



T.C.
NIĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



NIĞDE (TÜRKİYE)'DE AERMOD HAVA KALİTESİ DİSPERSİYON MODELİ İLE
PM10 KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

MUHAMMET ANIL AYDOĞMUŞ

MART 2025

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

NİĞDE (TÜRKİYE)'DE AERMOD HAVA KALİTESİ DİSPERSİYON MODELİ İLE
PM10 KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

MUHAMMET ANIL AYDOĞMUŞ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Neslihan DOĞAN-SAĞLAMTİMUR

Mart 2025

Muhammet Anıl AYDOĞMUŞ tarafından **Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR** danışmanlığında hazırlanan “**Niğde (Türkiye)’de AERMOD Hava Kalitesi Dispersiyon Modeli ile PM10 Kirliliğinin Değerlendirilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Melayib BİLGİN
Aksaray Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Selma YAŞAR KORKANÇ
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Mustafa KARATEPE
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Muhammet Anıl AYDOĞMUŞ



ÖZET

NİĞDE (TÜRKİYE)'DE AERMOD HAVA KALİTESİ DİSPERSİYON MODELİ İLE PM10 KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AYDOĞMUŞ, Muhammet Anıl
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Mart 2025, 136 sayfa

Kentlerin hava kalitesi, çevre koruma ve insan sağlığı açısından büyük öneme sahiptir. Hava kalitesini izlemek ve potansiyel hava kirliliği kaynaklarını değerlendirmek, şehirdeki çevresel sürdürülebilirliği ve toplum sağlığını korumak için kritik bir gerekliliktir. Bu tez çalışmasında Türkiye'nin İç Anadolu kentlerinden olan Niğde ili merkezindeki 14 mahallede hava kalitesini PM10 partikül madde konsantrasyonlarına dayalı olarak belirlemek amacıyla EPA 40 CFR 50 metodu kullanılmıştır. Alan büyüklüğü, yerleşim yeri ve Organize Sanayi Bölgesi'nin bulunması nedeni ile Fertek Mahallesi'nden 2 nokta seçildiğinden toplam 16 ölçüm yeri vardır. Sürekli izleme merkezi(SİM)'in bir yıllık (saatlik) 15.01.2024-15.01.2025 tarihleri arasındaki 8785 ölçüm verisi ve açıklanan en güncel veriler olan 2022 yılı meteorolojik verileri AERMOD Hava Kalitesi Dispersiyon Modeli'nde kullanılmıştır. Bu tezde, Niğde ile merkez mahallelerinin PM10 temelli hava kalitesi haritaları oluşturulmuş, işlem ve değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, şehir merkezinde hava kirliliğinin mahallelere göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. PM10 konsantrasyonunun en yüksek ve düşük değeri $112,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $37,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile sırasıyla Nar ve Fertek Mahallelerinde bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: PM10, hava kalitesi, hava kirliliği, AERMOD, modelleme, Niğde, Türkiye.

SUMMARY

ASSESSMENT OF PM10 POLLUTION IN NIGDE (TÜRKİYE) WITH AERMOD AIR QUALITY DISPERSION MODEL

AYDOĞMUŞ, Muhammet Anıl
Niğde Ömer Halisdemir University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

March 2025, 136 pages

Urban air quality is of great importance for environmental protection and human health. Monitoring air quality and assessing potential sources of air pollution are critical for ensuring environmental sustainability and public health in cities. In this thesis, the EPA 40 CFR 50 method was used to determine air quality based on PM10 concentrations in 14 neighborhoods in the city center of Niğde, a province in Central Anatolia, Türkiye. Due to the size of the area, the location of settlements, and the presence of the Organized Industrial Zone, two measurement points were selected in the Ferteke Neighborhood, resulting in a total of 16 measurement locations. Hourly data from the continuous monitoring center (SIM) for one year, comprising 8,785 measurements between January 15, 2024, and January 15, 2025, along with 2022 meteorological data (the most recently available dataset), were used in the AERMOD Air Quality Dispersion Model. In this thesis, PM10-based air quality maps of Niğde and its central neighborhoods were created, processed, and evaluated. It was determined that air pollution in the city center varies between neighborhoods. The highest PM10 concentration was recorded in the Nar Neighborhood ($112.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), while the lowest was observed in the Ferteke Neighborhood ($37.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Keywords: PM10, air quality, air pollution, AERMOD, modeling, Niğde, Türkiye

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Niğde ilinde hava kalitesi izlemesi için EPA 40 CFR 50 metodu ile PM10 ölçümü yapılması, AERMOD Hava Kalitesi Dispersiyon Modeli ile haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Niğde ilinin PM10 temelli hava kalitesi profili oluşturularak bölgenin çevre sağlığı ve sürdürülebilirliğini iyileştirme potansiyeli de değerlendirilecektir.

Bu tez çalışması sürecinde yardımlarını esirgemeyen akademik danışmanım Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi (NOHU) Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam sırasında desteklerini ve emeklerini esirgemeyen Salim Kaan VARDAR ve Enver Hıfzı ÜNSAL'a ve cihaz, sarf malzeme, laboratuvar ortamı gibi çalışma alanları için LEV Çevre Danışmanlık Ltd. Şti.'ne ayrıca teşekkür ederim.

Değerli jüri üyeleri Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Melayip BİLGİN ve NOHU Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Selma YAŞAR KORKANÇ'a kıymetli katkıları için teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezimi her daim yanımda bulunan ve bu çalışmaya teşvik eden hayat arkadaşım, sevgilim, eşim Yasemin AYDOĞMUŞ'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM II	5
LİTERATÜR TARAMASI	5
BÖLÜM III	11
HAVA KİRLİLİĞİ	11
3.1 Dünyada Hava Kirliliği	15
3.1.1 Dünyada hava kirliliği ile mücadelede uygulanan stratejiler	17
3.1.2 Hava kirliliği ile mücadelede gelecek perspektifleri	19
3.2 Türkiye’de Hava Kirliliği	19
3.2.1 Yasal düzenlemeler ve denetimler	22
3.3 Hava Kalitesi İndeksi	23
3.3.1 Hava kalitesi indeksi hesaplama	24
3.3.2 Hava kalitesi indeksi değerleri ve anlamı	24
3.4 Türkiye'deki Hava Kalitesi İzleme Sistemi	25
BÖLÜM IV	28
HAVA KİRLİTİCİ PARAMETRELER	28
4.1 Hava Kirletici Temel Parametreler ve Ölçülmesi	28
4.2 Hava Kirletici Ölçüm İstasyonları	33
4.3 Teknolojik Donanımlar ve Sistemler	36
BÖLÜM V	38
MATERYAL METOD	38

5.1 İnceleme Alanı	38
5.2 Hava Kalitesi Modelleme: AERMOD View Model	42
5.3 PM10 Ölçüm Cihazı ve Kullanılan Filtre	51
5.4 Tezde Kullanılan PM10 Ölçüm Yöntemi	53
5.4.1 Kullanılan standart ve prensip	53
5.4.2 Kullanılan ekipmanlar	53
5.4.3 Deneyin uygulanması	54
5.4.3.1 Numune alma öncesi işlemler (laboratuvar)	54
5.4.3.2 Numune alma öncesi işlemleri (saha)	55
5.4.3.3 Numune alma işlemi	57
5.4.3.4 Numune alma sonrası işlemler (laboratuvar)	64
5.4.3.5 Hesaplama	64
BÖLÜM VI	66
BULGULAR VE TARTIŞMA	66
BÖLÜM VII	118
SONUÇ VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	127
ÖZ GEÇMİŞ	136

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Havadaki gaz oranları, rolü ve kaynağı	13
Çizelge 3.2. HKİ değerleri ve kategorileri.....	25
Çizelge 3.3. Türkiye’de 2022 yılına ait PM10 ve SO ₂ ortalamalarının en yüksek olduğu HKİ ilk 10	26
Çizelge 4.1. Hava kirliliğinde temel parametreler	32
Çizelge 4.2. Ölçülen parametreler için kullanılan cihazlar	37
Çizelge 5.1. Niğde ili yıllık ortalama hava durumu verileri	39
Çizelge 5.2. PM10 ölçüm koordinatları.....	40
Çizelge 6.1. Niğde mahalle ölçüm noktaları koordinatları ve ölçüm değerleri.....	66
Çizelge 6.2. Niğde mahalle PM10 ölçüm sonuç verileri	68
Çizelge 6.3. Ölçüm noktaları verileri.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Son beş yılın (2014-2021) ortalama PM10 konsantrasyonları	27
Şekil 5.1. Yer bulduru haritası	41
Şekil 5.2. Niğde merkez mahalle haritası	42
Şekil 5.3. AERMOD view genel ekranı	49
Şekil 5.4. Gaussian formülü.....	50
Şekil 5.5. Hava ortamında kirletici maddenin dağılımı	51
Şekil 5.6. PM10 ölçüm cihazı	52
Şekil 5.7. Cam elyaf membran filtre	52
Şekil 5.8. Cihaz montajı.....	56
Şekil 6.1. Ölçüm Noktaları	67
Şekil 6.2. Fertek Mahallesi, PM10-1/2 ölçüm noktası	70
Şekil 6.3. Fertek Mahallesi, PM10-1 saatlik modelleme haritası	70
Şekil 6.4. Fertek Mahallesi, PM10-1 günlük modelleme haritası	71
Şekil 6.5. Fertek Mahallesi, PM10-1 aylık modelleme haritası.....	71
Şekil 6.6. Fertek Mahallesi, PM10-1 yıllık modelleme haritası	72
Şekil 6.7. Fertek Mahallesi, PM10-2 saatlik modelleme haritası	72
Şekil 6.8. Fertek Mahallesi, PM10-2 günlük modelleme haritası	73
Şekil 6.9. Fertek Mahallesi, PM10-2 aylık modelleme haritası.....	73
Şekil 6.10. Fertek Mahallesi, PM10-2 yıllık modelleme haritası	74
Şekil 6.11. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası.....	75
Şekil 6.12. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	75
Şekil 6.13. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası.....	76
Şekil 6.14. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	76
Şekil 6.15. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	77
Şekil 6.16. Sarıköprü Mahallesi, PM10 ölçüm noktası	78
Şekil 6.17. Sarıköprü Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	78
Şekil 6.18. Sarıköprü Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	79
Şekil 6.19. Sarıköprü Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası	79
Şekil 6.20. Sarıköprü Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	80
Şekil 6.21. Selçuk Mahallesi, PM10 ölçüm noktası	81

Şekil 6.22. Selçuk Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası.....	81
Şekil 6.23. Selçuk Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	82
Şekil 6.24. Selçuk Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası	82
Şekil 6.25. Selçuk Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası.....	83
Şekil 6.26. İlhanlı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası.....	84
Şekil 6.27. İlhanlı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	84
Şekil 6.28. İlhanlı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası.....	85
Şekil 6.29. İlhanlı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	85
Şekil 6.30. İlhanlı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	86
Şekil 6.31. Nar Mahallesi, PM10 ölçüm noktası	87
Şekil 6.32. Nar Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası.....	87
Şekil 6.33. Nar Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	88
Şekil 6.34. Nar Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası	88
Şekil 6.35. Nar Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası.....	89
Şekil 6.36. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 ölçüm noktası.....	90
Şekil 6.37. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	90
Şekil 6.38. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası.....	91
Şekil 6.39. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	91
Şekil 6.40. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	92
Şekil 6.41. Kale mahallesi, PM10 ölçüm noktası	93
Şekil 6.42. Kale Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	93
Şekil 6.43. Kale Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	94
Şekil 6.44. Kale Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	94
Şekil 6.45. Kale Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	95
Şekil 6.46. Efendibey Mahallesi, PM10 ölçüm noktası.....	96
Şekil 6.47. Efendibey Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	96
Şekil 6.48. Efendibey Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası.....	97
Şekil 6.49. Efendibey Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	97
Şekil 6.50. Efendibey Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	98
Şekil 6.51. Şehitler Mahallesi, PM10 ölçüm noktası.....	99
Şekil 6.52. Şehitler Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	99
Şekil 6.53. Şehitler Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası.....	100
Şekil 6.54. Şehitler Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	100
Şekil 6.55. Şehitler Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	101

Şekil 6.56. İnönü Mahallesi, PM10 ölçüm noktası.....	102
Şekil 6.57. İnönü Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	102
Şekil 6.58. İnönü Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası.....	103
Şekil 6.59. İnönü Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası.....	103
Şekil 6.60. İnönü Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	104
Şekil 6.61. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası	105
Şekil 6.62. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası.....	105
Şekil 6.63. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	106
Şekil 6.64. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası	106
Şekil 6.65. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası.....	107
Şekil 6.66. Kayardı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası	108
Şekil 6.67. Kayardı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası.....	108
Şekil 6.68. Kayardı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	109
Şekil 6.69. Kayardı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası	109
Şekil 6.70. Kayardı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası.....	110
Şekil 6.71. Kumluca Mahallesi, PM10 ölçüm noktası	111
Şekil 6.72. Kumluca Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası	111
Şekil 6.73. Kumluca Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası	112
Şekil 6.74. Kumluca Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası	112
Şekil 6.75. Kumluca Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası	113
Fotoğraf 6.76. SİM, PM10 ölçüm noktası	113
Fotoğraf 6.77. SİM, PM10 ölçüm noktası	114
Şekil 6.78. Niğde genel, PM10 saatlik modelleme haritası	115
Şekil 6.79. Niğde genel, PM10 günlük modelleme haritası	115
Şekil 6.80. Niğde genel, PM10 aylık modelleme haritası	116
Şekil 6.81. Niğde genel, PM10 yıllık modelleme haritası	116
Şekil 7.1. Niğde genel, PM10 saatlik modelleme haritası	118
Şekil 7.2. Niğde genel, PM10 günlük modelleme haritası	119
Şekil 7.3. Niğde genel, PM10 aylık modelleme haritası	119
Şekil 7.4. Niğde genel, PM10 yıllık modelleme haritası	120

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 5.1. Nar Mahallesi, ölçüm noktası	58
Fotoğraf 5.2. Nar Mahallesi, ölçüm noktası	59
Fotoğraf 5.3. SİM.....	59
Fotoğraf 5.4. SİM.....	60
Fotoğraf 5.5. Kale Mahallesi, ölçüm noktası.....	60
Fotoğraf 5.6. Sarıköprü Mahallesi, ölçüm noktası.....	61
Fotoğraf 5.7. Sarıköprü Mahallesi, ölçüm noktası.....	61
Fotoğraf 5.8. Fertek mahallesi (OSB), ölçüm noktası	62
Fotoğraf 5.9. Fertek mahallesi (OSB), ölçüm noktası	62
Fotoğraf 5.10. Aşağıkayabaşı Mahallesi, ölçüm noktası	63
Fotoğraf 5.11. Aşağıkayabaşı Mahallesi, ölçüm noktası	63
Fotoğraf 5.12. Analiz işlemleri	64

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Simgeler	Açıklama
μg	Mikrogram
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Metreküp başına düşen mikrogram
μm	Mikrometre
CO	Karbon monoksit
H	Hidrojen
NO ₂	Azot dioksit
NO _x	Azot oksitler
O	Oksijen
O ₃	Ozon
PM	Partikül madde
PM10	10 mikrometre ve daha küçük partikül madde
PM2.5	2,5 mikrometre ve daha küçük partikül madde
SO ₂	Kükürt dioksit
VOC	Uçucu organik bileşik

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
AERMOD	Amerikan Meteoroloji Kurumu-Çevre Koruma Ajansı Düzenleyici Model
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EPA	Çevre Koruma Ajansı
HKİ	Hava Kalite İndeksi
HYSPLIT	Hibrit Tek Parçacık Lagrangian Entegre Yörünge Modeli
MELBES	Merkezi Laboratuvar Belirleme Sistemi
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PM	Partikül Madde
SİM	Sürekli İzleme Merkezi

SKHKKY

USEPA

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

Amerikan Çevre Koruma Kurumu (Ajansı)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hava kirliliği, günümüzün en kritik çevresel sorunlarından biri olup insan sağlığı, ekosistemler ve iklim üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Dünya genelinde artan sanayileşme, hızlı kentleşme ve motorlu taşıt kullanımındaki artış, hava kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Hava kirleticileri, kolay yayılmaları ve zor tutulmaları nedeniyle en büyük endişe kaynağıdır. Kirletici kaynaklardan yayılan emisyonlar karmaşıktır ve zaman ile mekânda hızla değişir. Bu durum, değişken emisyon oranları, kaynağın uzaklığı ve havalandırma hızları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu faktörler, çeşitli çevresel etkilere ve canlıların sağlığına zarar veren, genellikle geri döndürülemez sonuçlar doğuran etkiler yaratmaktadır (dos Santos vd., 2019).

Hava kirliliği parametrelerinden biri olan Partikül Madde (PM), özellikle PM₁₀ (çapı 10 mikrometreden küçük partiküller), hem sağlık hem de çevre üzerinde ciddi etkiler oluşturmaktadır (Timonen vd., 2002; Martonen ve Schroeter, 2003; Petrowski vd., 2021). Bu bağlamda, PM₁₀'un kaynağı, yayılımı ve çevresel etkilerinin modellenmesi, hava kalitesi yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency, USEPA) tarafından belirlenen "40 CFR Part 50" standardı, hava kalitesi değerlendirmelerinde bir referans noktası oluşturmaktadır. Bu standart, PM₁₀'un belirli bir zaman dilimindeki konsantrasyon sınırlarını ve ölçüm yöntemlerini tanımlayarak hava kirliliği denetiminde uluslararası bir rehber sunmaktadır.

Partikül madde, atmosfer kimyası ve hava kalitesinin çeşitli yönlerini önemli ölçüde etkiler; bunlar arasında kuru ve yağ çökme, görüş mesafesi, güneş radyasyonu ve bulut oluşumu yer almaktadır. PM₁₀, birincil ve ikincil kaynaklardan oluşmaktadır. Kentsel alanlardaki başlıca birincil PM₁₀ kaynakları, yol trafiği (örneğin, egzoz emisyonlarından kaynaklanan karbon bileşikler), yol tozunun tekrar havaya karışması ve lastik aşınması ve yanma süreçleridir. İkincil partiküller ise genellikle buharların yoğunlaşması veya kimyasal reaksiyonlarla oluşur; örneğin, atmosferde SO₂'nin H₂SO₄'e ve NO₂'nin HNO₃'e oksitlenmesi gibi süreçler sonucunda meydana gelir. PM₁₀, ayrıca solunum yoluyla doğrudan sağlık üzerinde de etkilidir. Avrupa'daki

büyük kentsel bölgelerin çoğu, çevreye ve insan sağlığına zararlı kısa süreli ciddi PM10 olayları yaşamaktadır. Yüksek PM10 konsantrasyonları mevcut olduğunda halkın bilgilendirilmesi gerekmektedir (Taheri Shahraiyni ve Sodoudi, 2016).

Hava kirliliği modelleme sistemleri, endüstriyel veya diğer kaynaklardan yayılan kirleticilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini belirlemek ve değerlendirmek için kullanılabilmektedir. Dağılım modelleri, emisyonların kaynağından itibaren kilometrelerce uzaklığa kadar nasıl değiştiğini modelleyerek analiz edebilmektedir. Bu modeller, atmosfer olaylarını, hava kirleticilerinin atmosferdeki fiziksel ve kimyasal hareketlerini, reaksiyonlarını, bozunmalarını ve yoğunluklarını matematiksel yöntemlerle hesaplamaktadır. Hava kirliliği dağılım modellemeleri uygulanırken, hava kirleticilerinin atmosferde nasıl yayıldığı matematiksel olarak simüle edilmektedir. Bu süreçte, geliştirilen bilgisayar programları aracılığıyla kirleticilerin matematiksel denklemleri ve algoritmaları çözülmektedir. Tüm bu işlemler sırasında, kaynak bilgileri, emisyon verileri, meteorolojik faktörler ve yeryüzü şekilleri gibi çeşitli parametreler dikkate alınmaktadır (Demirarslan vd., 2008; Mutlu 2019).

Hava yayılım modelleri, sanayi bölgelerinde hava kirleticilerinin dağılımını ve davranışlarını incelemek ve olası sağlık tehlikelerini tahmin etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava kirliliği modellemesi, kirletici konsantrasyonlarının ve dağılımlarının tahmin edilmesine yardımcı olmanın yanı sıra, hava kirliliğinin temel yönlerinin anlaşılmasını ve bunların hava kirliliği yönetimine uygulanmasını sağlar. AERMOD modeli, sınır tabaka türbülans yapısına bağlı olarak uygun ölçeklerde hava dağılımını sağlayan kararlı durumlu bir baca gazı modelidir. AERMOD, kentsel ve kırsal alanlardaki çeşitli kirletici konsantrasyonlarını belirlemek, düzgün ve düzensiz yüzey emisyonlarını analiz etmek ve noktasal, hacimsel ve farklı yüzey kaynaklarının dağılımını incelemek için kullanılabilen kalıcı bir durum dağılım modelidir (Eslamidoost vd., 2023).

AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model), hava kirleticilerinin yayılımını tahmin etmek için kullanılan ve EPA tarafından geliştirilen bir dağılım modeli olarak öne çıkmaktadır. AERMOD, atmosferik yayılımın detaylı bir şekilde modellenmesine olanak tanır ve topografik faktörleri, meteorolojik koşulları ve kaynak türlerini dikkate

olarak sonuçlar üretir. Bu model, PM10 gibi partiküllerin konsantrasyonunun zaman ve mekânda nasıl değiştiğini anlamak için kritik bir araçtır.

PM10 ölçümünde modelleme, hava kalitesinin belirlenmesi, kirleticinin dağılımının analiz edilmesi ve hava kirliliğinin kontrol altına alınmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından kritik bir yaklaşımdır. Bu süreçte AERMOD gibi gelişmiş dağılım modelleri kullanılarak, PM10'un atmosfere salınımından itibaren nasıl yayıldığı, hangi faktörlerden etkilendiği ve zaman içinde nasıl değişim gösterdiği detaylı bir şekilde incelenebilir. Modelleme sürecinde birçok parametre dikkate alınarak kirleticilerin yayılımı simüle edilir. Öncelikle, emisyon kaynaklarının türü ve miktarı belirlenir. Bu kaynaklar sanayi tesisleri, enerji üretim santralleri, trafik yoğunluğu yüksek yollar, inşaat sahaları veya doğal kaynaklardan gelen toz emisyonları olabilir. Her bir kaynağın PM10 salınım oranı, modelin doğruluğunu doğrudan etkileyen önemli bir faktördür.

Tez çalışması lokasyonu Türkiye'nin Niğde ilidir. Niğde'de yerleşim yerlerine oldukça yakın maden sahaları, birkaç organize sanayi bölgesi (OSB) ve sanayi siteleri bulunmaktadır. Bu tezde diğer çalışmalarından farklı olarak PM10 ölçümü için tasarlanmış olan özel cihaz ile sahada bire bir ölçüm yapılmış, metot olarak EPA 40 CFR 50 ulusal standart kullanılmıştır. Değerlendirme, Hava Kalite İndeksi (HKİ) ve Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKHKKY) göre yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, Niğde ili merkez mahallelerinde hava kalitesini PM10 konsantrasyonları açısından değerlendirmek ve AERMOD Hava Kalitesi Dispersiyon Modeli kullanarak kentin hava kirliliği haritasını oluşturmaktır. Bu kapsamda, PM10 kirliliğinin mahalleler bazında dağılımını belirlenmiş, kirleticinin seviyeleri analiz edilmiş ve hava kirliliğinin potansiyel kaynaklarını tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, kent planlaması, sanayi faaliyetlerinin yönetimi ve hava kalitesini iyileştirmeye yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada Niğde ili Merkez ilçesinin 14 mahallesinde toplamda 16 noktada EPA 40 CFR 50 standart metoduna göre PM10 ölçümü yapılmıştır. Bu 16 ölçüm verisi ile Niğde ili merkezindeki sürekli izleme noktasındaki bir yıllık PM10 verisi ve 2022 yılının meteorolojik verileri kullanılmıştır (Anonim, Mart 2025). Bu veriler harmanlanarak Niğde ili merkez ilçe mahallerinin AERMOD kullanarak günlük, aylık, yıllık PM10 dağılım modellemesi yapılmış ve haritası oluşturulmuştur. Bu çalışma, Niğde ilinde

hava kirliliğinin mekânsal dağılımını ortaya koyarak çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı açısından alınması gereken önlemler konusunda bilimsel bir temel oluşturabilir.



BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

Aksoy (2024) yaptığı çalışmada Şanlıurfa ilindeki biyoklimatik konfor alanlarını ve hava kalitesinin bu konfor üzerindeki etkilerini Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanarak değerlendirmiştir. Araştırma iki temel hedefi içermektedir: (i) Şanlıurfa genelinde Rahatsızlık İndeksi'ne (DI) bağlı olarak biyoklimatik konfor bölgelerinin tespit edilmesi ve (ii) Şanlıurfa merkez ilçesinde biyoklimatik konfor seviyeleri (DI) ile hava kalitesi indeksleri (AQI) arasındaki ilişkinin incelenmesi. Çalışmada, 2006-2021 dönemine ait sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi meteorolojik verilerin yanı sıra PM10 ve SO₂ seviyelerini içeren hava kirletici parametrelerin yıllık ve aylık ortalama değerleri analiz edilmiştir. Bu veriler ışığında, meteorolojik ve hava kirletici parametrelerin zamansal eğilimleri Mann-Kendal trend analizi ile değerlendirilirken, söz konusu parametreler arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, Şanlıurfa ili genelinde biyoklimatik konfor açısından en uygun aylar Haziran ve Eylül olarak tespit edilmiştir ($21 \leq DI \leq 24$). Şanlıurfa merkez ilçesinde yıllık ve aylık ortalama PM10 temelli AQI değerleri genel olarak "iyi" ve "orta" kategorilerinde yer alırken, SO₂ temelli AQI değerleri tüm yıllar ve aylar için "iyi" seviyesinde bulunmuştur. Ayrıca, yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde anlamlı bir artış gözlenirken, yıllık ortalama rüzgar hızı, PM10 ve PM10 temelli AQI değerlerinde anlamlı bir azalış tespit edilmiştir.

Ekmekçioğlu (2024), 2014-2021 yılları arasında Boğaz'dan geçen gemilerin NO_x, PM, CO ve SO₂ emisyonlarını incelemiştir. Emisyon tahminleri, hava kalitesi ölçüm verileri ve Türkiye'nin hava kalite standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Deniz taşımacılığının yer seviyesindeki etkilerini analiz etmek için AERMOD modeli kullanılmış ve sonuçlar Kandilli hava kalitesi istasyonu verileriyle doğrulanmıştır. Çalışma, teorik emisyon hesaplamaları ile çevresel etkiler arasındaki farkı ortaya koymayı amaçlamış, deniz trafiğinin NO_x ve SO₂ emisyonlarında önemli bir paya sahip olduğunu göstermiştir. IMO'nun kükürt düzenlemelerinin SO₂ emisyonlarını azalttığı belirlenmiştir. Politika yapıcılara, denizcilik sektöründe çevre dostu teknolojilere yatırım yapılması, emisyonları azaltan yöntemlerin benimsenmesi ve İstanbul'da Emisyon Kontrol Alanları (ECA) oluşturulması önerilmiştir. Alternatif yakıtların teşvik edilmesi ve

detaylı bir emisyon envanterinin hazırlanması gerektiği vurgulanarak, çalışma denizcilik sektöründe sürdürülebilirlik politikalarına rehberlik edecek önemli bulgular sunmuştur.

