştekin, A.T., Şahin, H. ve Şensoy, S. (2022). Klimatoloji 2. 3 Haziran 2023 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/klimatoloji2.pdf> adresinden erişildi.

Enerji Atlası, (2023). Kömür ve Linyit Yakıtlı Termik Santraller. 9 Haziran 2023 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/komur> adresinden erişildi.

EPA- Environment Protection Agency (2023). Particulate Matter (PM) Basics. 4 Haziran 2023 tarihinde <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> adresinden erişildi.

Erdoğan, S. (2020). “Enerji, çevre ve sera gazları.” Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt 10, No. 1, s. 277-303. Doi: 10.18074/ckuiibfd.670673.

Ergüler, G. K., Bayındır, F. M. ve Dağlıyar, A. (2021). “Kütahya termik santrallerinden salınan uçucu kül etkilerinin uzaktan algılama yöntemleri ile Araştırılması.” Maden Tetkik ve Arama Dergisi, Cilt 166, s 1-18.

ETKB- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023). Kömür. 18 Mayıs 2023 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabii-kaynaklar-komur> adresinden erişildi.

Feizizadeh, B., Omarzadeh, D., Garajeh, M. K., Lakes, T. and Blaschke, T., (2021). “Machine learning data- driven approaches for land use/cover mapping and trend analysis using Google Earth Engine.” Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 66, No.3, pp. 665-697. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.2001317>.

Ghahremanloo, M., Lops, Y., Choi, Y. & Mousavinezhad, S. (2021). Impact of the COVID19 outbreak on air pollution levels in East Asia. Science of the Total Environment, Vol. 754, No. 142226, pp. 1-14.

Ghannadi, M.A. (2021). “Evaluation Of Sulfur Dioxide Emissions In Thermal Power Plant and Its Effect On Air Quality In The Neighboring City Using Sentinel-5 Images (Case Study: Iran, Arak), Department Of Surveying Engineering, Arak University Of Technology, Daneshgah, Vol.5, No.1, pp.36-45. DOI:10.22059/EOGE.2022.332834.1106.

Greenberg, M. ve Truelove, H.B. (2011). “Energy choices and risk beliefs: Is it just global warming and fear of a nuclear power plant accident?” Risk Analysis, Vol. 31, No.5, pp. 819-831.

Health and Environment Alliance (2021). Türkiye’de kronik kömür kirliliği. 20 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.envhealth.org/wp-content/uploads/2021/02/Chronic-Coal-Pollution-Turkey-TR.pdf> adresinden erişildi.

IEA - International Environment Agency (2018). CO₂ Emissions From Fuel Combustion. Statistics3 Mayıs 2023 tarihinde https://www.academia.edu/38020558/CO2_Emissions_from_Fuel_Combustion_2018_Highlights adresinden erişildi.

İlbaş, M. ve Yılmaz, M. (2002). “Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması.” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 18, No. (1-2), s. 18-27.

İlkılıç, C. ve Behçet, N. (2006). “Hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkisi.” Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, Cilt 5, No. 1, s. 66-72.

İklim Haber (2022). ÇİSİP: Türkiye'nin 2029 hava kirliliği sınır değerleri hedefi DSÖ tavsiyesinin 5 katı. İklim Haber. 11 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.iklimhaber.org/cisip-turkiyenin-2029-hava-kirliligi-sinir-degerleri-hedefi-dso-tavsiyesinin-5-kati/> adresinden erişildi.

Kanniah, K. D., Zaman, N. A. F. K., Kaskaoutis, D. G., & Latif, M. T. (2020). "COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region." *Science of the Total Environment*, Vol. 736, pp. 1-11.

Kartal, E. (2001). "Yanma ve yanmanın optimizasyonu." *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, Cilt 16, s. 1-4.

Kaytakoğlu, S., Var, F., Öcal, S. E. (1995). "Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlilik ve giderme yöntemleri." *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu*, Ankara, Türkiye.

Keivani, B., Olgun, H. ve Atımtay, A.T. (2021). "Biyokömür-Soma kömür karışımlarının oksijenleme koşullarında birlikte yakılmasının deneysel incelenmesi ve emisyonlar üzerindeki etkileri." *Mühendis ve Makina*, Cilt 62, No 705, s. 731-749.