Güler ve Önder (2024) yaptıkları çalışmada, Türkiye'deki elektrik tüketiminin hava kirliliği üzerindeki etkisini il düzeyinde mekânsal analizlerle incelemiştir. SO₂ ve PM10 ölçümleri hava kirliliğinin göstergesi olarak kullanılmış ve açıklayıcı değişkenler olarak gelir, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi dahil edilmiştir. Ekonomik faktörlerin doğrudan ve dolaylı etkileri, 2008-2021 yılları arasındaki yıllık veriler kullanılarak mekânsal Durbin modeliyle analiz edilmiştir. Hava kirliliği ve ekonomik belirleyiciler açısından komşu illerdeki etkilerin güçlü bir şekilde yayıldığını ortaya konmuştur. Elektrik tüketiminin hava kirliliği üzerinde anlamlı ve pozitif bir doğrudan etkisi olduğu tespit edilmiştir. Elektrik tüketiminde %1'lik bir artış, aynı ilde SO₂ seviyelerinde %0,57 ve PM10 seviyelerinde %0,16'lık bir artışa neden olmuştur. Bunun yanı sıra, komşu illerde PM10 seviyelerinde %1,1'lik bir artışa yol açarak yayılan etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Çalışmada, elektrik tüketiminin hava kirliliği üzerindeki etkilerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teşviklerin artırılması gerektiği önerilmiştir. Ayrıca, Türkiye'de yakın zamanda hayata geçirilmesi planlanan zorunlu karbon piyasası kapsamında, özellikle yüksek kirlilik yoğunluklarına sahip bölgelerde karbon fiyatlandırması yapılırken mekansal faktörlerin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Kurut (2024), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası “Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi” ilan edilen şehirlerde PM10 ve SO₂ konsantrasyonlarını incelemiştir. 1 Aralık 2018-29 Şubat 2024 dönemine ait veriler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan alınmış ve çalışma üç alt döneme ayrılmıştır: pandemi öncesi, pandemi dönemi ve deprem sonrası süreç. 10 şehirdeki 14 hava kalitesi istasyonundan elde edilen verilerle PM10 ve SO₂ zaman serileri oluşturulmuş, mevsimsel analizler ve doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır. PM10 seviyeleri en çok Elbistan, Osmaniye, Malatya meteoroloji istasyonlarında yüksek bulunurken, Çatalan, Diyarbakır, Doğankent, Adıyaman ve Elazığ en düşük değerlere sahipti. SO₂ açısından en yüksek seviyeler Şanlıurfa ve Onikişubat'ta gözlemlenirken, limit değer aşımaları PM10'a göre daha düşük bulunmuştur. Kış aylarında SO₂ seviyeleri artarken, yaz aylarında düşüş göstermiştir. Kış ve sonbaharda kirleticiler arasındaki ilişkinin daha güçlü olduğu belirlenmiştir. Deprem sonrası ve pandemi sürecinin başında bazı

istasyonlarda kirletici seviyelerinde dalgalanmalar görülmüştür. Nüfus yoğunluğu, sanayi, trafik emisyonları, evsel ısınma ve toz taşınımı gibi faktörler hava kirliliğini etkileyen temel unsurlar olarak belirlenmiştir. Çalışma, kirletici kaynakların ve dağılım değişkenlerinin daha iyi anlaşılmasının önemini vurgulamıştır.

Öztürk (2022), limanların küresel ticarete kritik bir role sahip olduğunu ve önemli bir emisyon kaynağı oluşturduğunu vurgulamıştır. Antalya Limanı'ndaki gemi ve liman faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazları, SO₂, NO_x ve partikül madde emisyonları incelenerek bir envanter oluşturulmuştur. Analizlerde, limanın doğrudan emisyonlarının büyük ölçüde motorinle çalışan iş makinelerinden kaynaklandığı, gemi emisyonlarında ise konteyner ve kuru yük gemilerinin en büyük paya sahip olduğu belirlenmiştir. Emisyon azaltımı için geliştirilen senaryolardan ilki, gemilerin %20'sinin limanda kıyıda elektrik almasıyla CO₂ emisyonlarında %12,65-15,14 oranında azalma sağlayabileceğini göstermiştir. İkinci senaryo ise liman elektriğinin %50'sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması ve iş makinelerinin %20'sinin elektrikli araçlarla değiştirilmesi durumunda, emisyonların %4,97-6,05 oranında düşebileceğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, iklim değişikliğiyle mücadelede bu tür önlemlerin acilen hayata geçirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Özkan (2022) yaptığı çalışmada Karaman, Kayseri, Konya, Nevşehir ve Niğde illerindeki hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen PM₁₀ ve SO₂ verileri incelenerek yıllık ve aylık ortalamalar üzerinden analizler gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre, beş ilde de SO₂ seviyelerinin ulusal sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. Ancak PM₁₀ konsantrasyonlarının ulusal sınır değerlerini aştığı görülmüştür. Özellikle kış aylarında PM₁₀ seviyelerinin hava kirliliğinde belirgin bir artışa neden olduğu ve şehirlerin hava kalitesini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Kul (2022), bir kalsit ocağı ve kırma-eleme tesisinin kapasite artışına bağlı olarak oluşabilecek toz emisyonlarının (örneğin, PM₁₀ ve çöken toz) hava kalitesine etkilerini değerlendirmiştir. Bu amaçla, AERMOD modellemesi kullanılarak modelleme çalışmaları yapmıştır. Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporlarında farklı modelleme yöntemleri kullanılmasına rağmen, Avrupa Çevre Ajansı (EPA) AERMOD modelinin kullanımını önermiş ve Türkiye'de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığı, ÇED raporlarında yalnızca bu modelin kullanılacağını açıklamıştır. Çalışmada, açık ocak madencilik faaliyetlerinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, dört farklı senaryo üzerinden gün, ay ve yıl bazında incelenmiştir. Emisyon seviyeleri, faaliyetin farklı aşamalarında ve 4 km x 4 km'lik alanda yapılan kümülatif değerlendirmelerle belirlenmiş, tesisin aldığı önlemler doğrultusunda emisyonların Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Yönetmeliği'ndeki sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir.

Petrowski vd. (2021), Almanya'daki hava kirliliği, özellikle PM10 ile ruh sağlığı ve yaşam kalitesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, Almanya'nın Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) hava kalitesi standartlarını karşılamadığı dikkate alındığında, hava kirliliğinin etkisinin öneminin daha da arttığı belirtilmiştir. Araştırma, 3020 Alman yetişkinden oluşan bir örneklem kullanılarak yapılmıştır (katılımcıların %54'ü kadın, %46'sı erkek; yaş aralığı 18-92, yaş ortalaması=49.04, SD±17.27). Bu çalışmada, PM10 seviyelerinin yaşam memnuniyeti, stresle başa çıkma gücü, anksiyete, depresyon ve özsaygı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizleri, düşük hava kirliliği seviyelerinin daha yüksek yaşam memnuniyeti, daha fazla özsaygı ve artan stres direnci ile ilişkilendirildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, bireysel gelir, yaş ve cinsiyet gibi faktörler hesaba katılarak elde edilmiştir. Cinsiyete özgü alt analizler, PM10 seviyeleri ile stres direnci arasındaki ilişkinin her iki cinsiyet için de benzer olduğunu, ancak PM10 ile özsaygı arasındaki anlamlı ilişkinin yalnızca kadınlar için geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, hava kirliliği ile ruh sağlığı ve yaşam kalitesi arasındaki önemli bağlantıları göstererek, Almanya'da ruh sağlığını iyileştirmek için hava kalitesinin artırılmasının önemine dikkat çekmiştir.

Özgen Alemdar (2020), İstanbul'da yüksek PM10 konsantrasyonlarına neden olan atmosferik mekanizmaları araştırmıştır. Beşiktaş ilçesinde 2007-2017 yılları arasında PM10 konsantrasyonunun 100 µg/m³'ü aştığı 94 olay incelenmiştir. Yüksek PM10 düzeyleri en çok kış (%37) ve ilkbahar (%36) aylarında görülürken, sonbahar (%20) ve yaz (%6) mevsimlerinde daha az gözlemlenmiştir. HYSPLIT modeli ile geriye dönük hava hareketleri analiz edilerek, dört farklı hava hareketi kümesi tanımlanmıştır. Yüksek PM10 vakalarının %41,5'i yerel kaynaklardan, geri kalan kısmı ise dış kaynaklardan (Avrupa %21,3, Rusya %8,5, Sahra Çölü %28,7) kaynaklanmaktadır. Sahra Çölü'nden gelen PM10 taşınımı, İtalya üzerindeki alçak basınç sistemi ve

Sahra'dan gelen güneybatı rüzgarlarıyla, İstanbul'a ilkbahar aylarında yoğun toz taşınımına yol açmıştır. Kış aylarında ise, Azor Adaları üzerindeki yüksek basınç sistemleri, kuzeyden gelen hava akımlarıyla İstanbul'daki yüksek PM10 seviyelerine katkı sağlamıştır. Rusya kaynaklı taşınımlar nadir olsa da PM10 konsantrasyonlarına daha fazla katkı yapmıştır. Bu bulgular, İstanbul'daki yüksek PM10 olaylarının yerel ve uzak kaynaklı etkilerden kaynaklandığını ve meteorolojik faktörlerin önemli rol oynadığını göstermiştir.

Tel (2019) yaptığı yüksek lisans tezinde, 2018 yılında Niğde il merkezindeki yerleşim birimlerindeki ısınmadan kaynaklı emisyonların hava kalitesine etkilerini ortaya koymak için EPA tarafından onaylanan AERMOD View yazılımı kullanılarak 4 temel kirlenici parametre olan NO₂, SO₂, CO ve PM10 için hava kalitesi model çalışması yapılmıştır. Bu modele göre 2018 ve 2028 senaryolarında Niğde il merkezinde hava kalitesinin memnun edici, hava kirliliğinin az riskli veya hiç risk teşkil etmiyor olduğu belirlenmiştir. Hava kalitesi dağılım modelleri ve özellikle bu tip bilgisayar destekli yazılımlar ile üretilen kirlilik haritaları, etki alanları ve etki türleri üzerine yapılan çalışmaların, yöneticilere ve karar vericilere -geleceğe yönelik karar vermelerinde- çok büyük görsel ve teknik imkanlar sunduğu belirtilmiştir.

Koo vd. (2015) gözlemler ve kimyasal taşınım modelleme (CTM) tahminleri arasındaki tutarsızlıkları gidermek için, Doğu Asya'daki optimize edilmiş PM10 emisyonlarını elde etmek amacıyla Comprehensive Air-quality Model with extension (CAMx) ileri modeline ters Bayes yaklaşımı uygulamışlardır. Ters modelleme sonucu, Çin'in sanayileşmiş ve şehirleşmiş bölgelerinde antropojenik PM10 emisyonlarının düşük tahmin edildiği, Güney Moğolistan ve Kuzey Çin'deki çöl ve çıplak topraklardan gelen toz emisyonlarının ise aşırı tahmin edildiği belirlenmiştir.

Zeydan ve Yıldırım (2015), Zonguldak metropoliten bölgesindeki PM10, NO_x ve SO₂ kirlenitlerini CALPUFF modeli ile modellemişlerdir. Emisyon envanteri, ısınma, ulaşım ve sanayi kaynaklarından elde edilen verilerle detaylı olarak hesaplanmıştır. Isınma kaynakları evsel, kamu ve özel sektör emisyonlarını, ulaşım kaynakları motorlu taşıtlar ve liman trafiğini, sanayi kaynakları ise Çatalağzı Enerji Havzası'ndaki termik santrallerin emisyonlarını içermektedir. Modellemede, toplam PM10, SO₂ ve NO_x emisyonları sırasıyla 3093,6 ton/yıl, 30390,7 ton/yıl ve 28914,6 ton/yıl olarak

hesaplanmıştır. CALPUFF modeli kullanılarak hava kalitesi modellemesi yapılmış, kirletici konsantrasyonları tematik haritalara dönüştürülmüştür. Maksimum kirletici konsantrasyonları, SO₂ için 10928 µg/m³, NO_x için 8161 µg/m³, PM10 için ise 236 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Hava kalitesi indeksi(HKİ)ne göre SO₂ "tehlikeli", NO_x "sağlıksız", "kötü" ve "tehlikeli", PM10 ise "iyi", "orta" ve "hassas" olarak belirlenmiştir.

Tağıl ve Menteşe (2012), Zonguldak'ta hava kirliliği ile solunum yolu hastalıkları arasındaki mekânsal ve zamansal ilişkileri incelemiştir. 2006-2009 yıllarına ait astım, bronşit, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve üst solunum yolu enfeksiyonu (ÜSYE) hastane başvuruları ile SO₂ ve PM10 verileri analiz edilmiştir. PM10 ve SO₂ konsantrasyonu ile ÜSYE dışındaki hastalıklar arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif bir korelasyon bulunmuş, SO₂'nin hastane başvuruları ile PM10'dan daha güçlü bir ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Küresel mekânsal analizler anlamlı bir kümelenme göstermemiş, başvuruların rastgele dağıldığı saptanmıştır. Ancak, yerel mekânsal analizlerde sınırlı kümelenmeler tespit edilmiş ve sıcak-soğuk noktalar haritalanmıştır. Çalışma, mekânsal analiz ve CBS uygulamalarıyla hava kirliliğinin solunum sağlığı üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilceğini ortaya koymuştur.

Kara vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İzmir kent merkezinde kanyon tipi cadde özelliği gösteren 5 caddede (Mustafa Kemal Caddesi, Mithatpaşa Caddesi, İnönü Caddesi, Cumhuriyet Bulvarı ve Girne Bulvarı) OSPM Cadde-Kanyon modeli yardımıyla saatlik PM10 seviyeleri tahmin edilmiştir. Caddelerde model çalışmaları için gerekli olan saatlik taşıt sayımları yapılmış ve meteorolojik parametreler ölçülmüştür. Caddelerdeki taşıt sayımları ile eş zamanlı olacak şekilde bir mobil ölçüm istasyonu ile dış hava kalitesi ölçümleri yapılmıştır. Model ile tahmin edilen saatlik PM10 konsantrasyonları (modellenen) ve ölçüm istasyonu ile ölçülen konsantrasyonlar (ölçülen) bazı istatistikî yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda ölçülen ve modellenen değerlerin uyumluluk gösterdiği, aralarında 0,34-0,92 aralığında değişen korelasyon katsayısı (R²) ve 0,76-0,98 aralığında Uyumluluk Göstergesi (IA) değeri olduğu saptanmıştır.

BÖLÜM III

HAVA KİRLİLİĞİ

Çevre kirliliği, doğal çevrenin insan faaliyetleri veya doğal olaylar sonucu istenmeyen maddelerle ya da enerji türleriyle kirletilerek, ekosistemde bozulmaya yol açması durumudur. Bu kirlilik, hava, su ve toprak gibi doğal kaynakların yapısını bozarak canlı yaşamını olumsuz etkiler. Kimyasal atıklar, plastikler, zehirli gazlar veya ışık ve ses gibi enerji türleri bu kirliliğin nedenleri arasında yer alabilir. Çevre kirliliği, doğal dengenin bozulmasına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve yaşam kalitesinin düşmesine sebep olur.

Çevre kirliliğinin nedenleri, insan faaliyetleri ve doğal olayların çevrede istenmeyen etkiler yaratmasıdır. Çevre kirliliği bazı nedenleri aşağıda sıralanmıştır;

- Sanayi Faaliyetleri: Fabrikaların kimyasal atıkları, atmosfere salınan zararlı gazlar ve kontrolsüz üretim süreçleri çevreye zarar verir.
- Tarım Uygulamaları: Kimyasal gübreler, pestisitler ve sulama kaynaklarının aşırı kullanımı toprağı ve suyu kirletebilir.
- Enerji Üretimi: Fosil yakıtların yakılması, hava kirliliğine ve karbon salınımına yol açar.
- Altyapı ve İnşaat Çalışmaları: Aşırı betonlaşma ve doğal alanların tahribi çevresel bozulmaya neden olabilir.
- Tüketim Alışkanlıkları: Plastik gibi doğada çözünmesi zor maddelerin yaygın kullanımı atık miktarını artırır.
- Madencilik: Yeraltı kaynaklarının çıkarılması sırasında oluşan atıklar ve habitat tahribatı doğayı olumsuz etkiler.
- Denizcilik Faaliyetleri: Petrol sızıntıları, gemi atıkları ve aşırı avlanma deniz ekosistemini bozar.
- Doğal Afetler: Orman yangınları, volkanik patlamalar veya sel gibi olaylar çevrede ani ve kalıcı kirlilik oluşturabilir. Her bir neden, doğrudan veya dolaylı olarak çevredeki dengenin bozulmasına ve yaşam kaynaklarının kirlenmesine yol açar (Anonim, Mart 2025f).

Çevre kirliliği, çeşitli şekillerde ortaya çıkar ve her biri farklı unsurları etkiler. Çevre kirliliği türleri aşağıda sıralanmıştır;

- Hava Kirliliği: Atmosfere zararlı gazların, partiküllerin ve kimyasal maddelerin karışmasıyla meydana gelir. Bu kirlilik, solunum yolları hastalıklarına neden olur ve küresel iklim değişikliğine katkı sağlar.
- Su Kirliliği: Nehirler, göller, denizler ve yer altı suları, kimyasal maddeler, atıklar veya mikroorganizmalarla kirlenir. Bu durum, su ekosistemlerinin bozulmasına ve içme suyunun azalmasına yol açar.
- Toprak Kirliliği: Tarım ilaçları, kimyasal gübreler ve endüstriyel atıklar gibi maddeler, toprağın yapısını bozarak tarımsal verimliliği düşürür ve bitki yaşamını tehdit eder.
- Gürültü Kirliliği: İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan yüksek sesler, çevredeki canlıların sağlığını ve huzurunu olumsuz etkiler. Gürültü, özellikle şehirlerde büyük bir sorun teşkil eder.
- Işık Kirliliği: Gereksiz veya yanlış yönlendirilmiş yapay ışık kaynakları, doğal gece döngüsünü bozar ve hayvanların biyolojik ritimlerini etkiler. Ayrıca, astronomik gözlemleri de zorlaştırır.
- Termal Kirlilik: Su veya hava sıcaklığındaki anormal değişiklikler, genellikle endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanır. Bu kirlilik, ekosistemlerin dengesini bozabilir ve bazı canlıların yaşamını tehdit edebilir.
- Radyoaktif Kirlilik: Nükleer enerji üretimi, testler veya kazalar sonucu radyoaktif maddelerin çevreye yayılmasıyla oluşur. Bu, uzun vadeli sağlık ve ekosistem zararlarına neden olabilir.

Her bir kirlilik türü, farklı kaynaklardan meydana gelir ve farklı çevresel etkiler yaratır. Bunların kontrolü ve önlenmesi, çevrenin korunması için büyük önem taşır (Anonim, Mart 2025g).

Havadaki gazlar, atmosferin bileşimini oluşturur ve her biri farklı oranlarda bulunur. Atmosferdeki gazların detaylı açıklamaları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Atmosferin bu gazlar arasındaki dengesi, yaşamın devamı için hayati öneme sahiptir. İnsan faaliyetleri

bu dengeyi etkileyerek çevresel sorunlara yol açabilir. Bu gaz oranlarının değişmesi hava kirliliği olarak tanımlanabilir (Anonim, Mart 2025h).

Çizelge 3.1. Havadaki gaz oranları, rolü ve kaynağı (Anonim, Mart 2025h)

Gaz	Oran	Rolü	Kaynağı
N ₂ %78	Atmosferin en büyük kısmını oluşturur.	Bitkiler için temel bir besin kaynağıdır, ancak doğrudan kullanılmaz; azot döngüsü ile dönüştürülür.	Volkanik aktiviteler, biyolojik süreçler ve atmosferdeki sabit kaynaklar.
O ₂ %21	Canlıların yaşaması için hayati öneme sahiptir.	Solunum ve yanma süreçlerinde kullanılır.	Fotosentez yapan bitkiler ve okyanus planktonu.
Ar %0,93	Atmosferde nadir bir gazdır.	İnert bir gaz olduğu için kimyasal reaksiyonlara katılmaz. Endüstriyel uygulamalarda kullanılır.	Doğal radyoaktif bozunma süreçleri
CO ₂ %0,04	Küçük bir miktar bulunmasına rağmen, iklim düzenlemesinde büyük bir rol oynar.	Fotosentez ve sera etkisinde kritik bir gazdır.	Solunum, fosil yakıtların yanması, volkanlar ve organik madde çürümesi.
Ne %0,0018	Çok düşük miktarda bulunur.	Genellikle ticari ışıklandırmada kullanılır.	Atmosferin doğal bir bileşeni.
He - %0,0005	Çok nadir bir gazdır.	Balonlar, soğutma sistemleri ve bilimsel uygulamalar için önemlidir.	Doğal gaz rezervlerinden çıkarılır.
CH ₄ - %0,0002	Küçük bir miktar bulunur.	Güçlü bir sera gazıdır, küresel ısınmayı hızlandırır.	Hayvancılık, organik madde çürümesi ve fosil yakıt çıkarımı.
O ₃	Çok düşük konsantrasyonda bulunur.	Stratosferdeki ozon tabakası, Güneş'ten gelen zararlı UV ışınlarını emer. Ancak troposferde bulunması kirletici olarak kabul edilir.	Güneş ışığı ve bazı kimyasal reaksiyonlar.
H ₂	Atmosferde çok az miktarda bulunur.	Enerji üretiminde ve endüstride kullanılır.	Volkanik aktiviteler ve hidrojen gazı oluşum süreçleri.
H ₂ O	Atmosferdeki miktarı %0-4 arasında değişir.	İklim sisteminde ve hava olaylarında kritik öneme sahiptir.	Buharlaşma, terleme ve solunum.

Hava kirliliği, atmosferde bulunan doğal bileşenlerin, insan faaliyetleri veya doğal olaylar sonucu zararlı maddelerle değişime uğramasıdır. Bu kirletici maddeler arasında gazlar (örneğin CO, SO₂, NO_x), katı parçacıklar (partikül madde) ve kimyasal bileşikler

bulunur. Hava kirliliği, fosil yakıtların yanması, sanayi üretimi, motorlu taşıt egzozları, orman yangınları ve volkanik patlamalar gibi çeşitli kaynaklardan kaynaklanır. Bu durum, solunum yolu hastalıklarına neden olabilir, iklim değişikliğini hızlandırabilir ve ekosistemlerin doğal işleyişini bozabilir (Anonim, Mart 2025).

Hava kirliliği, çeşitli kimyasal işlemler sırasında açığa çıkan gaz veya katı parçacıkların, özellikle yakıt kalıntılarının, canlı organizmalara zarar verecek miktarlarda atmosferde birikmesi olarak da tanımlanmaktadır. Hızlı kentleşme, sanayileşme, motorlu taşıt sayısının artması, hava koşulları, ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar, sanayi kuruluşları ve termik santrallerin yaygınlaşması hava kirliliğinin artmasında önemli faktörlerdir. Fosil yakıtlar, petrol ve kömür birçok kirleticinin havaya karışmasına neden olmaktadır. Her arabanın egzozu havaya yaklaşık 1 ton/yıl kirleticisi madde yaymaktadır. Hava kirliliği hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki mega kentlerde insanları etkileyen önemli bir halk sağlığı sorunudur. Dünya nüfusunun yaklaşık 1/4'ünün hava kirliliğine maruz kaldığı öngörülmektedir. Hava kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu şehirlerde yaşayan insanlarda kalp hastalığı, solunum yolu hastalıkları ve akciğer kanseri oranları, temiz kentsel alanlarda yaşayan insanlara göre daha yüksektir (Güler ve Vaizoğlu, 2006; Çobanoğlu, 2000; Mayda ve Yılmaz, 2013).

Hava kirliliğinin özellikle sanayi (termik santraller, çimento, çelik endüstrileri) başta olmak üzere kış aylarındaki hava kirliliğinin %80'inin yerleşim yerlerinde fosil yakıtların (kömür, ısınma amaçlı dizel, vb.) yakılmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Özer vd., 1997; Elbir vd., 2000). Hava durumu gibi hava kalitesi de günden güne değişmektedir. Hava kalitesi bilgileri basit ve net olmalıdır. Halkın hava kalitesi ve hava kirliliği hakkında kolayca bilgi alabilmesi ve sağlığını nasıl koruyacağını öğrenebilmesi için hava kalitesi endeksinin ulaşılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Hava kalitesini günlük olarak tanımlamak için kullanılan bir indeks olan HKİ'nin amacı kamuoyuna basit ve anlaşılır bir şekilde bilgi sunmaktır. Yaşanılan yerin havasının ne kadar temiz veya kirli olduğu ve bunun sağlığı nasıl etkilediği hakkında bilgi verir. HKİ, hava kalitesi koşullarının halk sağlığı üzerindeki etkisini, hava kirliliği seviyesini ve seviyeler aşırı yükseldiğinde ne gibi önlemler alınması gerektiğini belirler. Hava kirliliğine sebep olan 5 temel kirleticisi için HKİ hesaplanmaktadır. Bunlar; PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ ve O₃'dur. Havanın doğal bileşimini değiştirip, kirli hava haline getiren

kirleticilerden, SO₂ ve PM10 ölçümü, kirlilik düzeyine karar verirken, DSÖ tarafından yeterli bulunarak bütün dünya ülkelerine önerilmiştir (Akdur vd., 1998; Mayda ve Yılmaz, 2013).

Havadaki partikül madde insan sağlığını etkileyen en önemli kirleticilerden biridir. Partikül boyutu ile sağlık üzerindeki olumsuz etkisi direkt olarak bağlantılıdır. Partikül çapı küçüldükçe, yüzey alanı artmakta ve partiküllerin olumsuz etkileri artmaktadır. Solunum yollarına alınan partikül maddenin 10 µm'den büyük kısmı burun ve nazofarenkste tutulmakta, 10 mikrondan küçük kısmı ise bronşlarda birikirken, 1-2 mikron çapındakiler alveollerde toplanmakta, 0,5 mikron çapındaki partiküller, özellikle 0,1 µm çapında olanlar alveollerden intrakapiller aralığa diffüze olmaktadır. Alveolo-kapiller bariyeri geçen partiküller başta kardiyak fonksiyonlar olmak üzere diğer sistemleri olumsuz etkileyebilmektedir. Partikül madde, içinde pek çok organik ve inorganik kirletici ile kanserojen özellikte arsenik, kromat, asbest, nikel, kadmiyum gibi ağır metalleri içerdiğinden SO₂'den daha önemlidir (Beyhun vd., 2008; Mayda ve Yılmaz, 2013). Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde daha yaygın görülen bu sorun, insanların yaşam kalitesini düşürür ve doğal çevre üzerinde ciddi tahribat yaratır (Güngör ve Benzeyen, 2021).

3.1 Dünyada Hava Kirliliği

Hava kirliliği, dünya çapında ciddi bir çevresel sorun olarak öne çıkmakta ve insan sağlığını olumsuz etkilemekte, ekosistemlere zarar vermekte ve iklim değişikliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Birleşmiş Milletler (BM) ve DSÖ gibi uluslararası kuruluşlar, hava kirliliğinin küresel bir tehdit olduğunu vurgulamakta ve bu sorunun çözülmesi için uluslararası iş birliği gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Hava kirliliği, dünya genelinde milyonlarca erken ölüme neden olmaktadır. DSÖ'nün verilerine göre, hava kirliliği her yıl yaklaşık 7 milyon insanın ölümüne yol açmaktadır. Bu ölümlerin çoğu, kalp hastalıkları, inme, solunum yolu hastalıkları ve akciğer kanseri gibi hastalıklar nedeniyle gerçekleşmektedir. Ayrıca, hava kirliliği, çocuklarda gelişimsel sorunlar, hamile kadınlar üzerinde olumsuz etkiler, astım ve bronşit gibi solunum yolu hastalıklarının artışına neden olmaktadır (Mart 2025b).

Dünya genelinde hava kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar, sanayi faaliyetleri, tarım uygulamaları, fosil yakıtların kullanımı ve orman yangınlarıdır. Sanayileşme ile artan enerji talebi ve fosil yakıtların kullanımı, SO₂, NO_x, CO₂ ve partikül maddelerin salınımını artırmaktadır. Ayrıca, büyük şehirlerdeki trafik yoğunluğu da CO, NO₂ ve O₃ gibi kirleticilerin başlıca kaynaklarından (Anonim, Mart 2025c).

Hava kirliliği, özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Örneğin, Hindistan, Çin, Pakistan, Endonezya ve Bangladeş gibi ülkelerde, hava kirliliği seviyesi, dünya ortalamasının çok üzerindedir. Hindistan'ın başkenti Delhi, dünyanın en kirli şehirlerinden biri olarak bilinir. Delhi'deki hava kalitesi, özellikle kış aylarında, PM_{2.5} ve PM₁₀ gibi zararlı partikül maddelerin yoğunluğu nedeniyle tehlikeli seviyelere ulaşmaktadır. Çin'in Pekin şehri de sanayileşmenin ve yoğun trafik faaliyetlerinin bir sonucu olarak, sürekli yüksek hava kirliliği seviyeleriyle bilinmektedir (Gayretli, 2024; Anonim, Mart 2025c).

Dünya genelinde, bazı bölgeler ise doğal hava kirliliği olaylarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin, Amazon Ormanı'ndaki yangınlar, atmosferde büyük miktarda karbon salınımına yol açmaktadır. Ayrıca, Afrika'daki çöl tozları da bazı bölgelere büyük miktarda kirleticiler taşımaktadır (Ertok Onurlu ve Ulaş, 2021; Hopur, 2024; Gayretli, 2024; Anonim, Mart 2025c).

Hava kirliliği, sadece insan sağlığını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda ekosistemlere de zarar verir. Asit yağmurları, hava kirliliği nedeniyle atmosfere salınan SO₂ ve NO_x gibi kirleticiler tarafından oluşur. Bu yağmurlar, toprak asiditesini artırarak tarım alanlarında verim kaybına yol açabilir ve su kaynaklarını kirletebilir. Ayrıca, ozon tabakasının incilmesi, ultraviyole ışınlarının artan etkisi ile- biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir (Bayram vd., 2006; Arı, 2023; Anonim, Mart 2025c).

Hava kirliliği, yalnızca çevresel bir sorun değil, aynı zamanda küresel sağlık krizlerinin başlıca sebeplerinden biridir. DSÖ'ye göre, her yıl milyonlarca insan, kirli hava nedeniyle erken ölüm riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Hava kirliliği, solunum yolu hastalıkları, kalp-damar hastalıkları ve kanser gibi birçok ölümcül hastalığa yol açarken, aynı zamanda ekosistemleri de olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu bağlamda hava kirliliği ile mücadele hem çevreyi korumak hem de insan sağlığını iyileştirmek adına,

hayati öneme sahiptir. Dünyanın farklı bölgelerinde hava kirliliği seviyesi oldukça yüksektir. Özellikle sanayileşmiş ve hızla gelişen ülkelerde, hava kirliliği büyük bir soruna dönüşmüştür. Çin, Hindistan ve Pakistan gibi ülkelerde hava kirliliği oranları, sağlık üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Ancak, gelişmiş ülkelerde dahi hava kirliliği, trafik, sanayi ve enerji üretimi gibi çeşitli kaynaklardan kaynaklanmaktadır (Moshammer ve Neuberger, 2003; Anonim, Mart 2025c).

Hava kirliliği ile mücadele, dünya genelinde farklı stratejilerle ele alınmaktadır. Bazı ülkeler, emisyon standartlarını sıkılaştırarak ve çevre dostu teknolojileri destekleyerek kirliliği azaltmayı amaçlarken, diğerleri altyapı yatırımları yaparak trafik yoğunluğunu azaltmaya çalışmaktadır. Ancak küresel ölçekte hava kirliliğini kontrol altına almak için çok daha kapsamlı ve entegre bir yaklaşım gerekmektedir (Gayretli, 2024; Anonim, Mart 2025c).

Tezin bu 3. bölümünde, dünya genelinde hava kirliliği ile mücadele için uygulanan stratejiler, politikalar ve bu alandaki geleceğe dönük perspektifler ele alınmıştır.

3.1.1 Dünyada hava kirliliği ile mücadelede uygulanan stratejiler

Emisyon Azaltma ve Sıkı Denetimler

Birçok ülke, hava kirliliğini azaltmak amacıyla emisyonları sınırlandıran yasalar çıkarmıştır. Bu yasalar, özellikle sanayi tesisleri ve enerji üretiminden kaynaklanan kirleticilerin sınırlandırılmasını hedefler. Avrupa Birliği (AB) ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi bölgelerde, sanayiye yönelik emisyon standartları oldukça sıkıdır ve kirletici gazların salınımı belirli sınırların altına çekilmiştir. AB, Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) gibi piyasa tabanlı çözümlerle CO₂ emisyonlarını azaltmayı amaçlarken, ABD, Temiz Hava Yasası ile hava kirliliğini sınırlamayı hedeflemektedir (Ubay ve Bilgici, 2021; Anonim, Mart 2025c).

Çin, hava kirliliği ile mücadele konusunda önemli adımlar atmaktadır. Özellikle son yıllarda, Çin hükümeti, hava kalitesi yönetim planları hazırlayarak, endüstriyel emisyonları kontrol altına almak amacıyla temiz enerji kullanımını teşvik etmektedir. 2013 yılında, Çin Çevre Koruma Yasası yürürlüğe girmiş ve sanayiye yönelik çevre

denetimleri artırılmıştır. Ayrıca, SO₂ ve NO_x gibi zararlı gazların salınımı ciddi şekilde azaltılmaya çalışılmaktadır (Anonim, Mart 2025c).

Yeşil Enerji ve Yenilenebilir Kaynakların Teşvik Edilmesi

Fosil yakıtların kullanımının, hava kirliliğine neden olmasından dolayı, yeşil enerji kaynaklarına geçiş hava kirliliği ile mücadelede önemli bir çözüm yolu olarak kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, karbon ayak izini azaltmakta ve hava kalitesini iyileştirmektedir. Güneş, rüzgar ve jeotermal enerjiler gibi temiz enerji kaynaklarının kullanımı, karbon salınımını önemli ölçüde düşürür (Çoban ve Şahbaz Kılınç, 2015; Anonim, Mart 2025c).

Almanya, Fransa ve İskandinav ülkeleri, yenilenebilir enerjiye büyük yatırımlar yaparak bu alandaki öncüler arasında yer almaktadır. Özellikle Almanya'nın Enerji Dönüşümü (Energiewende) planı, fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerjilerin kullanılmasını hedeflemektedir. Güneş ve rüzgar enerjisi projeleri, ülkede kirliliği azaltma çabalarını desteklemektedir. Aynı şekilde, Danimarka ve İspanya da rüzgar enerjisi yatırımlarına odaklanarak temiz enerji üretim kapasitesini artırmıştır (Uyanık, 2018; Anonim, Mart 2025c).

Temiz Ulaşım ve Trafik Düzenlemeleri

Trafik, özellikle büyük şehirlerde hava kirliliğini artıran başlıca etkenlerden biridir. Bu bağlamda, temiz ulaşım sistemlerinin teşvik edilmesi, hava kirliliği ile mücadelede kritik bir öneme sahiptir. Elektrikli araçların kullanımının artırılması, toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması ve bisiklet yollarının oluşturulması, hava kirliliği seviyelerini düşürmeye yardımcı olabilir (Anonim, Mart 2025c).

Norveç, İsveç ve Hollanda, elektrikli araçları yaygınlaştıran ülkeler arasında yer almaktadır. Norveç, elektrikli araçların satışını teşvik eden vergi indirimleri ve altyapı yatırımları ile dünyanın en yüksek elektrikli araç nüfusuna sahip ülkesidir. Diğer Avrupa ülkeleri de benzer şekilde elektrikli araçlar ve çevre dostu taşıma çözümleri için teşvikler sunmaktadır (Gündüz ve Yakar, 2020).

Ağaçlandırma ve Doğal Alanların Korunması

Yeşil alanlar, hava kirliliğini azaltma ve ekosistemleri koruma açısından önemli bir rol oynamaktadır. Ağaçlar, CO₂ Emilimi sağlar ve atmosferdeki kirleticilerin miktarını azaltır. Çeşitli şehirlerde, özellikle Asya ve Avrupa'nın büyük şehirlerinde, ağaçlandırma projeleri başlatılmaktadır (Anonim, Mart 2025c).

Singapur, ekonomik gelişme yoluyla hava kalitesinin iyileştirilmesi için şehir içi alanların ayarlanması konusunda eşsiz bir örnektir. Şehir içindeki ağaçlandırma oranını artırarak, hava kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Aynı şekilde, Şanghay ve Tokyo gibi büyük şehirlerde de doğal alanların korunması ve yeni yeşil alanların yaratılması hedeflenmektedir (Mart 2025c, Zhang et al., 2022).

3.1.2 Hava kirliliği ile mücadelede gelecek perspektifleri

Hava kirliliği ile mücadelede, teknolojinin hızlı gelişimi ve küresel iş birliklerinin güçlenmesi büyük bir rol oynamaktadır. Yapay zeka ve sensör teknolojileri, hava kalitesini izlemek ve hava kirliliğini önceden tespit etmek için kullanılmaktadır. Gelecekte, karbon yakalama teknolojileri ve sıfır emisyonlu sanayi üretimi gibi ileri düzey çözümler, hava kirliliği ile mücadelede daha etkili olabilir (Borge, 2014).

Küresel düzeyde, hava kirliliği ile mücadele sadece ulusal düzeyde değil, uluslararası iş birliği ile mümkün olacaktır. Paris İklim Anlaşması gibi küresel anlaşmalar, ülkeler arasında hava kirliliği ile mücadelede koordineli bir yaklaşım benimsenmesini sağlamaktadır. Gelecekte, dünya genelinde hava kalitesinin iyileştirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve insan sağlığının korunması adına daha fazla iş birliğini gerektirecektir (Anonim, Mart 2025i).

3.2 Türkiye’de Hava Kirliliği

Hava kirliliği, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de önemli bir çevresel ve sağlık sorunu olarak öne çıkmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde artan sanayileşme, yoğun trafik ve fosil yakıtların kullanımı gibi etkenler, hava kalitesinin ciddi şekilde düşmesine yol açmaktadır. Türkiye'deki hava kirliliği seviyesi, solunum yolu

hastalıkları ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi sağlık problemleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu tezde, Türkiye’de hava kirliliği sorununun mevcut durumu, başlıca kaynakları, etkileri ve mücadele stratejileri de detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Türkiye, hızla büyüyen bir ekonomi ve sanayileşme sürecinde olduğundan, hava kirliliği sorunu ciddi bir boyuta ulaşmıştır. Özellikle büyük metropoller olan İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi şehirlerde hava kirliliği, yıllık raporlarda yüksek seviyelerde yer almaktadır. 2021 yılında yapılan değerlendirmelere göre, Türkiye’deki bazı şehirlerde hava kirliliği, PM2.5 ve NO₂ gibi kirletici maddeler bakımından uluslararası hava kalitesi sınırlarının üzerinde kalmaktadır. Türkiye’deki hava kirliliği, kentsel nüfus yoğunluğunun artması, sanayi faaliyetlerinin çoğalması ve taşımacılık sektörünün büyümesi gibi nedenlerle daha da belirgin hale gelmektedir (Çakır Sümer, 2014).

Türkiye’de hava kirliliği çeşitli kaynaklardan beslenmektedir. Başlıca kaynaklar arasında sanayi, ulaşım, enerji üretimi ve tarımsal faaliyetler yer almaktadır.

Sanayi Faaliyetleri

Türkiye’nin sanayileşme süreci, hava kirliliği üzerinde büyük bir etki yapmaktadır. Fabrikalar, özellikle enerji üretim tesisleri, yüksek miktarda SO₂, NO_x ve CO₂ gibi kirletici gazlar yaymaktadır. Çelik üretimi, çimento fabrikaları ve tekstil sanayi gibi sektörler, bu kirletici gazları atmosfere salan başlıca sanayi dallarıdır. Sanayi bölgelerinin yoğun olduğu Kocaeli, Bursa ve Tekirdağ gibi iller, hava kirliliği açısından risk altındaki bölgeler arasında yer almaktadır (Zengin, 2019; Zeydan, 2021).

Ulaşım ve Trafik

Trafik, özellikle büyük şehirlerde hava kirliliğini artıran en önemli faktörlerden biridir. İstanbul, Ankara ve İzmir gibi şehirlerde yoğun araç trafiği, egzoz gazlarıyla birlikte CO, partikül madde ve NO₂ gibi kirleticilerin atmosfere salınımını artırmaktadır. Türkiye’de motorlu taşıt sayısının hızla artması ve petrol ve dizel yakıtların yaygın kullanımı, hava kalitesini olumsuz etkilemektedir (Bayram vd., 2006).

Enerji Üretimi ve Fosil Yakıt Kullanımı

Türkiye, enerji üretiminde büyük oranda fosil yakıtlara (özellikle kömür ve doğalgaz) bağımlıdır. Kömür yakıtlı termik santraller, çevreye yüksek miktarda zararlı gaz salınımı yapmaktadır. Zonguldak, Amasra gibi bölgelerde bulunan kömür madenleri ve termik santraller, yerel hava kirliliğine büyük katkı sağlamaktadır. Aynı şekilde, doğalgaz kullanımı da atmosferdeki CH₄ emisyonlarını artıran bir diğer faktördür (Arı, 2023).

Tarımsal Faaliyetler

Tarımda kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, amonyak (NH₃) salınımına neden olur. Amonyak, özellikle tarımın yoğun yapıldığı bölgelerde hava kirliliğini artıran başlıca faktörlerden biridir. Ayrıca, tarım makinelerinin kullanımı ve çiftliklerden çıkan atıkların yönetimi de hava kirliliğini etkileyen unsurlardır (Ertok Onurlu ve Ulaş, 2021).

Hava kirliliği, Türkiye’de insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve erken ölümler, hava kirliliğinin en belirgin sonuçlarıdır. 2019 verilerine göre, Türkiye’de her yıl yaklaşık 30 bin kişi hava kirliliği nedeniyle erken ölümler yaşamaktadır (Gayretli vd., 2024).

Hava kirliliği, astım, bronşit ve KOAH gibi hastalıkların yaygınlaşmasına yol açmaktadır. Kirli hava, akciğerleri tahriş eder ve bu hastalıkların şiddetini artırır. Özellikle çocuklar ve yaşlılar, hava kirliliğinden daha fazla etkilenmektedir. Kirli hava, kalp hastalıklarını tetikleyen önemli bir faktördür. Partikül maddeler, damarların tıkanmasına ve kalp krizi riskinin artmasına yol açmaktadır. İstanbul ve Ankara gibi büyük şehirlerdeki hava kirliliği, kalp hastalıklarını artıran temel unsurlardan biridir. Hava kirliliği, ekosistemler üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Asidik yağmurlar, toprak asidifikasyonu, su kirliliği ve biyoçeşitlilik kaybı gibi çevresel sorunlar, hava kirliliği ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, kirli hava ozon tabakasını zayıflatabilir ve küresel ısınmayı tetikleyebilir (Demirbaş ve Aydın, 2020).

Türkiye, hava kirliliği ile mücadele etmek amacıyla çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Bu stratejiler hem ulusal düzeydeki politikalar hem de yerel yönetimlerin uygulamalarıyla şekillenmiştir (Gayretli vd., 2024).

3.2.1 Yasal düzenlemeler ve denetimler

Türkiye, hava kirliliği ile mücadelede çeşitli yasal düzenlemeler geliştirmiştir. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, hava kalitesini izlemek ve kirletici emisyonları sınırlamak amacıyla bir dizi düzenleme getirmiştir. 2009 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Yönetmeliği, Türkiye’de hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik atılan ilk önemli adımdır. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKHKKY) ve Çevre İzin Lisans Yönetmeliği ile sanayi tesislerinden kaynaklanan kirletici gazların denetimi artırılmıştır. Ayrıca Merkezi Laboratuvar Belirleme Sistemi (MELBES) ile tarafsız, akredite ve Bakanlığa bağlı kuruluşlar ölçüm ve izleme yapmakta ve rapor etmektedir (Altıkat vd., 2011).

Temiz Ulaşım Çözümleri

Trafik kaynaklı hava kirliliğini azaltmak amacıyla, Türkiye’de toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve elektrikli araçların teşvik edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde, elektrikli otobüsler ve metro hatları gibi ulaşım çözümleri hızla yaygınlaştırılmaktadır (Glazener ve Khreis, 2019).

Yenilenebilir Enerji Yatırımları

Türkiye, enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını artırmak amacıyla çeşitli projeler geliştirmektedir. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımları artmaktadır. Çanakkale, Aydın ve Hatay gibi bölgelerde rüzgâr enerji santralleri kurulmuş olup, bu tür yatırımların artırılması hedeflenmektedir (Alvarez-Herranz vd., 2017).

Ağaçlandırma ve Doğal Alanların Korunması

Türkiye’de ağaçlandırma projeleri, hava kirliliği ile mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Orman Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan Yeşil Vatan Projesi kapsamında, ülke genelinde geniş çaplı ağaçlandırma çalışmaları yapılmaktadır. Ayrıca, doğal alanların korunması ve çevre dostu tarım yöntemlerinin teşvik edilmesi de hava kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Gayretli vd., 2024).

Türkiye’de hava kirliliği, hızla artan sanayileşme, trafik yoğunluğu ve enerji üretimindeki fosil yakıt bağımlılığı gibi etkenlerle önemli bir sorun haline gelmiştir. Hava kirliliği hem insan sağlığına hem de çevreye ciddi zararlar vermektedir. Türkiye, bu sorunla mücadele için çeşitli stratejiler geliştirmiş olsa da hava kalitesini iyileştirmek için daha fazla önlem alınması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımları, temiz ulaşım çözümleri ve sanayi denetimlerinin artırılması, Türkiye’de hava kirliliğiyle mücadelede kritik adımlar olacaktır (Hopur vd., 2024; Gayretli vd., 2024).

3.3 Hava Kalitesi İndeksi

HKİ, hava kirliliğinin seviyelerini değerlendiren ve halkı hava kalitesi hakkında bilgilendiren bir göstergedir. Bu indeks, çeşitli hava kirliliği parametrelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve insanların hava kalitesini anlamalarını sağlar. HKİ, dünya genelinde hava kirliliği seviyelerinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede hava kalitesinin halk tarafından anlaşılabilir bir şekilde sunulması amacıyla bu indeks uygulanmaktadır.

- Ölçüm verileri, HKİ hesaplamasında kullanılır.
- HKİ, halkın hava kirliliğini kolayca anlaması için bir ölçek sunar (örneğin, "iyi", "orta", "sağlıksız").

HKİ, belirli bir bölgedeki hava kalitesinin genel durumunu yansıtmak için kullanılan bir sayısal değerdir. Bu değer, çeşitli kirleticilerin (örneğin, PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, CO ve O₃) konsantrasyonlarına dayalı olarak hesaplanır. HKİ, genellikle 0 ile 500 arasında bir değere sahiptir ve bu değer, hava kalitesinin kötü, orta veya iyi olup olmadığını gösterir (Anonim, Mart 2025c).

3.3.1 Hava kalitesi indeksi hesaplama

HKİ, hava kirliliği ölçümleri sonucu elde edilen verilerle hesaplanır. En yaygın kullanılan hava kalitesi parametreleri şunlardır:

- PM10: 10 mikrometreden küçük partikül madde.
- PM2.5: 2.5 mikrometreden küçük partikül madde.
- NO₂: Trafik, sanayi ve enerji üretiminden kaynaklanan bir kirletici gaz.
- SO₂: Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan gaz.
- CO: Yanma işlemi sırasında açığa çıkan zehirli bir gaz.
- O₃: Yer seviyesindeki ozon, hava kirliliği oluşturabilir ve insan sağlığını tehdit edebilir.

Bu parametrelerin her biri, bir skala üzerinde belirli bir değere dönüştürülür ve en yüksek değeri dikkate alarak genel HKİ hesaplanır. Her bir kirletici madde için belirli bir konsantrasyon aralığı bulunur ve bu aralık, belirli bir HKİ değeriyle ilişkilendirilir (Kumari ve Jain, 2018; Anonim, Mart 2025d).

3.3.2 Hava kalitesi indeksi değerleri ve anlamı

HKİ genellikle 0-500 arasında bir değere sahiptir. Bu değerler, hava kalitesinin ne kadar iyi veya kötü olduğunu belirtmek için kullanılan renkli bir sistemle kategorize edilir. HKİ, atmosferde bulunan kirleticilerin yoğunluğunu belirleyerek hava kalitesinin değerlendirilmesi ve kamuoyuna anlaşılır bir şekilde sunulması amacıyla kullanılan bir ölçüttür. Bu indeks, farklı kirleticiler için belirlenen sınır değerlere dayanarak hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki olası etkilerini gösterir ve çeşitli kategorilere ayrılır. HKİ'nin temel kullanım amaçlarından biri, halkı bilgilendirmek ve farkındalık oluşturmaktır. Günlük hava kalitesi verileri paylaşılırken, özellikle hassas gruplar (çocuklar, yaşlılar ve solunum yolu hastalıkları olan bireyler) için gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olur (Zencirci ve Işıklı, 2017).

Bunun yanı sıra, HKİ çevre yönetimi ve politika geliştirme süreçlerinde önemli bir araç olarak kullanılır. Yetkililer, hava kirliliğinin seviyelerini izleyerek, belirli bölgelerde alınması gereken önlemleri belirleyebilir ve uzun vadeli hava kalitesi iyileştirme stratejileri geliştirebilir. Ayrıca, sanayi tesisleri, trafik ve diğer kirletici kaynakların

emisyollarını kontrol etmek amacıyla düzenlemeler yapılmasına yardımcı olur. Acil durum planlamalarında da önemli bir rol oynayan HKİ, yüksek kirlilik dönemlerinde alınması gereken tedbirleri belirleyerek halk sağlığının korunmasına katkı sağlar. Böylece hem bireysel düzeyde hem de politika yapıcılar açısından hava kalitesi yönetimi konusunda bilinçli kararlar alınmasına olanak tanır. Türkiye ve dünya genelinde en yaygın kullanılan HKİ değerleri ve kategorileri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir (Anonim, Mart 2025j).

Çizelge 3.2. HKİ değerleri ve kategorileri (Anonim, Mart 2025j)

İndeks	HAVA KALİTESİ İNDEKSİ	SO ₂ [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	CO [µg/m ³]	O ₃ [µg/m]	PM10 [µg/m ³]
		1 Sa. Ort.	1 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	8 Sa. Ort.	24 Sa. Ort.
İyi	0 - 50	0-100	0-100	0-5500	0-120	0-50
Orta	51 - 100	101-250	101-200	5501-10000	121-160	51-100
Hassas	101 – 150	251-500	201-500	10001-16000	161-180	101-260
Sağlıksız	151 – 200	501-850	501-1000	16001-24000	181-240	261-400
Kötü	201 – 300	851-1100	1001-2000	24001-32000	241-700	401-520
Tehlikeli	301 – 500	>1101	>2001	>32001	>701	>521

3.4 Türkiye'deki Hava Kalitesi İzleme Sistemi

Hava kalitesi ölçüm istasyonları, kirlilik seviyelerini anlamak ve etkili müdahaleler geliştirmek için vazgeçilmez bir araçtır. Bu istasyonlardan elde edilen veriler, kirliliğin etkilerini azaltmak ve toplum sağlığını korumak için kritik rol oynar. Türkiye’de hava kalitesini izlemek için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yönetilen ulusal bir ağ bulunmaktadır.

- Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı: 350’den fazla sabit istasyon ile ülke genelinde hizmet verir.
- Veri Yayını: Gerçek zamanlı ölçüm verileri paylaşılır (Anonim, Mart 2025l ve Anonim, Mart 2025n).

Dış ortam havasında kirleticilerin konsantrasyonları hava kirliliği açısından temel bir durum göstergesidir. Bu gerekçe ile “Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı” kapsamında 81 ilde kurulu bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler toplanmakta,

ayrıca sürekli ve çevrimiçi olarak www.havaizleme.gov.tr internet adresinden de halkın bilgisine sunulmaktadır. Türkiye de tüm bu veriler ışığında sabit ölçüm istasyonlarının PM10 verilerini Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağından elde edilen bilgilere göre, 2022 yılında kirliliğin en yüksek olduğu 10 istasyonda ölçülen ve doğrulanmış olan yıllık ortalama PM10 ve SO₂ verileri Çizelge 3.3'te sunulmaktadır. Hakkâri istasyonu yıllık ortalama PM10 ve SO₂ değeri bakımından 2022 yılının en yüksek istasyonu olarak görülmektedir (Yılmaz ve Karagözoğlu, 2022; Anonim, Mart 2025a).

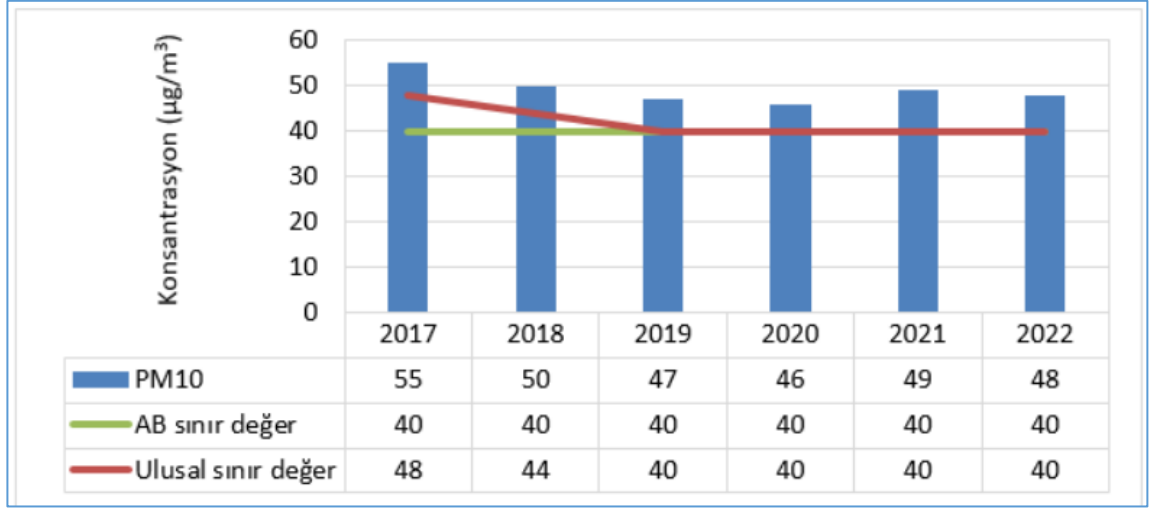
2018-2022 yılları arasındaki son beş yıllık döneme bakıldığında, yıllık PM10 ortalamalarının en yüksek olduğu ilk 10 istasyon arasına Iğdır, Malatya ve Muş istasyonlarının 5 kez; Şırnak istasyonunun 4 kez; Çorum, Erzincan ve Kilis istasyonlarının ise 3 kez girdiği görülmektedir. Son beş yıllık dönemde yıllık SO₂ ortalamalarının en yüksek olduğu ilk 10 istasyon arasına Edirne, Hakkâri ve Şanlıurfa istasyonlarının 5 kez; Bitlis, Yozgat, Tunceli ve Van istasyonlarının ise 4 kez girdiği görülmektedir (Mart 2025a)

Çizelge 3.3. Türkiye’de 2022 yılına ait PM10 ve SO₂ ortalamalarının en yüksek olduğu HKİ ilk 10 (Mart 2025a)

İstasyon Adı	PM10 (µg/m ³)*	İstasyon Adı	SO ₂ (µg/m ³)*
Hakkari	111	Hakkari	60
Iğdır	98	Şanlıurfa	37
Şırnak	92	Kahramanmaraş	30
Batman	90	Mardin	20
Muş	77	Tunceli	20
Denizli	76	Gaziantep	20
Malatya	75	Kırıkkale	20
Kilis	68	Ağrı	19
Gaziantep	66	Edirne	17
Osmaniye	65	Manisa	17

* İstasyonlardan alınan valide edilmiş saatlik ortalama verilerinden 90% ve üzeri olanlar esas alınarak değerlendirilmiştir.