Kim, S. W., Heckel, A., McKeen, S. A., Frost, G. J., Hsie, E. Y., Trainer, M. K., ... & Grell, G. A. (2006). "Satellite-observed US power plant NO_x emission reductions and their impact on air quality." *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No. 22,

Kjellsen, K. O., Detwiller, R. J. and Gjorv, O. E. (1990). "Backscattered electron imaging of cement pastes hydrated at different temperatures." *ACI Materials Journals*, Vol. 20, No. 2, pp. 308-311.

Koç, E. ve Kaya, K. (2015). "Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu." *Mühendis ve Makina*, Cilt 56, No. 668, s. 36-47.

Kont, C.ve Kızıloğlu, T. (2003). "Asit yağmurlarının canlılar üzerine etkileri." *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 34, No. 2, s. 217-221.

Kopas, J., York, E., Xiaomeng, J., Harish, S.P., Ryan, K., Shen, S.V. & Urpelainen, J. (2020). "Environmental Justice in India: Incidence of Air Pollution From Coal-Fired Power Plants." *Ecological Economics*, Vol.176, pp. 1-37. DOI:10.1016/j.ecolecon.2020.106711.

Kurt, Ç. (2014). *Adana Tufanbeyli Linyit Kömürünün Tanecik Boyutunun Yanma Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale." *Nature*, Vol. 525, No. 7569, pp. 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>.

Mesas-Carrascosa, F. J., Pérez Porras, F., TriviñoTarradas, P., García-Ferrer, A. & MeroñoLarriva, J. E. (2020). “Effect of lockdown measures on atmospheric nitrogen dioxide during SARS-CoV-2 in Spain.” Remote Sensing, Vol. 12(14), No. 2210, pp.1-15.

Mutanga, O., Kumar L. (2019). “Google Earth Engine Applications.” Remote Sensing, Vol. 11, pp.591-595.

OECD (2019). OECD Çevresel Performans İncelemeleri: Türkiye 2019. 2 Temmuz 2023 tarihinde https://read.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-cevresel-performans-incelemeleri-turkiye-2019_653318da-tr#page1 adresinden erişildi.

Our World in Data (2022). Share of electricity production from coal, 2022. University of Oxford. 11 Mayıs 2023 tarihinde <https://ourworldindata.org/grapher/share-electricity-coal> adresinden erişildi.

Özdemir, Y. (2013). Afşin-Elbistan Termik Santrallerinin Çevresel Etkileri: Mesafe Tabanlı Algı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

Reyhanlı, A. C. (2004). Afşin-Elbistan Termik Santralının Yaban Hayatı ve Bazı Çevresel Faktörler Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kahramanmaraş, Türkiye.

Saxena, P. and Naik, V. (2018). Air Pollution: Sources, Impacts and Controls. Centre for Agriculture and Bioscience International. 25 Nisan 2023 tarihinde https://www.researchgate.net/publication/343738095_Air_Pollution_Sources_Impacts_and_Controls#fullTextFileContent adresinden erişildi.

Saxena, M., Sharma, A., Sen, A., Saxena, P., Mandal, T. K., Sharma, S. K. and Sharma, C. (2017). “Water soluble inorganic species of PM10 and PM2.5 at an urban site of Delhi, India: Seasonal variability and sources.” Atmospheric Research, Vol.184, pp. 112-125.

Say, N. (2006). “Lignite-fired Thermal Power Plants and SO₂ Pollution in Turkey.” Çukurova Üniversitesi, Energy Policy, Vol. 34, No. 17, pp. 2690-2701. DOI:10.1016/j.enpol.2005.03.006.

Sazib, N., Mladenova, I. & Bolten, J. (2018). “Leveraging the Google Earth Engine for Drought Assessment Using Global Soil Moisture Data.” Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 10, No. 8, pp. 1265.

Schwartz, J. (1999). “Air Pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties.” Epidemiology, Vol. 18, No.1, pp. 17-22.

Seymore, R., Inglesi-Lotz, R. and Blignaut, J. 2014. “A greenhouse gas emissions inventory for South Africa: a comparative analysis.” Renewable Sustainable Energy Reviews, Vol. 34, pp. 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.028>.

Shikwambana, L., Mhangara, P. and Mbatha, N. (2020). “Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5P data.” Int J Appl Earth Obs Geoinformation, Vol 91, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102130>.

Sloss, L.L. and Smith, I.M. (2000). “PM10 and PM 2.5: an international perspective.” Fuel Processing Technology, Vol. 65-66, pp. 127-141.