Şekil 3.1’de son beş yılın PM10 ortalama konsantrasyonları verilmiştir. Buna göre 2022 yılında ulusal ve AB sınır değeri %29 oranında aşılmıştır.



Şekil 3.1. Son beş yılın (2014-2021) ortalama PM10 konsantrasyonları

BÖLÜM IV

HAVA KİRLETİCİ PARAMETRELER

4.1 Hava Kirletici Temel Parametreler ve Ölçülmesi

O₃

Troposferik O₃, güneş ışığıyla NO_x ve uçucu organik bileşik(VOC)ler arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur. O₃, insan sağlığı üzerinde zararlı etkiler yaratabilir ve solunum yollarında tahrişe neden olabilir. Özellikle astım hastaları ve yaşlılar için ciddi bir risk oluşturur (EPA, 2023). Ayrıca O₃, bitkilerin fotosentez yeteneğini engelleyerek tarımsal verimi düşürür ve ekosistemlere zarar verir.

NO₂

NO₂, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan bir gazdır. Motorlu taşıtlar, enerji santralleri ve endüstriyel tesisler, NO₂ emisyonlarının başlıca kaynaklarıdır. NO₂, solunum yollarında iltihaplanmaya yol açabilir ve akciğer fonksiyonlarını olumsuz etkileyebilir (Anonim, Mart 2025b). Ayrıca, NO₂ atmosferde diğer kirleticilerle reaksiyona girerek O₃ ve ince partikül madde oluşumuna katkıda bulunur.

SO₂

SO₂, genellikle kömür ve petrol gibi fosil yakıtların yanmasıyla atmosfere salınır. SO₂, özellikle solunum yollarında tahrişe neden olur ve astımı kötüleştirebilir. Yüksek konsantrasyonlarda maruz kalınması durumunda, bronşit gibi kronik solunum hastalıklarına yol açabilir (EPA, 2023). SO₂ ayrıca atmosferde su buharıyla birleşerek asit yağmurlarına neden olur ve su kaynakları, topraklar ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkiler yaratır.

CO

CO, fosil yakıtların tam olarak yanmaması sonucu oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. Motorlu taşıtlar ve ısıtma sistemleri, CO emisyonlarının en yaygın kaynaklarıdır. CO, kandaki hemoglobinle bağlanıp oksijen taşınmasını engeller, baş ağrısı, baş dönmesi gibi semptomlara neden olur. Yüksek dozda maruz kalınması durumunda ise ölümcül olabilir (Mart 2025b).

Pb

Pb, genellikle endüstriyel faaliyetlerden ve eski tür yakıtların kullanımından kaynaklanır. Çocuklarda nörolojik gelişim bozukluklarına, yetişkinlerde ise kardiyovasküler hastalıklara neden olabilir. Havadaki Pb konsantrasyonlarının kontrol altına alınması, çevresel yönetmeliklerin önemli bir parçasıdır (EPA, 2023).

VOC

VOC'ler, karbon içeren organik bileşikler olup, boya, temizlik malzemeleri ve yakıt buharları gibi birçok kaynaktan atmosfere salınır. VOC'ler, O₃ ve ince partikül madde oluşumunda rol oynayarak dolaylı olarak hava kirliliğini artırır. Ayrıca, bazı VOC türleri kanserojen etkilere sahip olabilir (Mart 2025b).

CH₄ ve Diğer Sera Gazları

CH₄, CO₂ ile en önemli sera gazlarından biridir. Fosil yakıtların çıkarılması, tarım ve atık yönetimi süreçleri, CH₄ emisyonlarının başlıca nedenleridir. CH₄, küresel ısınma potansiyeli yüksek bir gazdır ve iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunur (IPCC, 2022).

Partikül Madde (PM₁₀ ve PM_{2.5})

Partikül madde, havada asılı durumda bulunan sıvı ve katı parçacıklardan oluşur. PM₁₀ ve PM_{2.5} en yaygın ölçülen partikül türleridir. PM_{2.5}, solunum yollarına kolayca girebileceği ve akciğerlerde birikerek sağlık sorunlarına yol açabileceği için özellikle

tehlikelidir. Uzun süreli maruziyet, astım, bronşit ve kalp hastalıklarını tetikleyebilir (Mart 2025b). Ayrıca, bu partiküller tarım ürünlerine zarar verebilir ve atmosferdeki görünürlüğü azaltabilir.

Partikül madde, atmosferde katı ve sıvı halde asılı kalan organik ve inorganik bileşenlerin bir karışımıdır. Aerodinamik çaplarına göre sınıflandırılan bu maddeler, özellikle PM10 ve PM2.5 kategorilerinde halk sağlığı ve çevre üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır.

Partikül maddenin doğal ve antropojenik kaynakları vardır. Doğal kaynaklar; Volkanik Faaliyetler: Volkanik patlamalar büyük miktarda kül ve diğer ince partikülleri atmosfere yayar. Toz Fırtınaları: Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, toprak erozyonu sonucu toz partikülleri atmosfere karışır. Biyojenik Kaynaklar: Polen, sporlar ve bitki parçaları gibi biyolojik materyaller partikül madde kaynaklarıdır. Antropojenik kaynaklar ise; Fosil Yakıt Tüketimi: Enerji üretimi ve ulaşım sektöründe kömür, petrol ve doğal gazın yanması büyük miktarda partikül madde emisyonuna neden olur. Sanayi Faaliyetleri: Çimento üretimi, metal işleme ve kimyasal süreçler partikül madde salınımına yol açar. Tarım: Tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve pestisitler ile toprak işlemleri sırasında toz oluşumu gerçekleşir (Drraijers ve Hulskotte, 1997).

Partikül maddelerin insan sağlığı üzerinde de ciddi etkisi vardır. Solunabilir parçacıklar (PM10 ve daha küçük olanlar), akciğerlere ve dolaşım sistemine kadar ulaşabilir. Sağlık üzerindeki başlıca etkiler şunlardır:

- Solunum Hastalıkları: Astım, bronşit ve KOAH
- Kardiyovasküler Rahatsızlıklar: Partikül madde, kalp krizleri ve felç riskini artırabilir.
- Kanseri: Uzun süreli partikül madde maruziyeti, akciğer kanseri riskini artırmaktadır.
- Bağışıklık Sistemi Üzerine Etkiler: İnflamasyonu tetikleyerek bağışıklık sistemini olumsuz etkiler (İlkılıç ve Behçet, 2006; Ibadullayeva vd., 2019)

Partikül maddeler ekosistemler üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir. Asit Yağmurları; Kükürt ve azot oksitler ile reaksiyona giren partikül madde, asit

yağmurlarına neden olabilir. İklim Değişikliği: Siyah karbon gibi bazı partikül madde türleri, güneş ışığını emerek ısınmaya katkıda bulunur. Su ve Toprak Kirliliği: Partikül madde, yüzey sularına ve toprağa çökerek kirlilik yaratır. Fotosentez Üzerindeki Etkiler: Bitki yüzeylerine biriken partikül madde, fotosentez oranını azaltabilir (Ibadullayeva vd., 2019).

Partikül madde, hem sağlık hem de çevre üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu tehditlerin azaltılması için çok yönlü yaklaşımlar gereklidir. Mevzuat ve teknolojik çözümler bir arada uygulanmalı, bireysel farkındalık artırılmalıdır. Ayrıca, partikül maddenin sağlık ve çevresel etkilerini azaltmak için daha fazla araştırma yapılmalı ve yenilikçi çözümler geliştirilmelidir. Bu çalışmada Niğde ilindeki PM10 dağılımı ölçülmüş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Hava kirletici parametrelerin düzenli olarak izlenmesi ve kontrol altına alınması hem insan sağlığı hem de çevrenin korunması açısından hayati öneme sahiptir. Bu parametrelerin yönetimi, ulusal ve uluslararası düzeyde yasal düzenlemelerle desteklenmekte, ayrıca kamu sağlığı politikalarının oluşturulmasında kritik bir rol oynamaktadır. DSÖ'nün hava kalitesi kılavuzları ve EPA'nın düzenlemeleri, bu konuda temel bir rehber sunmaktadır (Ibadullayeva vd., 2019).

Hava kirliliğinde temel parametreler, atmosferdeki kirletici maddelerin miktarını ve bunların insan sağlığı, çevre ve ekosistem üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılan ölçütlerdir. Bu parametreler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hava kirliliğinde temel parametreler (Anonim, Mart 2025m)

Parametre	Tanım	Kaynakları	Etkileri
Partikül Madde	PM10: Solunum yollarına kadar ulaşabilir. PM2.5: Akciğerlere ve kan dolaşımına kadar nüfuz edebilir.	Sanayi, araç egzozları, odun ve kömür yakma.	Solunum ve kalp hastalıkları, akciğer kanseri
CO	Renksiz, kokusuz ve toksik bir gazdır.	Fosil yakıtların eksik yanması, araç motorları, ısıtma cihazları.	Kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır, baş ağrısı, baş dönmesi ve yüksek seviyelerde ölüme yol açabilir.
O ₃	Troposferde zararlı bir kirlenici, stratosferde ise koruyucu bir tabakadır.	Endüstriyel emisyonlar ve araçlardan çıkan NO _x ile VOC'lerin güneş ışığında reaksiyonu	Solunum yollarını tahriş eder, bitkilerde ve ekosistemlerde zarar oluşturur.
NO _x	NO ₂ ve NO	Araç motorları, enerji santralleri ve fosil yakıt yanması.	Akciğer dokusunda hasar, asit yağmurlarına ve ozon oluşumuna katkı.
SO ₂	Renksiz, keskin kokulu bir gazdır.	Kömür ve petrol gibi kükürt içeren fosil yakıtların yanması, metal eritme işlemleri.	Solunum sistemi rahatsızlıkları, asit yağmurlarına neden olarak çevresel tahribat.
VOC	Kolayca buharlaşabilen organik maddelerdir.	Boyalar, temizlik ürünleri, çözücüler ve endüstriyel süreçler.	Fotokimyasal smog oluşumu, uzun vadede toksik ve kanserojen etkiler.
Pb	Ağır bir metal, genellikle endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanır.	Eski tip benzin, endüstriyel emisyonlar, piller.	Sinir sistemi bozuklukları, çocuklarda öğrenme güçlükleri ve davranışsal sorunlar.
NH ₃	Keskin kokulu, renksiz bir gazdır.	Tarım faaliyetleri (gübreler ve hayvancılık), endüstriyel prosesler.	Asidik bileşikler oluşturarak PM2.5 oluşumuna katkıda bulunur, solunum sistemi rahatsızlıklarına yol açabilir.
CH ₄	Güçlü bir sera gazıdır.	Hayvancılık, organik atıklar, fosil yakıt üretimi.	Küresel ısınmayı artırır, iklim değişikliğine katkıda bulunur.
CO ₂	Doğal bir sera gazıdır, ancak insan faaliyetleriyle yoğunlaşmıştır.	Fosil yakıtların yanması, ormansızlaşma, endüstriyel üretim.	Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden birisidir.

Bu parametrelerin ölçülmesi, hava kalitesinin izlenmesi ve kirleticilerin kontrol altına alınması için hayati öneme sahiptir.

Hava kirliliği parametrelerinin izlenmesi ve ölçülmesi hem bilimsel hem de teknik süreçler içerir. Bu süreçler, doğru ve güvenilir veri elde edilmesini, çevresel etkilerin analiz edilmesini ve kirliliği önleyici adımların atılmasını sağlar. Hava kirliliği parametrelerinin izlenmesi ve ölçülmesi, modern cihazlar ve teknikler kullanılarak gerçekleştirilen bir süreçtir. Bu ölçümler, çevreye salınan kirleticilerin düzeyini anlamak ve hava kalitesini değerlendirmek için gereklidir.

Hava kalitesinin değerlendirilmesi, kirletici parametrelerin doğru bir şekilde ölçülmesine dayanır. Bu ölçüm hem çevresel düzenlemelere uyumu sağlamak hem de insan sağlığını korumak için gereklidir. Hava kirleticilerin ölçülmesi için çeşitli cihazlar ve yöntemler kullanılır. Bu yöntemler, kirletici türüne, konsantrasyonuna ve ölçümün amacına göre değişir.

Partikül madde ölçümü, genellikle gravimetrik yöntem, ışık saçılımı veya beta ışını soğurma teknikleriyle gerçekleştirilir.

Gravimetrik Yöntem: Hava, belirli bir süre boyunca cam elyaf filtreler üzerinden çekilir ve filtrede biriken partiküller tartılarak konsantrasyon hesaplanır. Bu yöntem, referans bir yöntem olarak kabul edilir (EPA, 2023).

Işık Saçılımı: Bu yöntem, partiküller üzerinden geçen bir lazer ışığının saçılmasını ölçerek anlık sonuçlar verir. Özellikle taşınabilir cihazlarda sıkça kullanılır.

Beta Işını Soğurma: Havadaki partiküller bir filtreden geçirilir ve bu filtrede biriken madde beta ışınlarının soğurulma miktarını değiştirir. Bu yöntem, yüksek hassasiyete sahiptir.

4.2 Hava Kirletici Ölçüm İstasyonları

Hava Kirletici Ölçüm İstasyonları, atmosferdeki kirletici maddelerin konsantrasyonlarını ölçmek ve hava kalitesini izlemek amacıyla kullanılan sabit veya

taşınabilir ölçüm birimleridir. Bu istasyonlar, çevresel yönetim politikalarının uygulanması, halk sağlığının korunması ve kirlilik kaynaklarının belirlenmesi için kritik öneme sahiptir.

Hava kalitesi ölçüm istasyonları genellikle partikül madde (PM10, PM2.5), CO, NO₂, SO₂, O₃, VOC'ler ve NH₃ temel hava kirleticileri izler (Anonim, Mart 2025m).

Hava Kirleticisi Ölçüm İstasyonlarının Özellikleri ve Türleri

Yerleşim Alanları:

- Şehir merkezleri, sanayi bölgeleri, trafik yoğunluğu yüksek yollar, kırsal alanlar ve doğal rezervlerde bulunur.
- Konum seçimi, izlenecek kirleticilerin kaynağına ve etkilediği nüfusa göre yapılır.

Ölçüm Cihazları ve Sensörler:

- Kirleticilerin türüne ve izleme amacına göre farklı cihazlarla donatılır.
- Partikül madde, gaz analizörleri, meteorolojik sensörler gibi ekipmanlar içerir.

Veri Toplama ve İletim:

- Ölçüm verileri gerçek zamanlı olarak toplanır ve bir merkezde analiz edilmek üzere aktarılır.
- Kablosuz ağlar, GSM modemler veya fiber optik hatlarla veri iletimi yapılır.

Ölçüm İstasyon Türleri:

Sabit Ölçüm İstasyonları

- Belirli bir bölgede sürekli ölçüm yapar.
- Hava kalitesindeki uzun vadeli değişikliklerin izlenmesi için idealdir.

- Örnek Kullanım Alanları: Şehir merkezleri, sanayi bölgeleri, yoğun trafik yolları.

Mobil Ölçüm İstasyonları

- Taşınabilir özellikteki araç veya ekipmanlarla farklı bölgelerde ölçüm yapılır.
- Kısa süreli izleme veya acil durumlarda kullanılır.
- Avantajı: Farklı alanlarda hızlı ve esnek ölçüm sağlar.

Bölgesel ve Kırsal Ölçüm İstasyonları

- Büyük ölçekli kirletici yayılımını ve uzun menzilli taşınımını izlemek için kullanılır.
- Örnek: Ozon ve PM konsantrasyonlarının bölgesel etkilerini değerlendirmek.

Uydu Destekli Ölçüm Sistemleri

- Geniş alanların hava kalitesini izlemek için uydu görüntüleme teknolojisiyle entegre çalışır.
- Uydu verileri ile sabit ve mobil istasyonların verileri birleştirilir.

Mobil Ölçüm Sistemleri

- Taşınabilir ölçüm cihazları veya özel olarak donatılmış araçlar, farklı bölgelerde hava kalitesini ölçmek için kullanılır.
Acil durumlarda, kirletici kaynaklarını belirlemek veya hareketli kirleticileri izlemek için idealdir.

Uydu Tabanlı İzleme

- Uzaydan elde edilen veriler, geniş bir alanın hava kalitesini gözlemlemek için kullanılır.
NASA'nın MODIS ve ESA'nın Sentinel-5P gibi uyduları, gazların ve partikül maddelerin yoğunluğunu izleyebilir.

Kalibrasyon ve Kalite Kontrol

- Tüm cihazlar ve sensörler düzenli olarak kalibre edilir ve doğruluklarını sağlamak için kalite kontrol prosedürleri uygulanır.

Verilerin Analizi ve Raporlanması

- Ölçülen değerler, ulusal ve uluslararası hava kalitesi standartları (örneğin, DSÖ'nün hava kalitesi kılavuzları) ile karşılaştırılır.
- Veriler genellikle HKİ formatında sunulur ve kamuya açık platformlarda paylaşılır (Anonim, Mart 2025l).

4.3 Teknolojik Donanımlar ve Sistemler

Gaz Analizörleri:

- CO, NO_x, SO₂ ve O₃ gibi gazların konsantrasyonlarını ölçmek için kullanılır.
- Çalışma prensipleri arasında UV absorpsiyon, floresan spektroskopisi veya elektro-kimyasal sensörler bulunur.

Partikül Madde Ölçüm Cihazları:

- PM10 ve PM2.5 konsantrasyonlarını ölçmek için lazer ışını saçılımı veya gravimetrik yöntemler kullanılır.

Meteorolojik Sensörler:

- Hava kalitesini etkileyen rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, nem ve atmosferik basınç gibi parametreleri izler.

Veri Toplama ve İletim Sistemi:

- Ölçülen değerler, bir veri toplama sistemine aktarılır ve analiz edilir.

- Otomatik sistemler, ölçülen verileri gerçek zamanlı olarak merkezi bir veri tabanına gönderir (Anonim, Mart 2025o)

Çizelge 4.2. Ölçülen parametreler için kullanılan cihazlar (Anonim, Mart 2025o)

Parametre	Cihaz	Teknoloji
CO	Elektro-kimyasal sensörler	Gaz analizi
NO _x	UV absorpsiyon spektroskopisi	Fotokimyasal ölçüm
SO ₂	Fluoresan analiz cihazları	Gaz fazı kimyasal reaksiyon
Partikül Madde	Gravimetrik analiz cihazları, sensörleri	lazer Işık saçılımı, filtre toplama
O ₃	UV fotometre	Absorpsiyon yöntemi

Bu süreçler, hava kirliliğinin etkili bir şekilde izlenmesini sağlar ve kirliliği azaltmaya yönelik politika ve stratejiler geliştirilmesine temel oluşturur.

BÖLÜM V

MATERYAL METOD

5.1 İnceleme Alanı

Niğde ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alır ve jeolojik olarak oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bölge, Neojen ve Paleozoyik yaşlı kayalardan oluşmakta olup, özellikle Niğde Masifi adı verilen metamorfik kayalar bu bölgenin en önemli jeolojik özelliklerinden biridir. Masif, başlıca gnays, mermer ve şist gibi metamorfik kayalardan oluşur. Ayrıca, volkanik aktiviteler sonucunda meydana gelen tüf ve bazalt yapılar da bölgenin jeolojisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Niğde, ortalama 1229 m rakımlı genellikle engebeli ve dağlık bir arazi yapısına sahiptir. Melendiz Dağları, Hasandağı ve Bolkar Dağları ilin önemli yükseltileri arasındadır. Ayrıca, geniş düzlükler ve platolar da bulunmaktadır. Ecemiş Fayı, bölgedeki önemli tektonik unsurlardan biri olup, depremsellik açısından dikkat edilmesi gereken bir fay hattıdır.

Niğde, çeşitli maden yatakları açısından zengin bir bölgedir. Bölgede bulunan başlıca yer altı kaynakları; bor mineralleri (özellikle Borçelik ve Çiftlik ilçeleri civarında), mermer ve granit yatakları, krom, nikel ve demir gibi metalik madenler, linyit kömürü rezervleri, zengin volkanik tüf kaynakları ve en önemli ve yaygın madencilik alanı olarak kalsit olarak sıralandırabiliriz. Ayrıca, bölgede jeotermal kaynaklar bulunmakta olup, özellikle turizm ve enerji üretimi açısından potansiyel taşımaktadır.

2023 TÜİK verilerine göre Niğde'nin nüfusu yaklaşık 365.000 kişi civarındadır. Nüfusun büyük bir kısmı merkez ilçede yoğunlaşmıştır. Genç nüfus oranı düşük olup, göç nedeniyle nüfus artış hızı yavaştır. Göç, özellikle sanayi ve iş imkanlarının sınırlı olması nedeniyle dışarıya yöneliktir.

Niğde, İç Anadolu'nun diğer şehirleri gibi karasal iklim özellikleri taşımakta olup, hava kirliliği açısından dönemsel değişiklikler göstermektedir. Kalsit madenciliğinin şehir

merkezine yakın olması ve kış aylarında özellikle soba ve kömür kullanımına bağlı olarak PM10 seviyeleri yükselmektedir.

Günümüzde, fosil yakıtların yoğun kullanımı, sanayileşme, nüfusun giderek artması, konfor odaklı yaşam biçimi ve çevre bilincinin yeterince gelişmemesi, hava kirliliğinin artmasına ve yaşam kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açan başlıca faktörlerdir.

Niğde'deki hava kirliliğinin nedenleri, şehrin coğrafi, demografik ve ekonomik özelliklerine bağlı olarak çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Niğde son 3-4 yıllık bir süreç içinde sanayileşmenin arttığı bir şehir olmuştur. Türkiye'nin neredeyse orta noktasında, otoban üzerinde, Akdeniz limanlarına yakın, sanayi bölgelerinde teşvik üst seviyede ve deprem riskinin az olması Niğde'yi sanayi bakımından çekici yapmaktadır. Bunlar göze alındığında Niğde'nin ileriki yıllarda daha da sanayileşeceği açıktır.

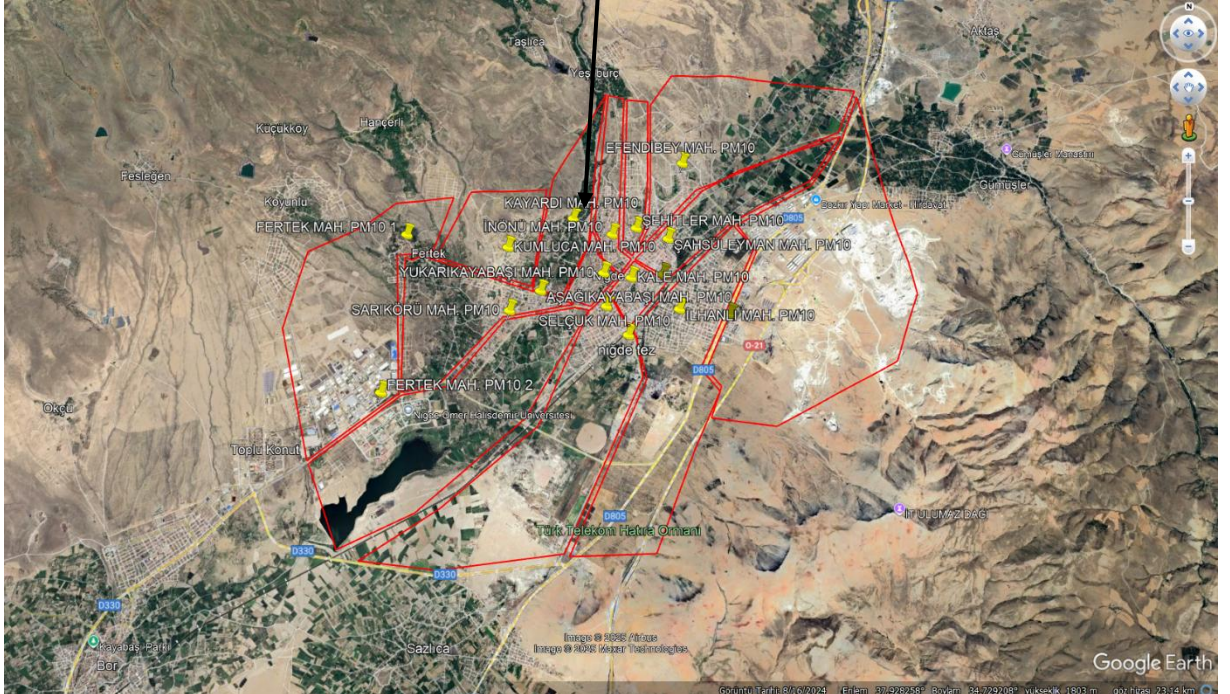
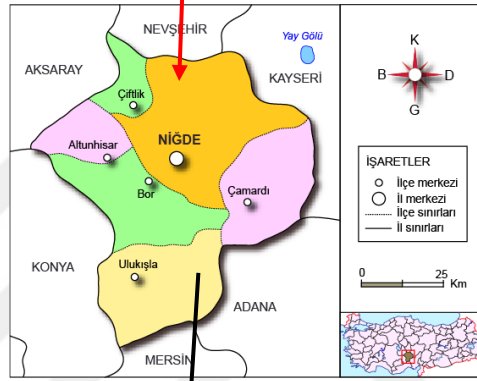
Bu çalışmada Türkiye'nin iç Anadolu bölgesinde bulunan Niğde ilinde her mahalleden EPA 40 CFR 50 metodu ile PM10 örnekleme alınarak analiz edilmiş ve AERMOD ile işlenerek Niğde ili hava kalitesi haritası çıkarılmıştır. Niğde ili mahalle haritası Şekil 5.2'de verilmiştir. Niğde Yer Bulduru Haritası Şekil 5.1'de verilmiştir. Ayrıca PM10 ölçüm noktaları koordinatları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Niğde yıllık ortalama sıcaklık, yağış gibi hava durumu verileri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Niğde ili yıllık ortalama hava durumu verileri (Anonim, Mart 2025e)

NİĞDE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1935 - 2024)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0,2	1,2	5,1	10,7	15,1	19,2	22,5	22,4	18,2	12,6	6,6	1,9	11,3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4,9	6,5	11,0	16,8	21,5	25,9	29,5	29,7	25,7	19,7	13,0	7,2	17,6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4,5	-3,4	-0,2	4,5	8,4	12,0	14,9	14,6	10,5	6,0	1,2	-2,4	5,1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,8	4,9	5,8	7,0	8,4	10,3	11,5	11,3	9,9	7,4	5,4	3,8	7,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10,82	10,22	11,39	11,04	11,79	6,90	1,84	1,52	2,91	6,33	7,41	10,62	92,8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	35,6	32,8	36,3	41,1	48,2	28,5	5,5	6,7	10,6	25,6	31,0	40,9	342,8
Ölçüm Periyodu (1935 - 2024)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19,9	20,5	26,4	30,8	33,0	35,7	38,5	39,7	37,3	32,0	25,0	21,2	39,7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-25,6	-24,2	-23,9	-6,9	-2,6	3,5	6,6	6,5	-0,7	-6,2	-19,5	-24,0	-25,6
En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.													
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı							Günlük En Hızlı Rüzgar			En Yüksek Kar			
22.12.1987 54,5 mm							27.04.1965 38,3 m/sn			21.12.2002 39 cm			

Çizelge 5.2. PM10 ölçüm koordinatları

No.	Mahalle Adı	Ölçüm Yeri Adı	Ölçüm Koordinatı (UTM ED 50 6 Derece)
1	Fertek Mahallesi	Fertek Mahallesi PM10-1	642398.26 / 4204248.86
		Fertek Mahallesi PM10-2	642181.94 / 4200736.58
2	Aşağıkayabaşı Mahallesi	Aşağıkayabaşı Mahallesi PM10	645411.64 / 4203143.64
3	Sarıköprü Mahallesi	Sarıköprü Mahallesi PM10	644769.76 / 4202665.78
4	Selçuk Mahallesi	Selçuk Mahallesi PM10	646862.91 / 4202867.74
5	İlhanlı Mahallesi	İlhanlı Mahallesi PM10	648445.55 / 4202878.28
6	Nar Mahallesi	Nar Mahallesi PM10	649534.74 / 4202802.09
7	Şahsüleyman Mahallesi	Şahsüleyman Mahallesi PM10	648140.13 / 4204465.27
8	Kale Mahallesi	Kale Mahallesi PM10	647370.41 / 4203530.45
9	Efendibey Mahallesi	Efendibey Mahallesi PM10	648391.67 / 4206240.18
10	Şehitler Mahallesi	Şehitler Mahallesi PM10	647432.60 / 4204660.55
11	İnönü Mahallesi	İnönü Mahallesi PM10	646906.01 / 4204494.90
12	Yukarı Kayabaşı Mahallesi	Yukarı Kayabaşı Mahallesi PM10	646764.81 / 4203608.76
13	Kayardı Mahallesi	Kayardı Mahallesi PM10	646025.65 / 4204831.58
14	Kumluca Mahallesi	Kumluca Mahallesi PM10	644634.70 / 4204084.99
15	SİM (Kale Mahallesi)	SİM PM10	648058.21 / 4203647.45



Şekil 5.1. Yer bulduru haritası



Şekil 5.2. Niğde merkez mahalle haritası

5.2 Hava Kalitesi Modelleme: AERMOD View Model

AERMOD, atmosferik yayılım modelleme için geliştirilmiş ileri düzey bir araçtır ve özellikle USEPA tarafından endüstriyel kaynaklı hava kirliliğini modellemek için önerilen bir model olarak öne çıkar. Hava kirleticilerinin yerel ve bölgesel ölçekte yayılımını tahmin etmek için kullanılan bir "düzensiz kaynak yayılım modeli" olarak sınıflandırılır. Bu model, hava kalitesi standartlarına uyumu değerlendirmek, çevresel etki analizleri yapmak ve sanayi tesisleri gibi noktasal kaynakların çevresel etkilerini analiz etmek için yaygın bir şekilde kullanılır.

AERMOD hava kalitesi modelleme yazılımı, özellikle hava kirliliği ve hava kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir sistemdir. AERMOD, American Meteorological Society (AMS) ve EPA tarafından geliştirilmiş bir hava kalitesi modelidir ve özellikle

kirlilik kaynaklarının (sanayi tesisleri, araçlar, enerji üretim tesisleri vb.) atmosferde nasıl yayıldığını simüle eder. AERMOD, çevresel etki değerlendirmelerini yapmak için yaygın olarak kullanılır.

AERMOD, modelin daha kullanıcı dostu bir arayüzle çalışmasını sağlayan bir yazılımdır ve modellemenin karmaşıklığını basitleştirir. Bu yazılım, kullanıcılara hava kalitesinin modelleme ve analizini görsel olarak sunarak, emisyon kaynaklarından yayılan kirleticilerin atmosfere nasıl yayıldığını ve çevreye olan etkilerini değerlendirmeyi sağlar.

AERMOD, yerel topografya, meteorolojik veriler ve arazi kullanım özelliklerini dikkate alan gelişmiş bir hesaplama altyapısına sahiptir. Bu model, hava kirleticilerin dağılımını tahmin ederken iki ana modüle dayanır:

- Meteorolojik Veri İşleme Sistemi (AERMET): Meteorolojik verileri işler ve modelin giriş verileri için gerekli olan rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık ve kararlılık sınıfı gibi parametreleri sağlar.
- Topografya Veri İşleme Sistemi (AERMAP): Topografya verilerini analiz ederek modelin arazideki engelleri ve yükseklik değişimlerini doğru bir şekilde değerlendirmesini sağlar.

AERMOD'un hesaplama algoritması, atmosferik karışım tabakasındaki farklı stabilite sınıflarını ve türbülansı detaylı bir şekilde ele alır. Özellikle, kirletici bulutunun yükselmesi (plume rise) ve birikim (deposition) gibi süreçleri modellemede oldukça başarılıdır. Ayrıca, noktasal, çizgisel ve alan kaynaklarının yayılımını aynı anda modelleyebilme yeteneği, AERMOD'u farklı endüstriyel ve kentsel senaryolar için uygun hale getirir (EPA, 2023).

Günümüzde hava kirleticilerinin çevredeki dağılımını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan dispersiyon modellerinden biri, AMS/EPA Düzenleme Modeli (AERMOD) olarak bilinmektedir. Bu model, atmosferdeki kirletici konsantrasyonlarını hesaplamak amacıyla geliştirilmiş ve son yıllarda önemli bir yenilik olarak öne çıkmıştır. AERMOD, Amerikan Meteoroloji Kurumu ile Çevre Koruma Ajansı tarafından oluşturulan bir düzenleme modeli olup, hava kirleticilerinin yayılımını simüle eden bir

sistemdir. Son teknolojiye sahip bir Gauss plume modeli olarak AERMOD, özellikle kısa mesafeli (<50 km) kirletici dağılımını tahmin etmek için tasarlanmıştır. Model, meteorolojik koşulları, yüzey ve atmosfer yapısını dikkate alarak emisyon kaynaklarının çevreye yayılımını analiz eder. Bu sayede, hava kirliliği seviyelerinin belirlenmesi ve uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi için bilimsel bir temel sunar (Tel, 2019).

AERMOD, mevzuat kapsamında kullanılan teknolojik bir dispersiyon modeli olup, çeşitli kirletici kaynaklardan (nokta, alan ve hacim kaynakları gibi) atmosfere yayılan kirleticilerin 50 km'ye kadar olan mesafede dağılımını modellemeyi hedeflemektedir. Bu model, hem basit hem de karmaşık topografik yapıları dikkate alarak, kentsel ve kırsal bölgeler için farklı dağılım katsayılarını içeren hesaplamalar yapabilmektedir. AERMOD, atmosferdeki kirletici konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla, saatlik olarak işlenen meteorolojik verileri kullanarak 1 saat ile 12 ay arasında değişen zaman dilimlerinde tahmin yapma yeteneğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde, belirlenen alıcı noktalar için hava kirliliği seviyelerinin analiz edilmesine ve hava kalitesi yönetimine yönelik etkili stratejiler geliştirilmesine katkı sağlar (Batkan, 2019; Tel, 2019).

AERMOD, atmosferik sınır tabakasındaki türbülans yapısını ve belirli ölçeklendirme prensiplerini temel alan, yüzey ve yükselmiş kaynaklardan yayılan kirleticilerin dispersiyonunu hesaplayabilen kararlı hal Gaussian dağılım modelidir. Model, hem düz arazilerde hem de karmaşık topoğrafyaya sahip bölgelerde uygulanabilir. AERMOD'un temel amacı, atmosferdeki kirleticilerin yer seviyesindeki konsantrasyonunu belirlemektir. Bunu yaparken, emisyon kaynaklarından yayılan kirleticilerin dağılımını, topoğrafik yapıyı ve meteorolojik koşulları dikkate alarak hesaplamalar gerçekleştirir. Böylece, farklı çevresel senaryolar altında hava kirleticilerinin yayılımını doğru bir şekilde tahmin edebilme kapasitesine sahiptir (Matacchiera vd., 2019; Pokhrel ve Lee, 2019; Tel, 2019).

AERMOD, meteorolojik profilleri tahmin etmek için hem ölçüm verilerini hem de benzerlik parametrelerini kullanarak hesaplamalar yapar. Örneğin, model, yakın konumda gerçekleştirilen dikey ölçümler arasında enterpolasyon yaparken benzerlik profillerinin şeklinden faydalanır. AERMOD'un konsantrasyon hesaplamaları, rüzgar hızı, sıcaklık ve türbülansın dikey yöndeki değişimlerinin hava kirleticileri üzerindeki etkilerini dikkate alacak şekilde geliştirilmiştir. Bu meteorolojik profiller, kirleticilerin

emisyona noktasından alıcı bölgeye taşındığı katmanın üzerinde ortalama alınan eşdeğer (etkili) değerler ile temsil edilir. Böylece, hava kirleticilerinin atmosferdeki yayılımı daha doğru bir şekilde modellenenebilir (Batkan, 2019; Tel, 2019).

AERMOD modeli, atmosferdeki kirleticili konsantrasyonlarını hesaplamak için emisyon verilerine ve meteorolojik girdilere ihtiyaç duyar. Bu model, atmosferik sınır tabakasındaki koşulları analiz eden üç bileşenden oluşan entegre bir sistem kullanır:

- AERMET: Meteorolojik veri ön işlemcisi olarak görev yapan bu modül, yüzey meteorolojik verilerini, üst atmosfer ölçümlerini ve isteğe bağlı olarak tesis içi ölçüm kulelerinden gelen verileri işler. Atmosferik türbülans özellikleri, sürtünme hızı ve karışım yüksekliği gibi parametreleri hesaplayarak dağılım modeline uygun hale getirir.
- AERMAP: Arazi ön işlemcisi olarak çalışan bu modül, bölgenin topografik özelliklerini analiz eder ve hava kirleticilerinin yayılım davranışını değerlendirmek için arazi ile atmosfer arasındaki fiziksel etkileşimi belirler. Aynı zamanda, emisyon kaynakları ve alıcı noktalar için yükseklik ve konum verilerini düzenleyerek model hesaplamalarına katkı sağlar.
- Model Girdi Dosyası: Emisyon kaynaklarının özelliklerini içeren bu dosya, AERMOD'un çalışması için gerekli olan verileri barındırır. Kaynakların türü, konumu ve emisyon özellikleri gibi bilgiler burada tanımlanarak modelin doğru hesaplamalar yapmasına olanak tanır.

Bu üç bileşenin birlikte çalışması, hava kirleticilerinin atmosferde nasıl yayıldığını anlamak ve tahmin etmek için kapsamlı bir analiz sunar (ul Haq vd., 2019; Tel, 2019).

AERMOD modelleme sistemi 2 ön işlemci ve 1 dağılım modelinden oluşur. İlk ön işlemci olan AERMET (a) AERMOD'a atmosferik sınır tabakasını karakterize etmek için ihtiyaç duyduğu meteorolojik bilgileri sağlar ve (b) AERMOD'un ihtiyaç duyduğu sınır tabakası parametrelerini (karışım yüksekliği, sürtünme hızı) hesaplamak için meteorolojik verileri ve yüzey karakteristiklerini kullanır. İkinci ön işlemci olan AERMAP, araziye karakterize eder ve dispersiyon modeli için alıcı sistem ve yükseltiler oluşturur. AERMOD (1) konvektif ve stabil sınır katmanlarında dağılım, (2) plume yükselişi ve yüzdürme, (3) yüksek inversiyonlara plume girişi, (4) rüzgar, türbülans ve

sıcaklık dikey profillerinin hesaplanması, (5) kentsel sınır tabakası ve (6) yüzeyden plume yüksekliğinin üstüne kadar her türlü arazi tipinde alıcıların uygulaması için geliştirilmiş algoritmalar içerir. AERMOD modelleme sistemi, iki ön işlemci ve bir dağılım modelinden oluşmaktadır. İlk ön işlemci olan AERMET, (a) AERMOD'un atmosferik sınır tabakasını tanımlayabilmesi için gerekli meteorolojik verileri sağlar ve (b) modelin ihtiyaç duyduğu karışım yüksekliği, sürtünme hızı gibi sınır tabakası parametrelerini hesaplamak amacıyla meteorolojik ölçümler ile yüzey karakteristiklerinden yararlanır. İkinci ön işlemci AERMAP, bölgenin topoğrafik yapısını analiz ederek dağılım modelinin ihtiyaç duyduğu alıcı noktalar ve yükseklik verilerini hazırlar. AERMOD ise çeşitli atmosferik koşulları ve kirletici dağılımını değerlendiren algoritmalara sahiptir. Bunlar arasında: (1) konvektif ve stabil sınır tabakalarında hava kirleticilerinin yayılımı, (2) yükselen kirletici bulutlarının hareketi ve denge süreçleri, (3) yüksek inversiyon seviyelerine giren hava kütleleri, (4) rüzgar hızı, türbülans ve sıcaklık değişimlerinin dikey profillerinin hesaplanması, (5) kentsel alanlardaki atmosferik sınır tabakası etkileri ve (6) yüzeyden başlayarak yükselen kirletici bulutlarının farklı arazi tiplerinde alıcı noktalar üzerindeki etkilerini değerlendiren gelişmiş modelleme süreçleri bulunmaktadır (Wayson vd., 2003; Tel, 2019).

AERMOD modeli, atmosferin kararsız olduğu durumlarda Gaussian olmayan olasılık yoğunluk fonksiyonu yaklaşımını benimserken, stabil hava koşullarında Gaussian dağılımını kullanmaktadır. Kentsel alanlarda yapılan modelleme süreçlerinde, ısı adası etkisini göz önünde bulundurur ve özellikle kompleks topografyaya sahip bölgelerde daha güvenilir tahminler sunar. Modelde yüzey pürüzlülük uzunluğu, hava kirleticilerin dağılımını önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Bununla birlikte, Albedo ve Bowen oranının konsantrasyon değerleri üzerindeki etkisi oldukça sınırlıdır ve yıllık bazda değerlendirildiğinde herhangi bir belirgin değişikliğe yol açmamaktadır. Yapılan önceki araştırmalar, AERMOD modelinin rüzgar hızı, rüzgar yönü ve yüzey pürüzlülük uzunluğu gibi parametrelere yüksek duyarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Batkan, 2019).

AERMOD View, kullanıcı dostu ve sezgisel bir grafik arayüz sunarak modelleme sürecini kolaylaştırır. Tüm katmanlar, üst üste yerleştirilmiş şeffaf görünümle aynı anda görüntülenebilir. Emisyon kaynakları, alıcı noktalar, yapılar ve yönlendirmeler,

hem grafiksel hem de metinsel formatlarda işlenebilir. Sistem, dijital yükseklik verilerini çevrimiçi olarak alabilir ve 3D arazi modeli ile kirlilik dağılım grafikleri oluşturulmasına olanak tanır. Meteorolojik veri ön işleme süreci, adım adım ilerleyen bir arayüzle gerçekleştirilerek, verilerin hızlı ve doğru bir şekilde hazırlanmasını sağlar. Modelleme sonuçları; otomatik ölçeklendirme, ızgara oluşturma, boşluk yönetimi, gölgeli kontur çizimleri ve çıktıların entegre bir şekilde paylaşılmasıyla desteklenir. Ayrıca, profesyonelce hazırlanmış rapor şablonları kullanılarak modelleme girdileri özetlenebilir. AERMOD View, 50 km çapındaki bir alan içinde modelleme yapma kapasitesine sahiptir ve geniş bir coğrafi bölgede hava kirleticilerin dağılımını etkili bir şekilde analiz edebilir (Tel, 2019).

Uygulama Alanları

AERMOD, sanayi tesislerinden, enerji santrallerinden, trafik kaynaklarından ve hatta tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan hava kirliliği etkilerinin modellenmesi için kullanılır. Örneğin:

- Hava Kalitesi Değerlendirme: AERMOD, yerel hava kalitesi standartlarına uyumu değerlendirmek için düzenli olarak kullanılır.
- İzin Süreçleri: Endüstriyel tesislerin inşası veya genişletilmesi sırasında çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporlarının hazırlanmasında kritik bir rol oynar.
- Risk Değerlendirmesi: Kirleticilerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılır.

AERMOD'un en önemli avantajlarından biri, atmosferik süreçleri oldukça ayrıntılı bir şekilde modelleyebilmesidir. Atmosferin kararsız olduğu durumlarda yayılımın nasıl gerçekleştiği veya engellerin (örneğin binalar veya doğal oluşumlar) hava akımını nasıl etkilediği konusunda oldukça hassas sonuçlar üretebilir. Ayrıca, kullanıcı dostu grafik arayüzüne sahip "AERMOD" yazılımı, kullanıcıların girdi verilerini hızlı bir şekilde düzenlemesine ve sonuçları görselleştirmesine olanak tanır (Kumar vd., 2006; dos Santos vd., 2019).

AERMOD, kısa menzilli modelleme için optimize edilmiştir ve 50 km'ye kadar olan alanlarda en iyi sonuçları verir. Bölgesel veya uzun mesafeli modelleme için farklı

modellerin (örneğin, CMAQ veya HYSPLIT) kullanılması gerekebilir. Ayrıca, AERMOD meteorolojik verilere çok duyarlı olduğundan, doğru ve yüksek kaliteli veri setlerine ihtiyaç duyar (Stein vd., 2007).

AERMOD, hem bilimsel hem de düzenleyici amaçlar için kullanılan en güvenilir hava kalitesi modelleme araçlarından biridir. Modelin yetenekleri, detaylı yayılım analizleri yapmayı mümkün kılarken, hava kalitesinin korunması için alınması gereken önlemlerin belirlenmesine yardımcı olur. Özellikle EPA tarafından onaylanmış bir model olması, AERMOD'un dünya genelinde hava kalitesi yönetimi uygulamalarında tercih edilmesini sağlamaktadır.

Temel Özellikleri:

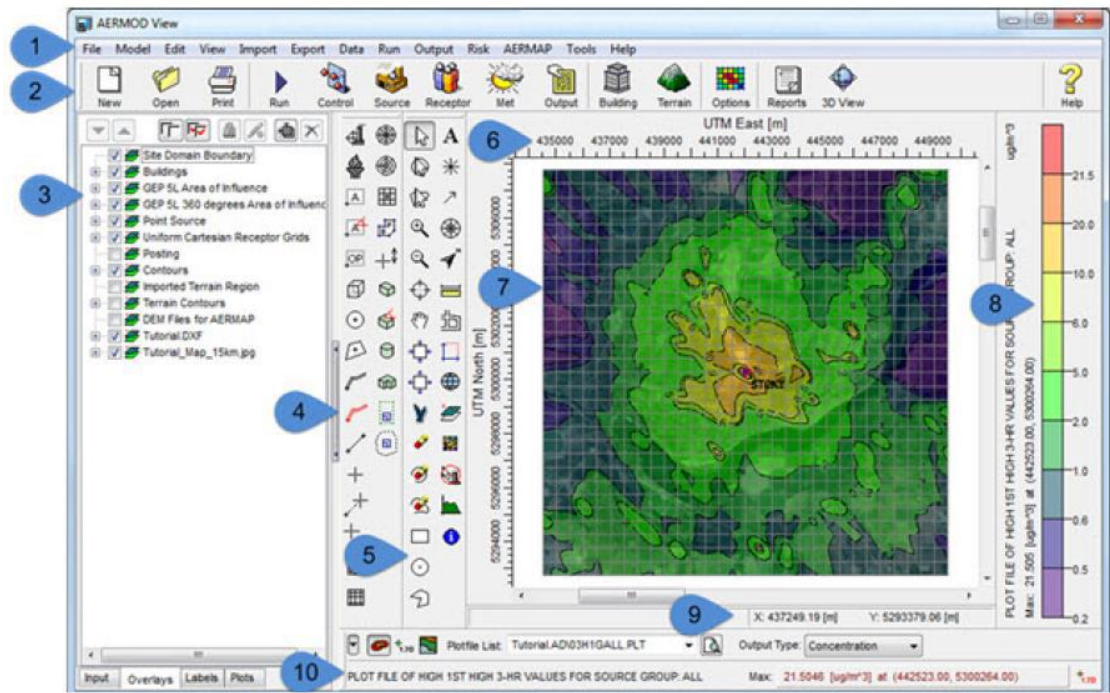
- Emisyon Kaynağı ve Atmosferik Koşullar: AERMOD, emisyon kaynaklarının (buhar bacaları, depo alanları, trafik kaynakları vb.) ve atmosferik koşulların (rüzgar hızı, sıcaklık, nem oranı vb.) detaylı bir şekilde modellenmesini sağlar.
- Hava Kalitesi ve Düzeylerini Hesaplama: Kirleticilerin atmosferdeki yoğunluğunu belirleyerek, çevresel etkiyi değerlendirebilir. Bu, kirleticilerin belirli alanlardaki konsantrasyonlarını tahmin etmeye yardımcı olur.
- İleri Seviye Modelleme: AERMOD, daha ileri düzeyde hava kalitesi modellemeleri için gereken tüm parametreleri (topografik veri, meteorolojik bilgi, kaynak konumları vb.) entegre edebilme kapasitesine sahiptir.
- Veri Girişi ve Çıkışı: Modelin doğru sonuçlar verebilmesi için doğru meteorolojik ve çevresel verilerin sisteme girilmesi gerekir. AERMOD, bu verilerin manuel veya otomatik olarak girilmesini sağlar.
- Hızlı Simülasyonlar ve Grafikselleştirme Çıktılar: Modelin simülasyonları hızla yapılabilir ve çıktıların grafiksel olarak sunulması, kullanıcıların hava kirliliği seviyelerini ve potansiyel etkilerini kolayca anlamasına olanak tanır (Tel, 2019).

AERMOD Kullanım Alanları:

- Hava Kalitesi Değerlendirmesi: Hava kalitesini iyileştirme veya hava kirliliği seviyelerini izleme amacıyla kullanılır.

- Emisyon Kontrolü ve Yönetimi: Sanayi tesislerinin emisyonlarını izlemek ve çevre düzenlemelerine uygunluğu sağlamak için kullanılabilir.
- Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED): Yeni projelerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu etkileri minimize etmek için gereklidir.
- Hava Kirliliği İzleme: Kirleticilerin yayılımını izlemek ve potansiyel sağlık risklerini öngörmek için kullanılır (Batkan, 2019).

Şekil 5.3'te AERMOD View ana ekranının genel görünümü verilmiştir. Burada 1 ve 2 menüler ve simgeler, 3 katmanlar, 4 emisyon tipi seçenekleri, 5 yardımcı şekiller, 6 koordinatlar, 7 sonuç ekranı, 8 skala, 9 nokta koordinat ve 10 sonuç dosya adı gibi birçok özellik aynı ekranda sunulup model yapan kişiye ergonomik bir ekran sağlanmaktadır (Tel, 2019).



Şekil 5.3. AERMOD view genel ekranı (Tel, 2019)

AERMOD View model çalışma prensibi EPA gibi uluslararası kuruluşlarca kabul edilen AERMOD Gaussian Dağılım Modelinin kabulleri;

- Stabil veya tepki oluşturmeyan kirleticiler için kullanılır.

- İnsan sağlığını birinci derecede etkileyen 0,1 µm ile 100 µm arasındaki çok ince aerosol emisyonlarında oldukça başarılıdır. Daha büyük veya küçük tanecikler için düzenleme gerekir.
- Havadaki basınç koridorunda, meteorolojik verilerin sabit olduğu kabul edilir.
- Meteorolojik veri içeriğinde kararlılık sınıflandırmasında Pasquill-Gifford standartları kullanır.

Kirletici konsantrasyonu modelci tarafından zamansal olarak tanımlanabilir (Matacchiera vd., 2019; Snoun vd., 2023).

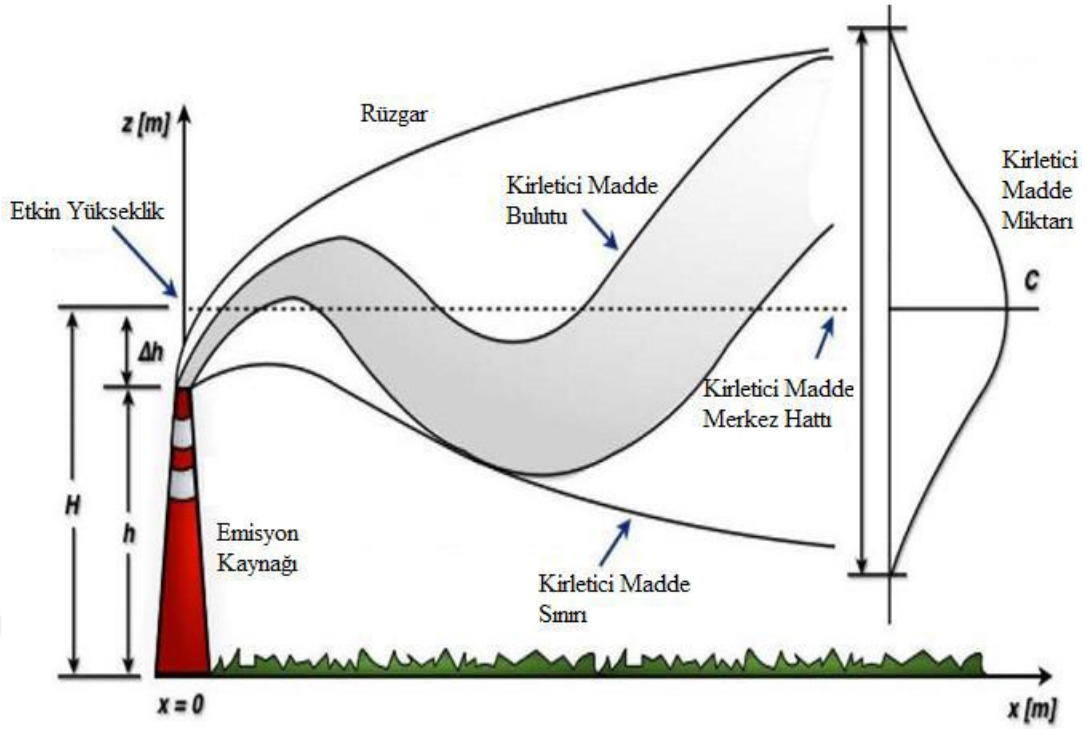
Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin düz zemin üzerinde değil toprak, bina ve arazi tipi üzerinde salınımı dikkate alındığında noktasal kaynaktan çıkan maddelerin bir kısmı toprakta, su birikintisinde veya bitki üzerinde kalırken bir kısmı da zeminden yansır. Şekil 5.4'te verilen hava ortamındaki madde dağılım formülü ve Şekil 5.5'de verilen grafikte gösterilen maddenin dağılımı kapsamında hava kalitesi modellerinde EPA gibi uluslararası kuruluşlarca da kabul gören Gaussian formülü kullanılmaktadır (Tel, 2019).

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

Şekil 5.4. Gaussian formülü

Bu formülde:

- Q : Kaynaktan yayılan kirleticiye ait kütle debisi (kg/saat)
x,y : Noktasal koordinatlar
z : Yükseklik (m)
 σ_y : Yatay yayılım katsayısı
 σ_z : Düşey yayılım katsayısı
U : Etkin baca yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)
H : Etkin baca yüksekliği olarak belirtilmiştir. (Tel, 2019).