Statista (2022). Share of electricity production in Turkey-2022. 4 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.statista.com/statistics/1372076/turkey-export-volume-of-coal-by-type/> adresinden erişildi.

Şahin, H.E. (2012). Kritik-Üstü Tip Bir Buharlı Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2023). Elektrik. 8 Haziran 2023 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> adresinden erişildi.

Tekel, E. (2006). Termik Santrallerin Enerji Ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.

Temiz Enerji (2022).Dünya ve Türkiye enerji görünümü gelecek yaklaşımları. 2 Mayıs 2023 tarihinde <https://temizenerji.org/2022/10/27/dunya-ve-turkiye-enerji-gorunumu-gelecek-yaklasimlari/> adresinden erişildi.

Temiz Hava Hakkı Platformu (2020). Kara rapor, hava kirliliği ve sağlık etkileri. 23 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2020/09/Kara-Rapor-2020-Son27082020.pdf> adresinden erişildi.

Temiz Hava Hakkı Platformu (2021). Kara rapor, hava kirliliği ve sağlık etkileri. 21 Mayıs 2023 tarihinde <https://www.temizhavahakki.com/wp-content/uploads/2021/09/KaraRapor2021.pdf> adresinden erişildi.

Temiz Hava Hakkı Platformu (2022). Kara rapor, hava kirliliği ve sağlık etkileri. 24 Mayıs 2023 tarihinde https://www.temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2023/03/KaraRapor_v6.pdf adresinden erişildi.

Tezel, B.K. (2018). “Türkiye’de SO₂ Kirliliğinin Uzaktan Algılama Yöntemi İle Değerlendirilmesi.” Tubitak Proje No:114Y159, Proje Türü:3501-Kariyer, Tubitak.

Tuncel, G. (2013). “Türkiye’de Hava Kirliliği Çalışmaları-1.” Hava Kirliliği Araştırma Dergisi, 2(2013), Cilt 13, s.103-104.

Tükel, S. (2016). Biokimya. Seçkin Matbaası, Ankara, Türkiye.

Türkeş M. (2012). “Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme.” Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, Cilt 4, No.2, s. 1-32.

TKİ - Türkiye Kömür İşletmeleri (2018). Kömür Sektör Raporu (Linyit) 2017. 4 Mayıs 2023 tarihinde https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2019/05/2017-K%C3%B6m%C3%BCr-Sekt%C3%B6r-Raporu_21.02.19.pdf adresinden erişildi.

World Air Quality Index (2023). Dünyanın Hava Kirliliği: Gerçek Zamanlı Hava Kalitesi Endeksi, 3 Haziran 2023 tarihinde <https://waqi.info/tr/> adresinden erişildi.

Yasan, D. (2022). Kentleşme ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişkinin Google Earth Engine İle İncelenmesi: İstanbul Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Yıldız, D., Özgüler, H. ve Kandemir, F.A. (2021). Kömür-enerji-su kömür yakıtlı termik santrallerimizin su kullanımları ve atıkları (Rapor No. 40). Ankara.

Yılmaz, M. (2019). “Manisa Merkez ve Soma İlçesi 2017 Yılı Hava Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi.” Kocatepe Tıp Dergisi, Vol.20, No. 2, pp. 77-82. DOI:10.18229/kocatepetip.408426.

Zhang, G., Xu, H., Wang, H., Xue, L., He, J., Xu, W. & Meng, X. (2020). “Exploring the inconsistent variations in atmospheric primary and secondary pollutants during the 2016 G20 summit in Hangzhou, China: implications from observations and models.” Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 20, No. 9, pp.5391-5403.

Zehnder, C., Manoylov, K., Mutiti, S., Mutiti, C., Vandevoort, A. (2018). Introduction to Environmental Science: 2nd Edition. 2 Temmuz 2023 tarihinde <https://oer.galileo.usg.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=biology-textbooks> adresinden erişildi.

Zheng, B., Zhang, Q., Geng, G., Chen, C., Shi, Q., Cui, M., Lei, Y. and He, K.(2021). “Changes in China's anthropogenic emissions and air quality during the COVID-19 pandemic in 2020.” Earth System Science Data, Vol. 13, No. 6, pp. 2895-2907.

Zouboulis, A.X. and Tzimou-Tsitouridou, R., 1990. “Fly ash utilization in environmental engineering. the case of Greece, Reclamation,, treatment and utilization of coal, mining wastes.” Rainbow, Balkema, Rotterdam, pp. 493-499.