Şekil 5.5. Hava ortamında kirlenici maddenin dağılımı (Tel, 2019)

Popüler USEPA modelleri olan AERMOD, ISCST3 ve ISC-PRIME'i modellerde herhangi bir değişiklik yapmadan tek bir arayüzle kusursuz bir şekilde birleştiren tam ve güçlü bir hava dağılım modelleme paketi olan AERMOD View, bu tezde Niğde il merkezi mahallelerinde PM10 emisyonların değerlendirilmesi için kullanılmıştır, EPA40 Metod CFR 50 metodu ile PM10 ölçümü yapılarak buradaki veriler AERMOD ile işlenerek hava kalitesi haritası, dağılımı ve değerlendirmesi yapılmıştır. AERMOD View modeli, çok çeşitli kaynaklardan gelen birikim ve kirlilik konsantrasyonunu değerlendirmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

5.3 PM10 Ölçüm Cihazı ve Kullanılan Filtre

PM10 ölçüm cihazları, havada bulunan ve çapı 10 mikrometreden küçük olan PM10 ölçümünü yapmak için kullanılan cihazlardır. PM10, havadaki ince toz, duman ve diğer kirlenicilerin oluşturduğu partiküller olup, insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yaratabilir. Bu tür partiküller genellikle solunum yolu hastalıklarına, kalp-damar hastalıklarına ve diğer sağlık problemlerine yol açabilir. Bu yüzden PM10 seviyelerinin izlenmesi, hava kalitesinin değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada Şekil 5.6'de

verilen Eco Instruments marka ve ECO PM Sabit Akışlı Örneklemesi modeli cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.6. PM10 ölçüm cihazı

PM10 cihazlarının çalışma prensibinde sabit akışlı debi ile belirli metodlarda özel filtrele hava çekilir ve örneklenir. Bu filtre laboratuvar ortamında analiz edilerek hesaplanır ve veri elde edilir. Bu çalışmada filtre olarak, EPA 40 CFR 50 Standart Metodu'nda yer alan. 47 mm çap ve 0,7 μ m gözenek boyutundaki Cam Elyaf Membran Filtre kullanılmıştır. Filtre özellikleri ve fotoğrafı Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Cam elyaf membran filtre

5.4 Tezde Kullanılan PM10 Ölçüm Yöntemi

5.4.1 Kullanılan standart ve prensip

Deney ve ölçüm sırasında EPA 40 CFR PART 50–2006 standart metodu kullanılmaktadır. Hava örnekleyicisi, partikül maddenin PM10 boyut aralığında bir ya da daha fazla boyut fraksiyonlarına ayırabildiği özel şekilli bir girişe, ortam havasını sabit debiyle çeker. Belirtilen örnekleme periyodu boyunca PM10 boyut aralığındaki her fraksiyon ayrı bir filtrede toplanır.

5.4.2 Kullanılan ekipmanlar

- PM10 örnekleme cihazı ve ekipmanları
- Pompa ve elektronik işlemci ünitesi
- PM10 Örnekleme Başlığı
- Filtre tutucu
- PM10 Örnekleme Ayağı
- Elektrik Uzatma Kablosu
- Jeneratör
- Klima
- Nem Sıcaklık Kayıt Cihazı
- Filtre kâğıdı (Quartz - 47mm)
- Cam petri kabı
- Analitik terazi
- Asetat kalem
- Taşıma çantası
- Cımbız

5.4.3 Deneyin uygulanması

5.4.3.1 Numune alma öncesi işlemler (laboratuvar)

- Ölçüm noktasındaki kaynak sayısına göre kullanılacak filtre kâğıtları; cam petri kaplarına yerleştirildi ve ölçüme gidilmeden en az 24 saat öncesinde ve sonrasında uygun hale getirilmiş laboratuvar ortam şartlarında dengelenmeleri sağlandı.
- Petri kaplarının bekleyeceği laboratuvar ortam şartları;

Sıcaklık oranı: Standartta belirtilen aralık 15-30 °C ± 3 , bu aralıktan 20 °C ± 3 seçilmiştir.

Sıcaklık Kontrolü: ± 3 °C

Nem oranı: Standartta belirtilen aralık 20-45 % RH ± 5 , bu aralıktan 45 % RH ± 5 seçilmiştir. Nem kontrolü: $\pm 5\%$ olacak şekilde dengelenir.

- Ortam şartları, elektronik ortam üzerinde sıcaklık ve nem kayıt cihazı (Datalogger) vasıtasıyla kayıt altına alındı.
- Deneyde kullanılacak filtre kağıdında delik, yıpranma ve partikül madde olup olmadığı kontrol edildi.
- Şartlandırılmış petri kapları tartılmadan önce referans ağırlıklar kullanarak terazi doğrulaması yapıldı. Doğrulama işlemi, her tartım seti öncesi standart ağırlıklar kullanılarak yapıldı ve tartım sonuçları 'Terazi Doğrulama Ölçüm Kayıt Formu'na işlenerek kayıt altına alındı.
 - Terazinin 'ON' tuşuna basarak teraziyi açılır.
 - Su terazisini kontrol edildi.
 - Ekranda '0.0000 g' işaretinin görülmesiyle cihaz tartıma hazır hale gelir.
 - Terazinin diski üzerine 20 g'lık referans ağırlığı koyup dijital göstergeden tartım değeri okundu.
 - Aynı tartım işlemini sırasıyla 0,5 g ve 5 g'lık referans ağırlıklar ile tekrarlandı.
 - Terazi doğrulaması her referans ağırlık ile en az 3 kez tekrarlanır ve sonuçlar kayıt altına alındı.

- Skala kaymasının $\pm \%4$ ü aşması durumunda cihaz kalibrasyona gönderilir. Tespit sınırı, x , $\%95$ güven seviyesinde mg olarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı.

$$X = X_0 + 2SX_0 \quad (5.1)$$

X = Skala Kayması

X_0 = Okunan değerlerin ortalaması, mg/m^3

SX_0 = Okunan değerlerin standart sapması, mg/m^3

Terazinin her tartım öncesi ilk açıldığında doğrulaması yapılır. Terazî doğrulaması yapıldıktan ve tartım gerçekleşikten sonra terazî kapatılmadıysa seri ölçümler yapılabilir.

- Bekleme süresini tamamlamış olan filtre kâğıdının konduğu petri kabı tartılarak darası, ortam nem ve sıcaklığı işlenerek kayıt altına alındı. Darası alınan petri kaplarına asetatlı kalem vasıtasıyla numara yazıldı.
- Tartımı yapılan PM_{10} filtresini ölçüm sahasına götürölmek üzere taşıma çantasına yerleştirildi.
- Yukarıda anlatılan tartım işlemlerini tüm filtreler için tekrarlandı.

5.4.3.2 Numune alma öncesi işlemleri (saha)

- Uygun numune alma noktaları ve uygun örnekleyiciler seçildi.
- Zaman ve mekân açısından örnek, süreci temsil edici olmalıdır.
- Numune alma, analiz ve kalibrasyon teknikleri uygun olmalı ve bunlara uygun kalite yönetim prosedürleri oluşturulmalıdır.
- Ortam havası örnekleme ve analizinde; meteorolojik parametreler (rüzgâr hızı ve yönü, sıcaklık, güneş ışınlmı, bağıl nem) ile birlikte ele alınmalıdır.
- Numune alma cihazının girişı etrafındaki akış, numune alma cihazlarının yakınındaki hava akışını etkileyen hiçbir engel (örneğin; balkonlar, ağaçlar, düşey yüzeyler ya da duvarlar vb.) ile kısıtlanmamalıdır.
- Bütün numune girişleri zeminden aynı yükseklikte (1,5-8 m arasında) olmalıdır.

- Bütün numune girişleri çevredeki diğer kaynaklardan taşınan baca dumanlarından sakınmak için lokal kaynaklardan uzakta konumlandırılmalıdır (Örneğin; deney sahasının, ısıtma sistem bacalarının yakınında olmaması gerekmektedir.)
- Deney yerleri seçilirken, yerin makro çevre ölçeği (deney yerinin tipi) ve mikro çevre ölçeği (doğrudan istasyonu çevreleyen alan) bakımından bütünlüğüne gereken özen gösterildi. Makro çevre ölçeğinde, deney yerleri, sık karşılaşılan ve ekstra durumların her ikisini de temsil edecek şekilde seçildi.
- Yerin tipi belirlendikten sonra; gerçek deney yerlerinin seçiminde, özellikle işletim bakımından (erişilebilirlik, saldırılara karşı güvenlik, dış hava şartlarına karşı korunma) ve alt yapı bakımından (elektrik) olmak üzere birtakım faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Cihazın montajı için rahat çalışılacak ortam seçilir. Montaj işlemi Şekil 5.8'deki gibi yapıldı.



Şekil 5.8. Cihaz montajı

- Uygun deney yeri seçildikten ve cihaz montajı yapıldıktan sonra cihazda kaçak olup olmadığı tespit edildi.
- Kaçak Testi: Pompa da dahil olmak üzere tüm sistemde sızıntı kontrolü gerçekleştirir. Test sonucunda okunan değer girilen değerinin $\pm\%5$ aralığında olmalıdır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında saha çalışması yapılmıştır ve PM10 ölçüm noktaları seçilmiştir. Niğde merkez toplam 14 mahalle her bir mahalleyi temsil edecek şekilde 1 ölçüm noktası, Fertek Mahallesi'nde -alan büyüklüğü, yerleşim yeri ve OSB'nin bulunması nedeniyle- 2 ölçüm noktası seçilmiş ve toplamda 16 ölçüm noktası belirlenmiştir. Bu ölçüm noktalarında 02.01.2025-26.01.2025 tarihleri arasında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca SİM'in bir yıllık (saatlik) 15.01.2024-15.01.2025 tarihleri arasında 8785 ölçüm verisi modellemede kullanılmıştır. Bu şekilde toplam 16 ölçüm verisi elde edilmiştir. AERMOD View kullanarak modelleme yapılırken 2022 yılı meteorolojik verileri kullanılmıştır. Toplam 14 mahalle (16 ölçüm noktası), SİM (bir yıllık PM10 ölçüm sonucu) ve 2022 yılı modelleme verileri ile Niğde Merkez'in PM10 modelleme haritası 10.000 m² lik bir alan için çıkarılmıştır. Tüm bu veriler AERMOD View'e işlenerek saatlik, günlük, aylık ve yıllık PM10 modelleme haritası çıkarılmıştır.

5.4.3.3 Numune alma işlemi

- Numune alma işlemi öncesi işlemler gerçekleştirildikten sonra ölçüme başlandı.
- Her bir kaynakta Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği gereğince 3 ardışık ölçüm alındı.
- Her bir ölçümün süresi 1 saat, 3 ardışık ölçüm süresi 3 saat olmalıdır.
- Ölçümler sabit debide gerçekleştirilmelidir. Sabit debi miktarı 16,67 L/dk ($\pm\%5$ aralığında) olmalıdır.
- Ölçümlere istinaden elde edilen ve hesaplamada kullanılacak toplam hacim, basınç, sıcaklık vb. veriler ölçüm çıktıları vasıtasıyla saklandı.
- Numune alma işleminden sonra; PM10 başlığı içerisindeki filtre yuvasından filtre, üzerinde bulunan toz zarar görmeyecek şekilde çıkarılır petri kabına yerleştirildi.

- Ölçüm çıktıları zarar görmeyecek şekilde saklandı.
- Filtreler petri kabının içinde zarar görmeyecek şekilde taşındı.

Tezde gerçekleştirilen saha ölçümüne dair görüntüler Fotoğraf 5.1-5.11’de verilmiştir.



Fotoğraf 5.1. Nar Mahallesi, ölçüm noktası



Fotoğraf 5.2. Nar Mahallesi, ölçüm noktası



Fotoğraf 5.3. SİM



Fotoğraf 5.4. SİM



Fotoğraf 5.5. Kale Mahallesi, ölçüm noktası



Fotoğraf 5.6. Sarıköprü Mahallesi, ölçüm noktası



Fotoğraf 5.7. Sarıköprü Mahallesi, ölçüm noktası



Fotoğraf 5.8. Fertek Mahallesi (OSB), ölçüm noktası



Fotoğraf 5.9. Fertek Mahallesi (OSB), ölçüm noktası



Fotoğraf 5.10. Aşıkayabaşı Mahallesi, ölçüm noktası



Fotoğraf 5.11. Aşıkayabaşı Mahallesi, ölçüm noktası

5.4.3.4 Numune alma sonrası işlemler (laboratuvar)

- Laboratuvara getirilen numunelerin (cam petri kapları) tartımı yapılmadan önce 24 saat uygun hale getirilmiş laboratuvar ortam şartlarında dengelenmeleri sağlandı.
- Dolu filtreleri tartmadan önce referans ağırlıkları kullanarak terazi doğrulaması yapıldı.
- Şartlandırılmış dolu cam petri kapları hassas terazide tartılır ve tartım sonucu kayıt altına alındı.

Analiz işlemleri, Fotoğraf 5.12’de verilmiştir.



Fotoğraf 5.12. Analiz işlemleri

5.4.3.5 Hesaplama

Ölçümden 24 saat önce şartlandırılan filtrelerin ilk tartımı yapıp, petri kaplarında muhafazası yapılmaktadır. Ölçümde kullanılan filtreler, laboratuvara getirilip 24 saat daha şartlandırıldıktan sonra son tartımları yapılmaktadır. PM10 ölçümlerinden sonra

alınan ölçüm çıktılarında yer alan örnekleme hacmi de kullanılarak mg/Nm³ cinsinden PM10 değerleri elde edilmektedir.

$$\text{PM10 Konsantrasyonu (mg/Nm}^3\text{)} = \frac{\text{Filtre Son Tartım(mg)} - \text{Filtre İlk Tartım(mg)}}{\text{Örnekleme Hacmi (Nm}^3\text{)}} \quad (5.2)$$



BÖLÜM VI

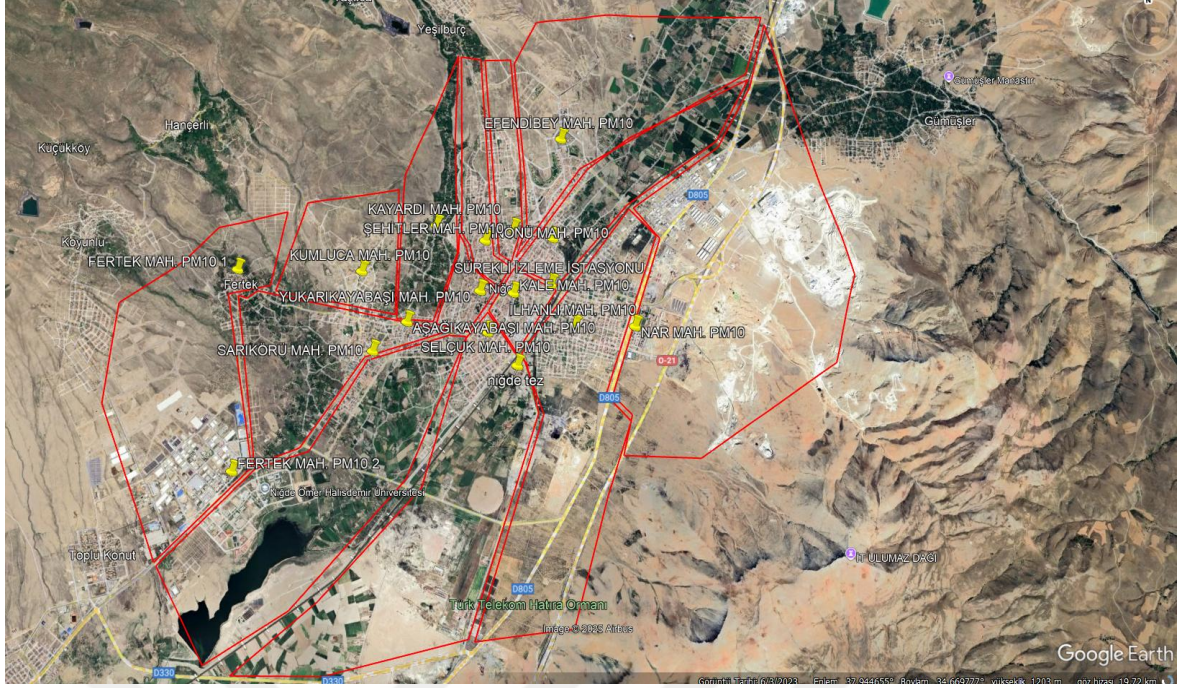
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Niğde ili Merkez ilçesinin 14 mahallesinde toplamda 16 yerde EPA 40 CFR 50 standart metoduna göre PM10 ölçümü yapılmıştır. Bu 16 ölçüm verisi ile Niğde ili merkezdeki SİM'deki bir yıllık PM10 verisi ve 2022 yılının meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu veriler harmanlanarak Niğde ili Merkez ilçe mahallerinin AERMOD View kullanarak günlük, aylık, yıllık PM10 dağılım modellemesi yapılmış ve haritası çıkarılmıştır. PM10 ölçüm verileri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Niğde mahalle ölçüm noktaları koordinatları ve ölçüm değerleri

No.	Mahalle Adı	Ölçüm Yeri Adı	Ölçüm Değeri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Fertek Mahallesi	Fertek Mahallesi PM10-1	37,42
		Fertek Mahallesi PM10-2	69,83
2	Aşağıkayabaşı Mahallesi	Aşağıkayabaşı Mahallesi PM10	58,53
3	Sarıköprü Mahallesi	Sarıköprü Mahallesi PM10	62,21
4	Selçuk Mahallesi	Selçuk Mahallesi PM10	72,58
5	İlhanlı Mahallesi	İlhanlı Mahallesi PM10	79,65
6	Nar Mahallesi	Nar Mahallesi PM10	112,4
7	Şahsüleyman Mahallesi	Şahsüleyman Mahallesi PM10	67,23
8	Kale Mahallesi	Kale Mahallesi PM10	82,15
9	Efendibey Mahallesi	Efendibey Mahallesi PM10	47,31
10	Şehitler Mahallesi	Şehitler Mahallesi PM10	68,52
11	İnönü Mahallesi	İnönü Mahallesi PM10	67,12
12	Yukarı Kayabaşı Mahallesi	Yukarı Kayabaşı Mahallesi PM10	49,13
13	Kayardı Mahallesi	Kayardı Mahallesi PM10	40,68
14	Kumluca Mahallesi	Kumluca Mahallesi PM10	41,13
15	SİM (Kale Mahallesi)	SİM PM10	82,97

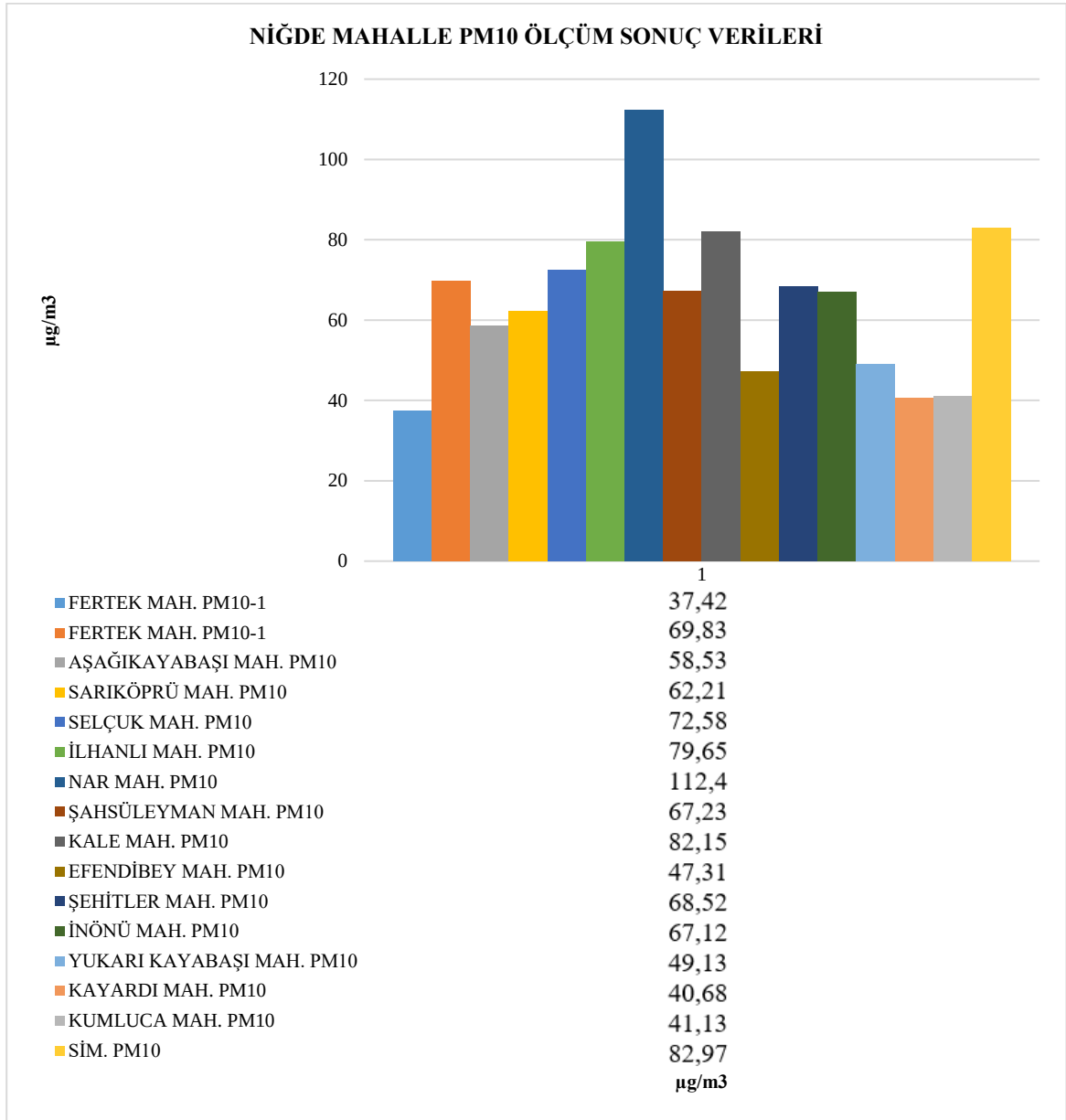
Ölçüm noktalarının harita üzerinde görseli Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Ölçüm noktaları

Niğde ili Merkez mahalleri (14 mahalle) ve SİM PM10 ölçüm sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Fertek Mahallesi’nden -alan büyüklüğü, yerleşim yeri ve OSB’nin bulunması nedeniyle- 2 nokta seçilmiştir. Bu şekilde toplam 16 ölçüm verisi elde edilmiştir. Ayrıca SİM’in bir yıllık (saatlik) 15.01.2024-15.01.2025 tarihleri arasında 8785 ölçüm verisi modellemede kullanılmıştır. AERMOD kullanarak modelleme yapılırken 2022 yılı meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu şekilde modelleme yapılmış ve Niğde ile merkez mahallelerinin PM10 dağılım haritası çıkarılmıştır. AERMOD verileri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Toplam 16 nokta ölçüm sonuçları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Niğde mahalle PM10 ölçüm sonuç verileri



Çizelge 6.3. Ölçüm noktaları verileri

AERMOD

Point Sources

Source Type	Source ID	X Coordinate [m]	Y Coordinate [m]	Base Elevation (Optional)	Release Height [m]	Emission Rate [g/s]	Gas Exit Temp. [K]	Gas Exit Velocity [m/s]	Stack Inside Diameter [m]
POINT	STCK1	642398.26	4204248.86	1297.65	10.00	0,00004	280.15	0.04	4.00
		FERTEK MAHALLESİ-1							
POINT	STCK2	642181.94	4200736.58	1215.93	10.00	0,00007	281.15	0.04	4.00
		FERTEK MAHALLESİ-2							
POINT	STCK3	645411.64	4203143.64	1209.60	10.00	0,00006	280.15	0.04	4.00
		AŞAĞIKAYABAŞI MAHALLESİ							
POINT	STCK4	644769.76	4202665.78	1211.89	10.00	0,00006	280.15	0.04	4.00
		SARIKÖPRÜ MAHALLESİ							
POINT	STCK5	646862.91	4202867.74	1216.61	10.00	0,00007	280.15	0.04	4.00
		SELÇUK MAHALLESİ							
POINT	STCK6	648445.55	4202878.28	1227.66	10.00	0,00008	280.15	0.04	4.00
		İLHANLI MAHALLESİ							
POINT	STCK7	649534.74	4202802.09	1269.28	10.00	0,00001	280.15	0.04	4.00
		NAR MAHALLESİ							
POINT	STCK8	648140.13	4204465.27	1234.23	10.00	0,00007	280.15	0.04	4.00
		ŞAHSÜLEYMAN MAHALLESİ							
POINT	STCK9	647370.41	4203530.45	1242.44	10.00	0,00008	280.15	0.04	4.00
		KALE MAHALLESİ							
POINT	STCK10	648391.67	4206240.18	1287.50	10.00	0,00005	281.15	0.04	4.00
		EFENDİBEY MAHALLESİ							
POINT	STCK11	647432.60	4204660.55	1288.31	10.00	0,00007	280.15	0.04	4.00
		ŞEHİTLER MAHALLESİ							
POINT	STCK12	646906.01	4204494.90	1256.32	10.00	0,00007	280.15	0.04	4.00
		İNÖNÜ MAHALLESİ							
Source Type	Source ID	X Coordinate [m]	Y Coordinate [m]	Base Elevation (Optional)	Release Height [m]	Emission Rate [g/s]	Gas Exit Temp. [K]	Gas Exit Velocity [m/s]	Stack Inside Diameter [m]
POINT	STCK13	646764.81	4203608.76	1236.72	10.00	0,00005	281.15	0.04	4.00
		YUKARIKAYABAŞI MAHALLESİ							
POINT	STCK14	646025.65	4204831.58	1233.52	10.00	0,00004	281.15	0.04	4.00
		KAYARDI MAHALLESİ							
POINT	STCK15	644634.70	4204084.99	1250.80	10.00	0,00004	280.15	0.04	4.00
		KUMLUCA MAHALLESİ							

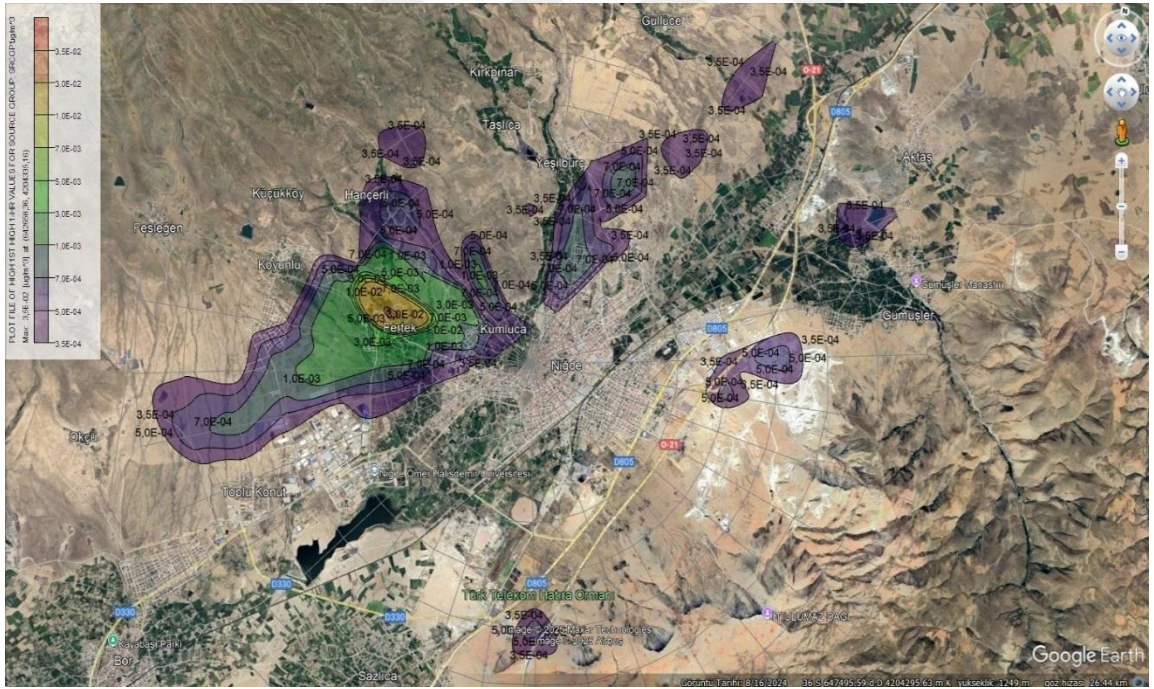
Fertek Mahallesi PM10-1 ölçüm noktası koordinatları 642398.26 / 4204248.86'dır. Bu mahallenin yerleşim yerinde ölçüm yapılmıştır. PM10 konsantrasyonu 37,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 0-50 aralığında olduğu için indeks İYİ sonucuna varılmıştır.

Fertek Mahallesi PM10-2 ölçüm noktası koordinatları 642181.94 / 4200736.58'dir. Fertek OSB içinde okul önünde ölçüm yapılmıştır. PM10 konsantrasyonu 69,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dir. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

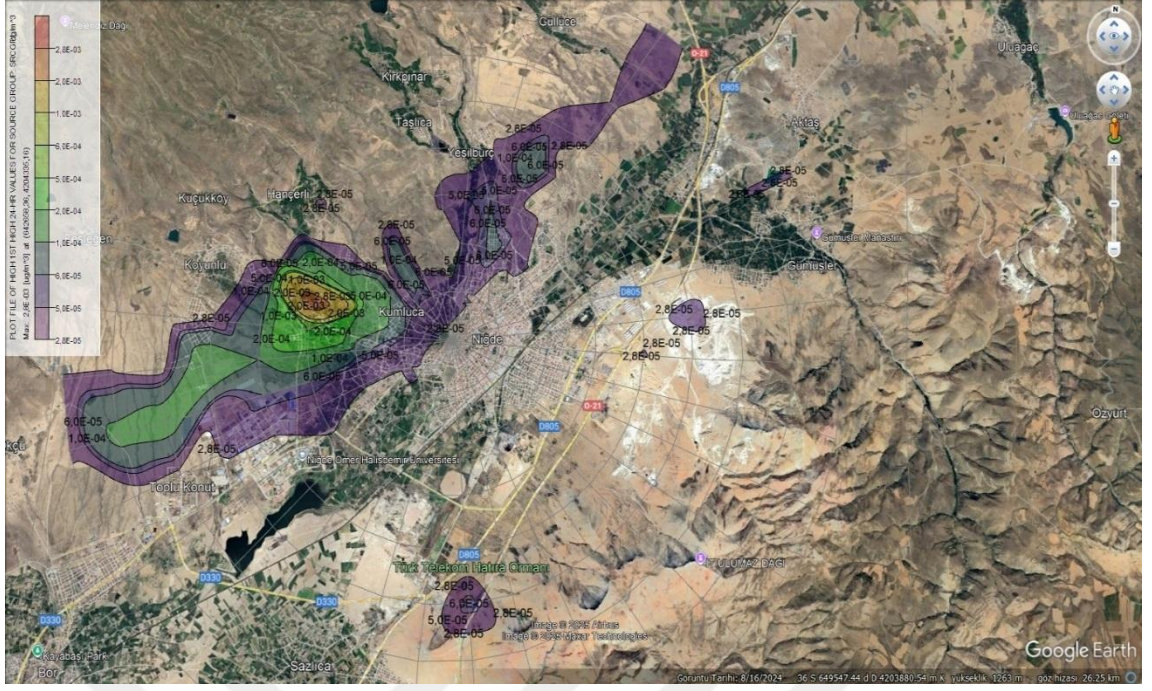
Fertek Mahallesi PM10-1/2 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.2-6.10'da verilmiştir.



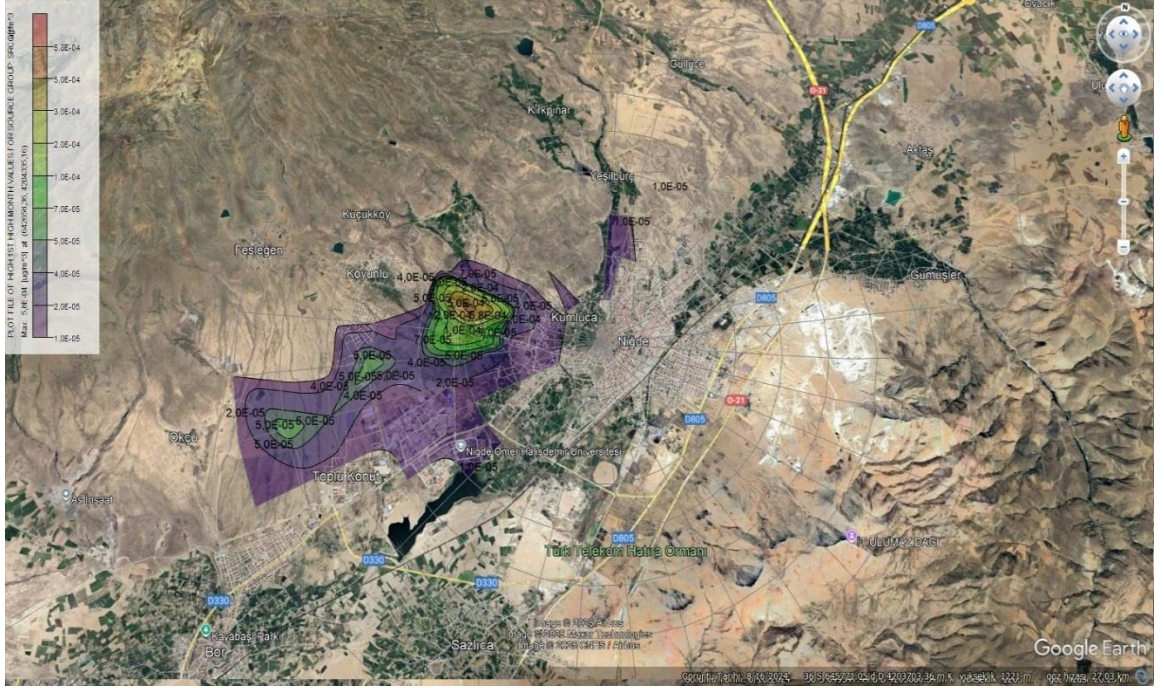
Şekil 6.2. Ferteke Mahallesi, PM10-1/2 ölçüm noktası



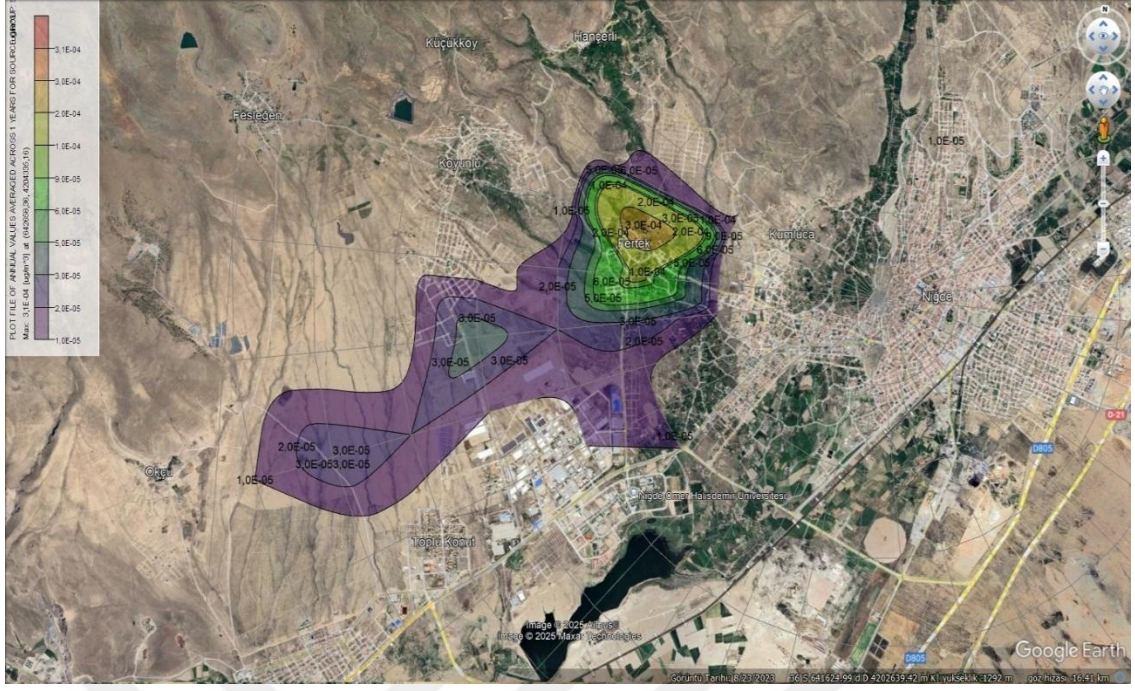
Şekil 6.3. Ferteke Mahallesi, PM10-1 saatlik modelleme haritası



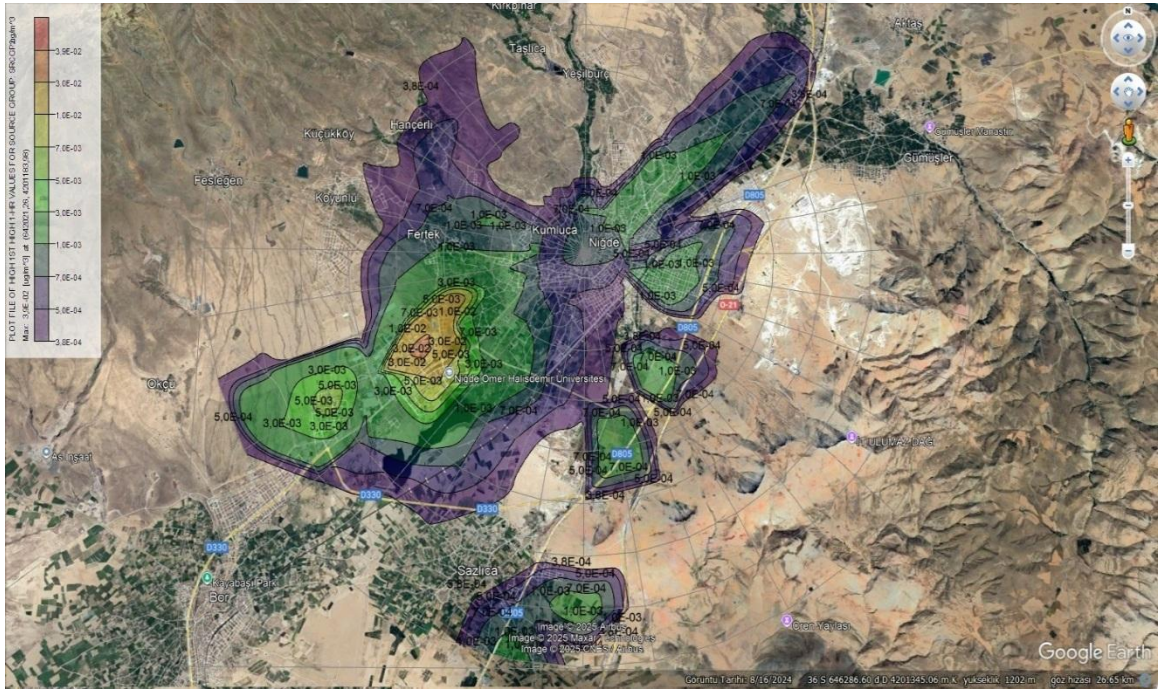
Şekil 6.4. Ferteke Mahallesi, PM10-1 günlük modelleme haritası



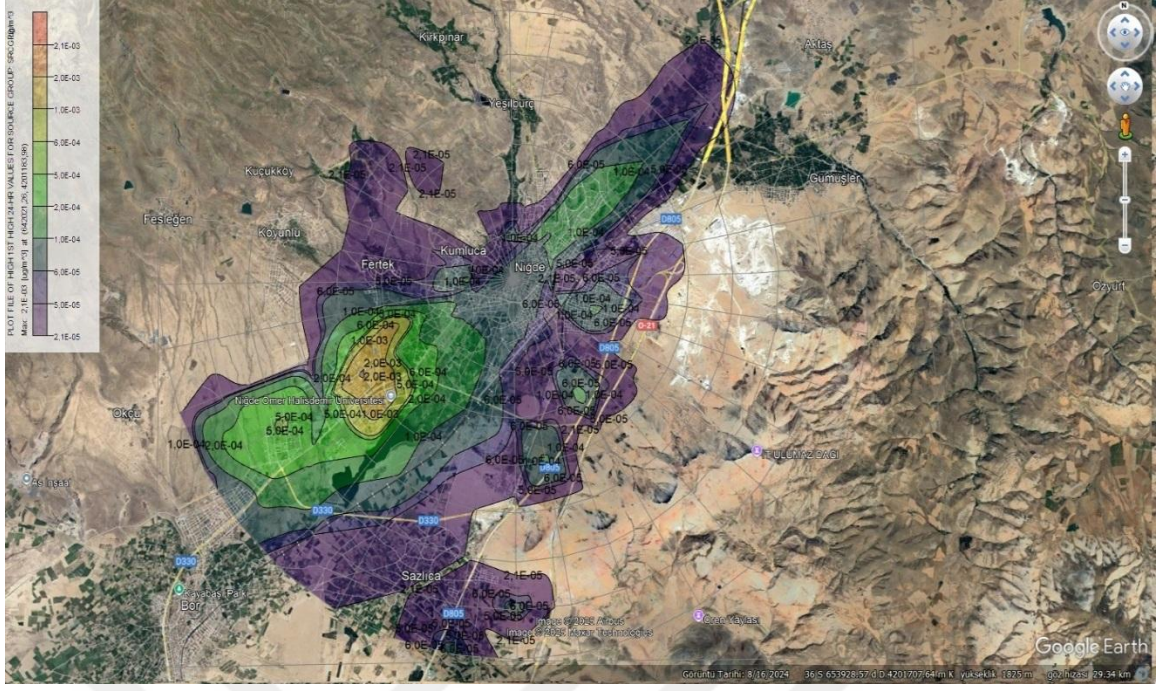
Şekil 6.5. Ferteke Mahallesi, PM10-1 aylık modelleme haritası



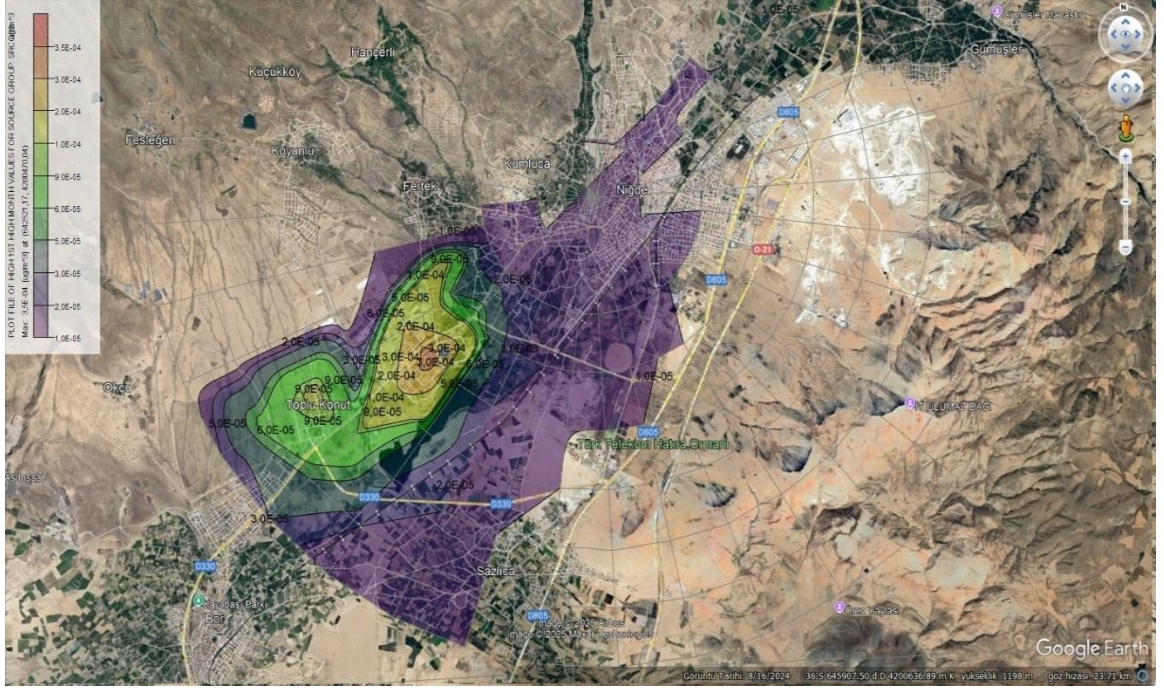
Şekil 6.6. Ferteke Mahallesi, PM10-1 yıllık modelleme haritası



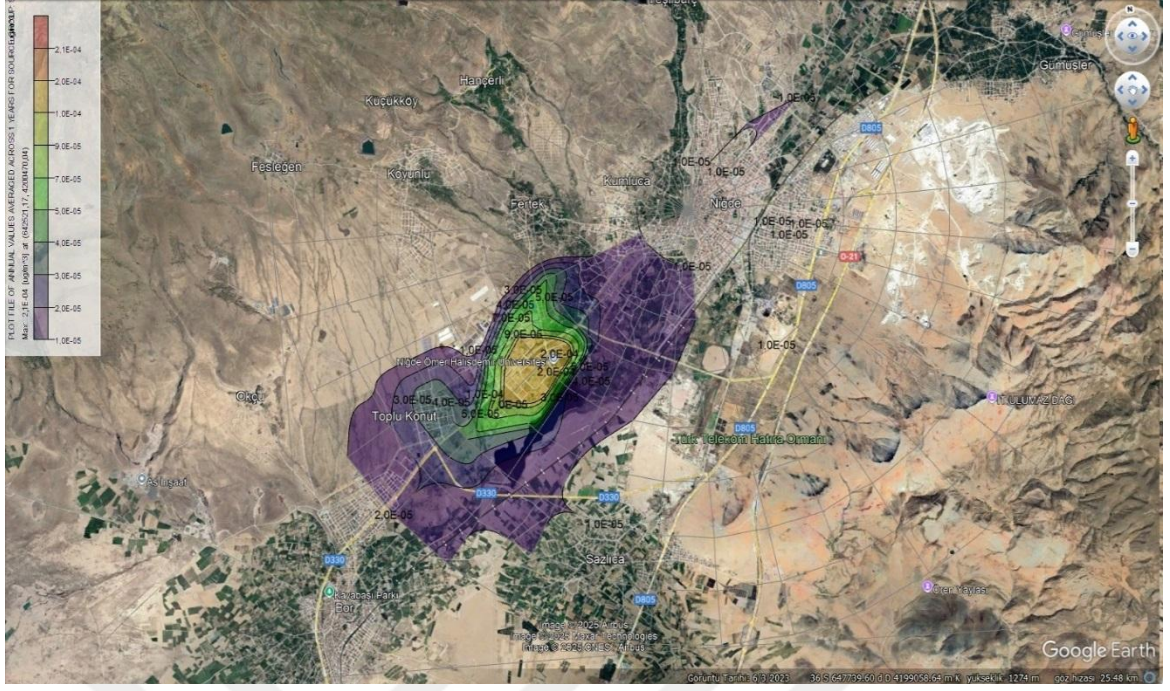
Şekil 6.7. Ferteke Mahallesi, PM10-2 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.8. Ferteke Mahallesi, PM10-2 günlük modelleme haritası



Şekil 6.9. Ferteke Mahallesi, PM10-2 aylık modelleme haritası



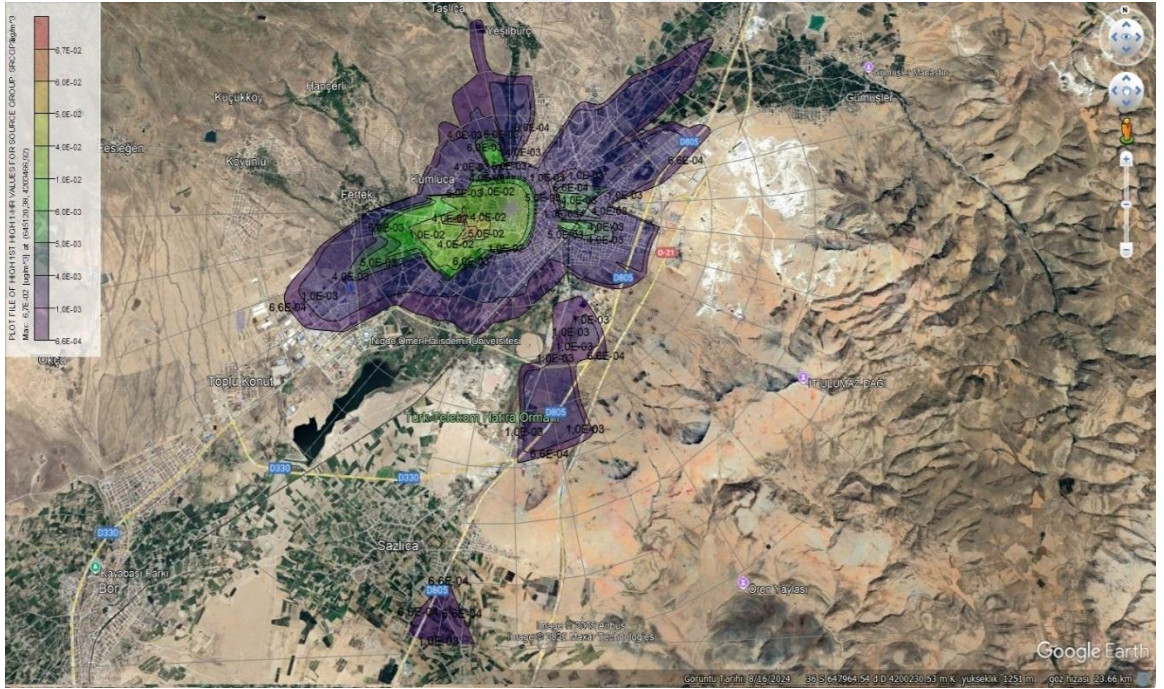
Şekil 6.10. Ferteke Mahallesi, PM10-2 yıllık modelleme haritası

Aşağıkayabaşı Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 645411.64 / 4203143.64'dır. Ferteke OSB içinde okul önünde ölçüm yapılmıştır. PM10 konsantrasyonu $58,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkmıştır. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

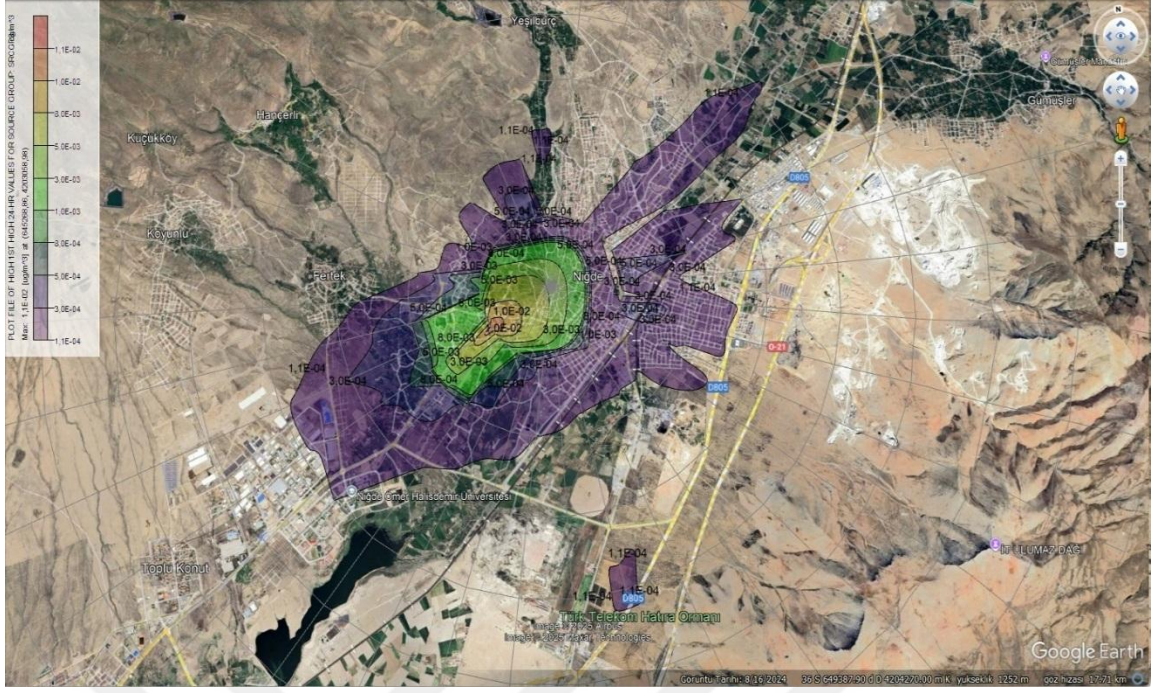
Aşağıkayabaşı Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.11-6.15'da verilmiştir.



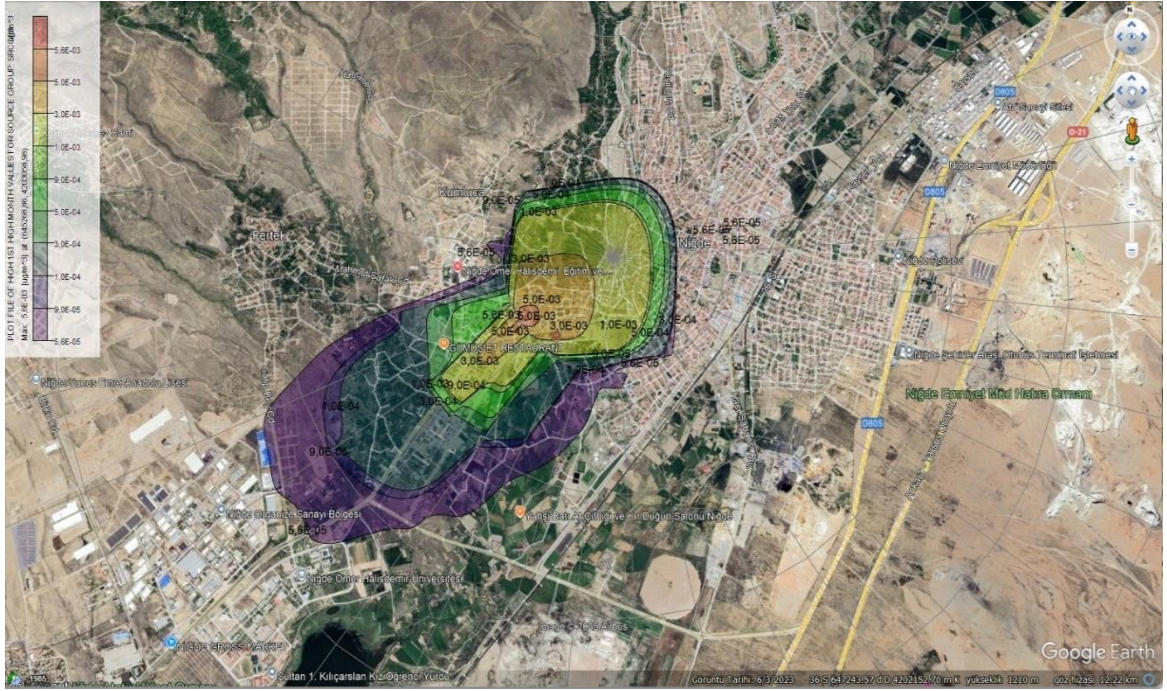
Şekil 6.11. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



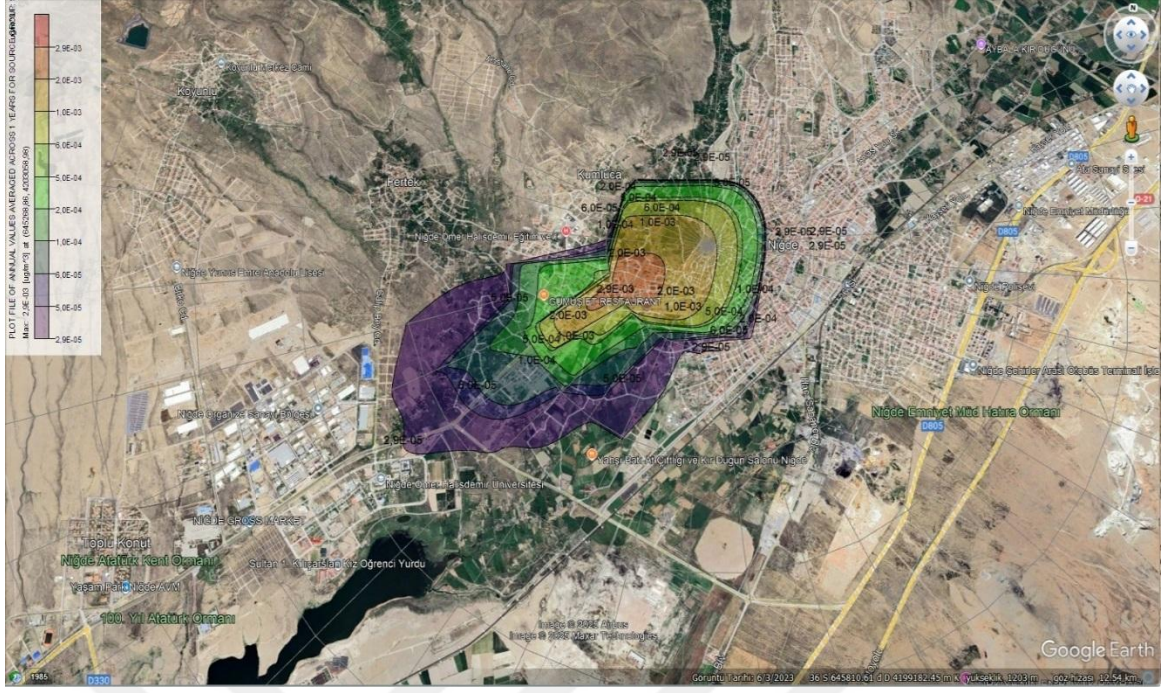
Şekil 6.12. Aşağıkayabaşı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.13. Aşıkayabaşı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



Şekil 6.14. Aşıkayabaşı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



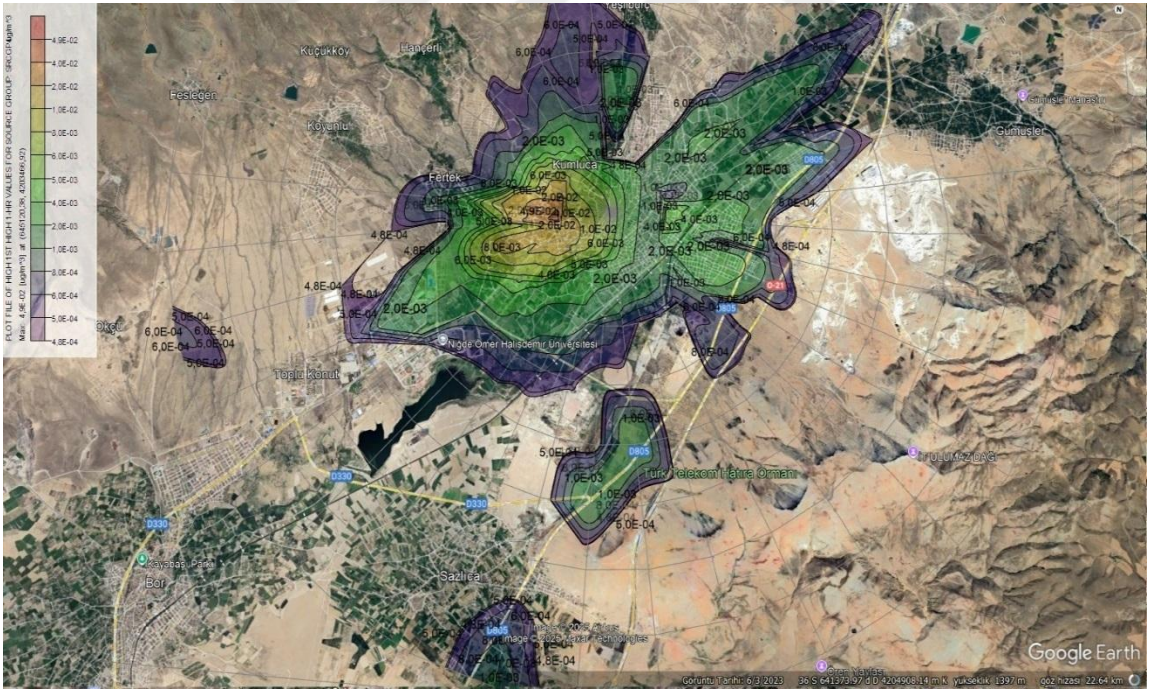
Şekil 6.15. Aşıkayabaşı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Sarıköprü Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 644769.76/4202665.78'dir. Sarıköprü Mahallesi PM10 konsantrasyonu $62,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

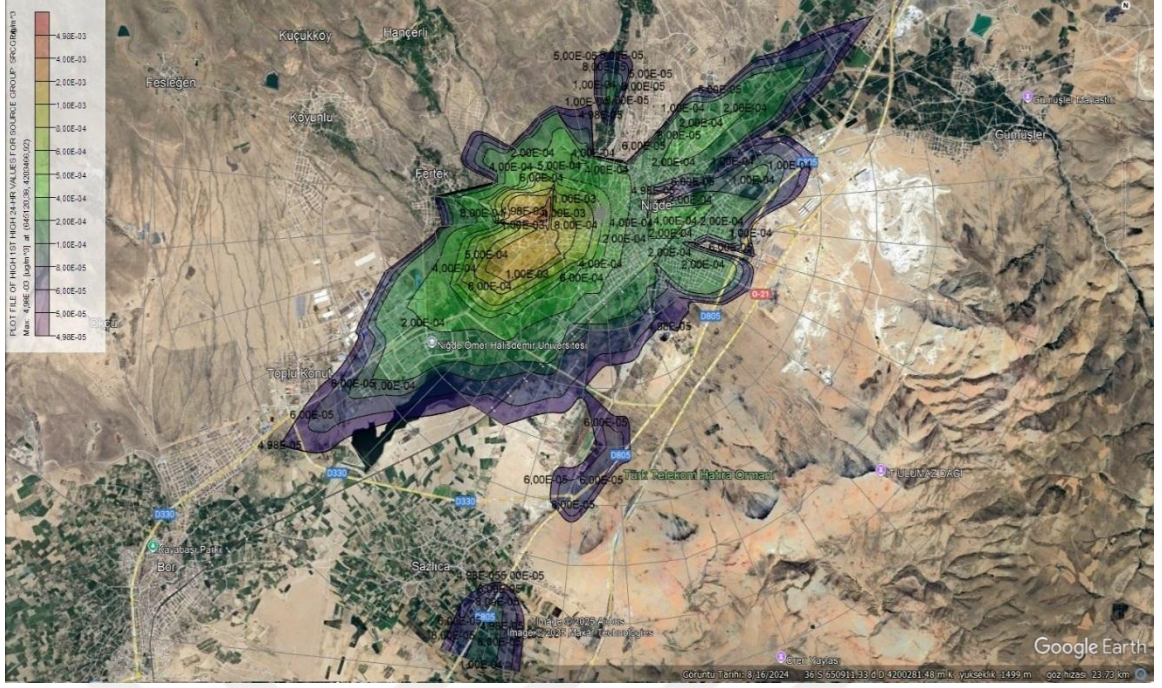
Sarıköprü Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.16-6.20'de verilmiştir.



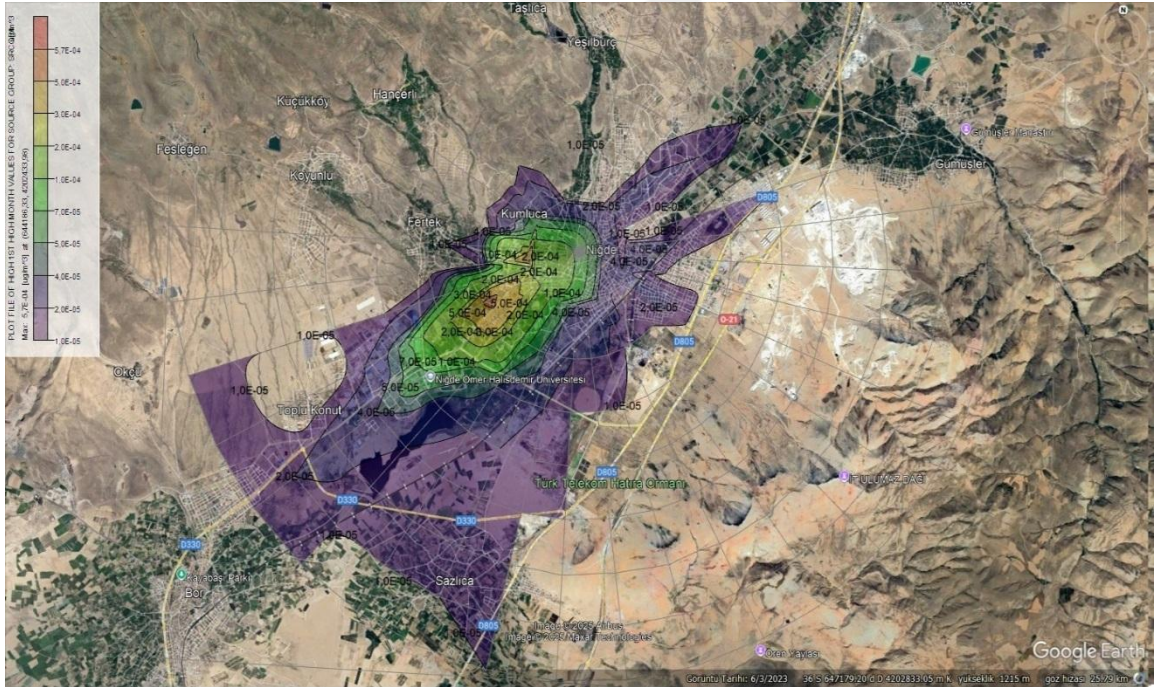
Şekil 6.16. Sarıköprü Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



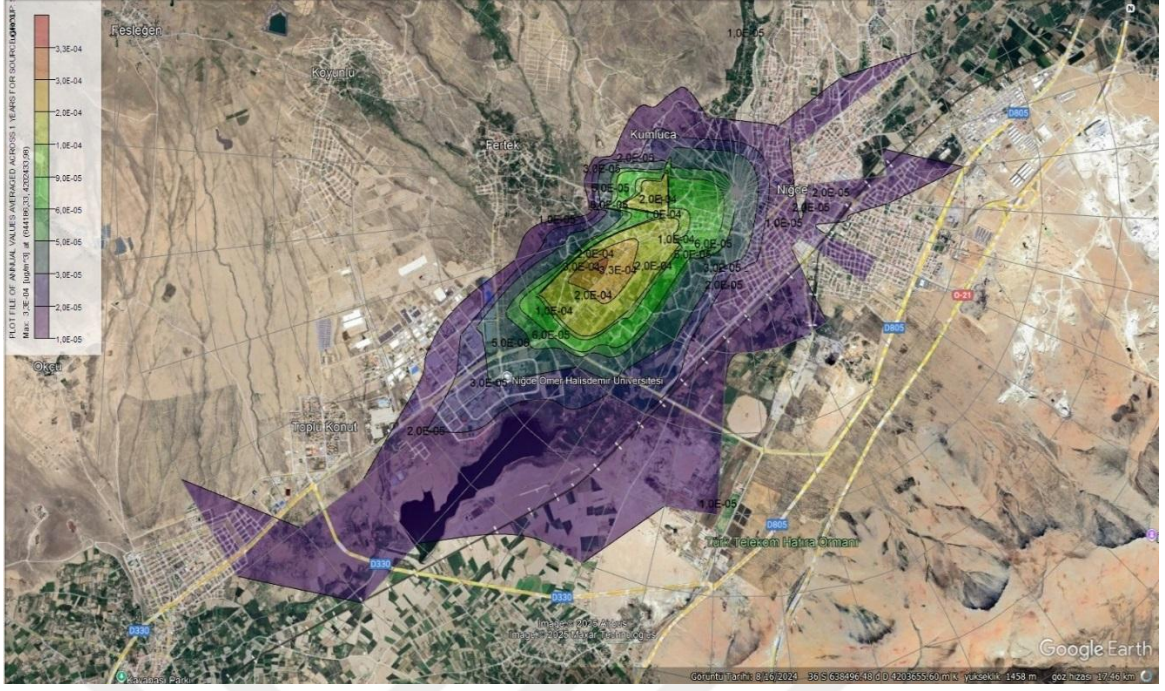
Şekil 6.17. Sarıköprü Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.18. Sarıköprü Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



Şekil 6.19. Sarıköprü Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



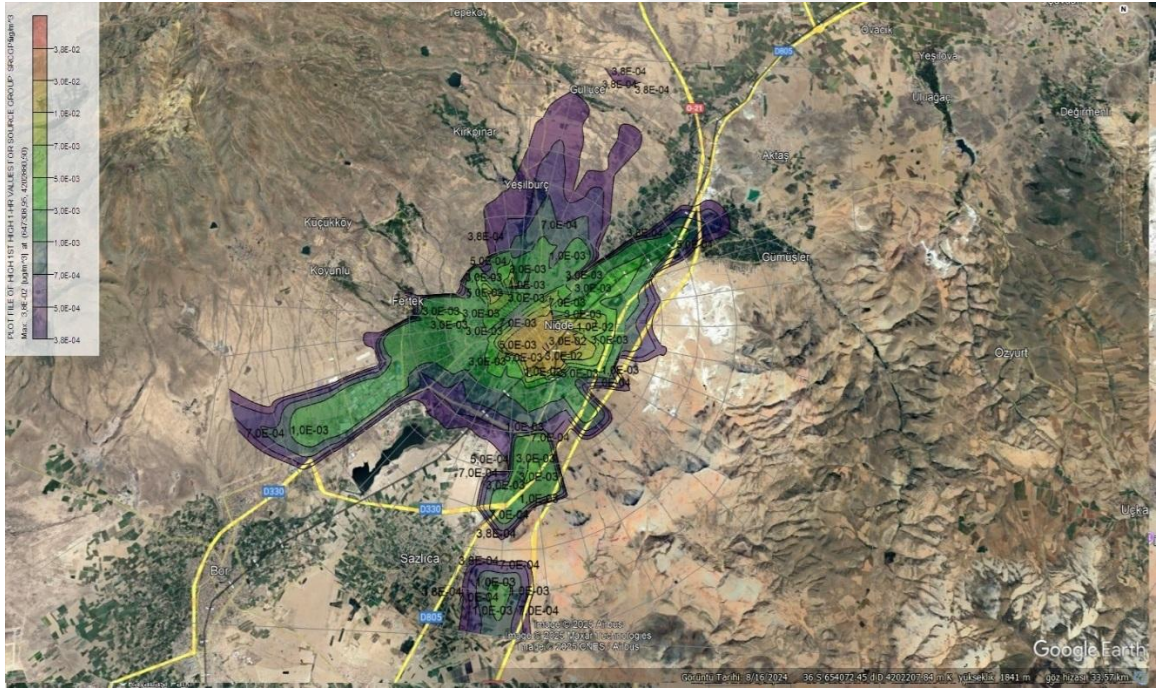
Şekil 6.20. Sarıköprü Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Selçuk Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 644769.76/4202665.78'dır. Selçuk Mahallesi PM10 konsantrasyonu $72,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

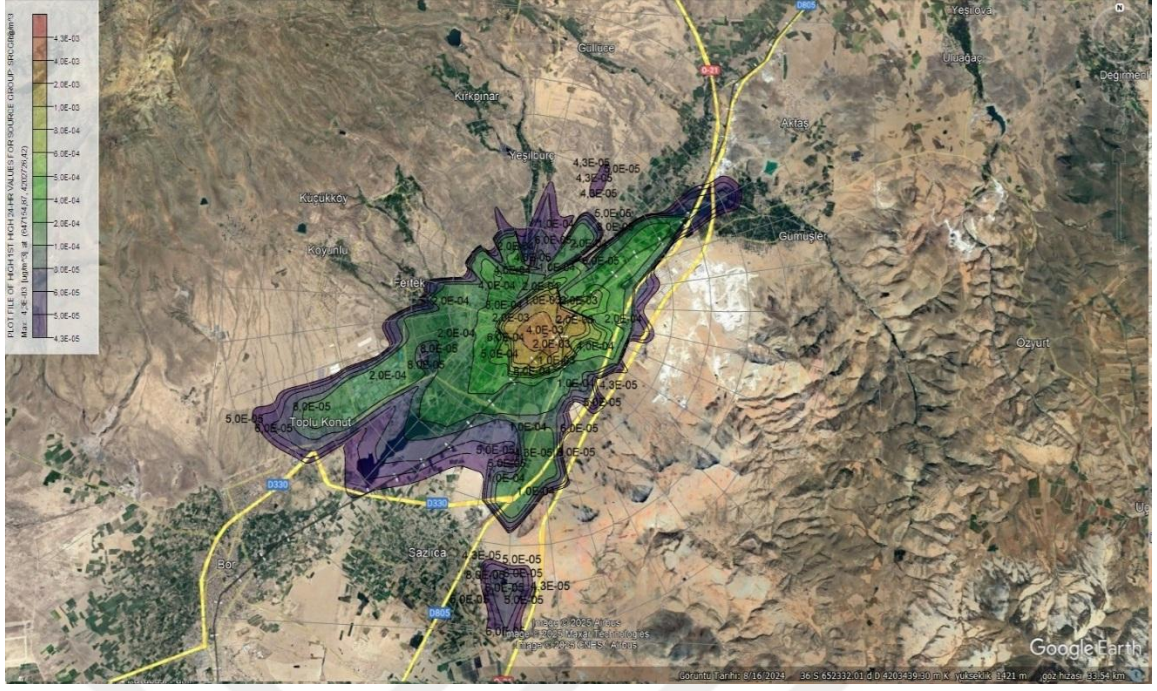
Selçuk Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.21-6.25'de verilmiştir.



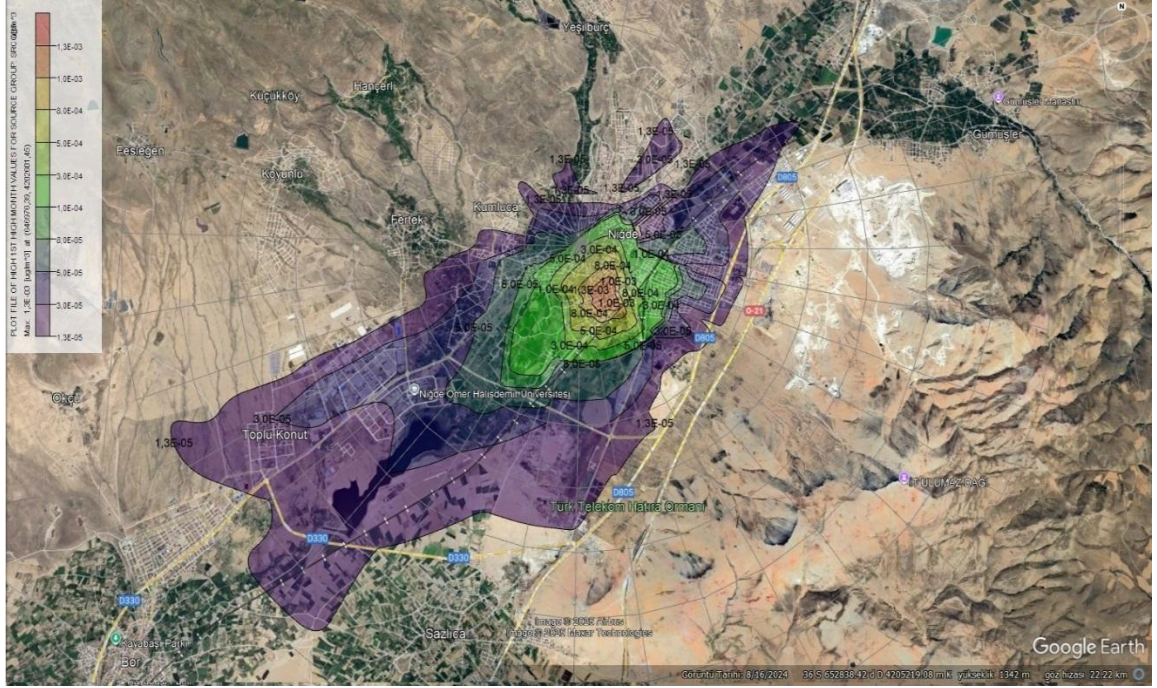
Şekil 6.21. Selçuk Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



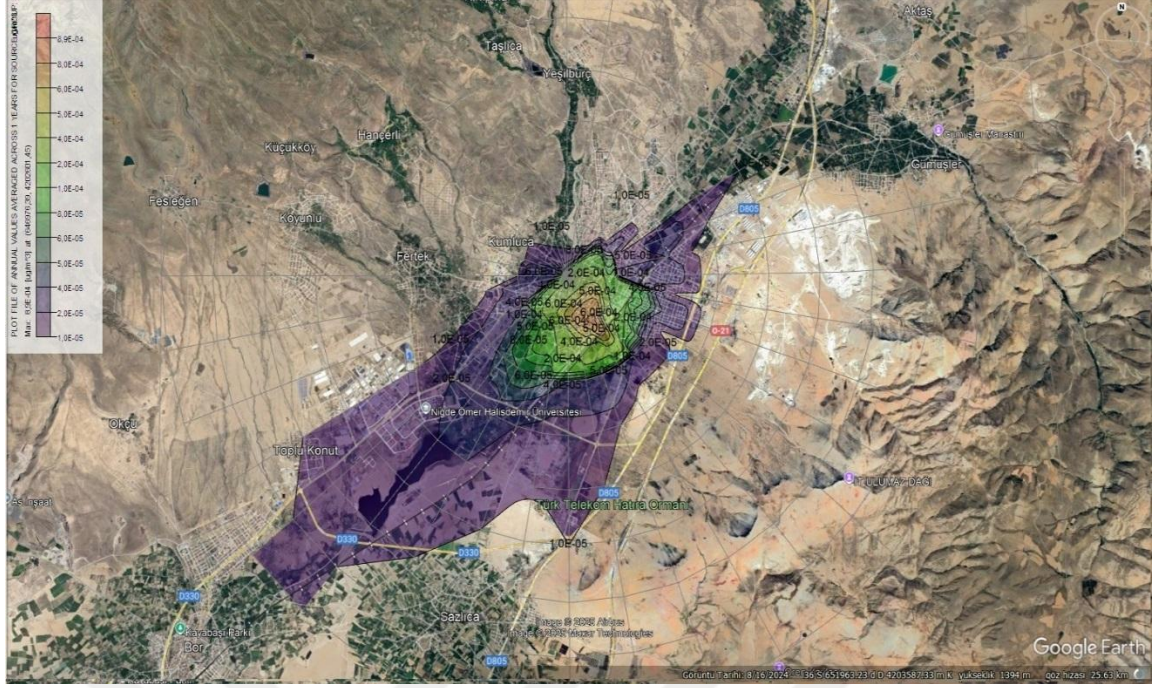
Şekil 6.22. Selçuk Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.23. Selçuk Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



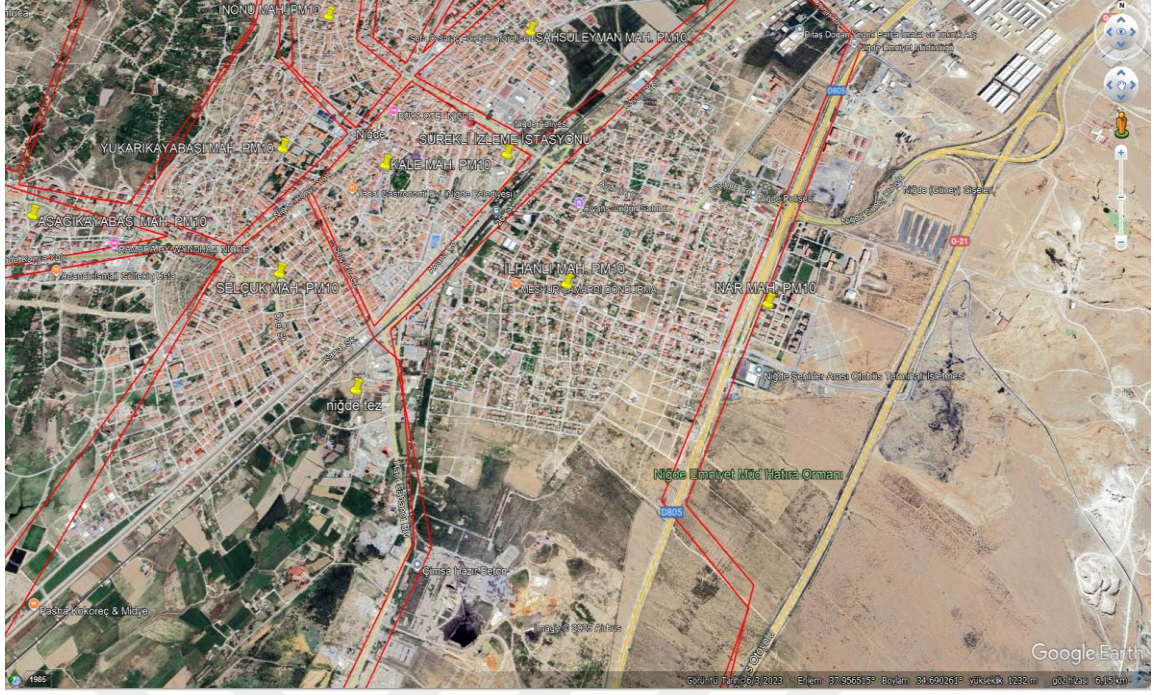
Şekil 6.24. Selçuk Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



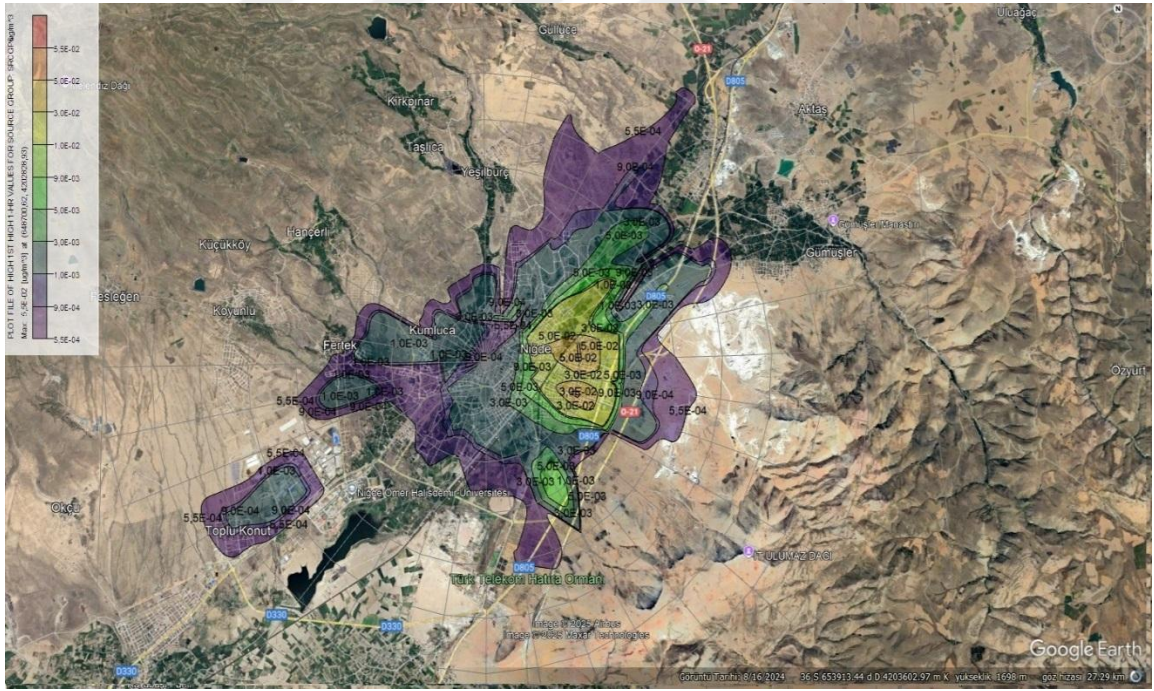
Şekil 6.25. Selçuk Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

İlhanlı Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 648445.55 / 4202878.28'dir. İlhanlı Mahallesi PM10 konsantrasyonu $79,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

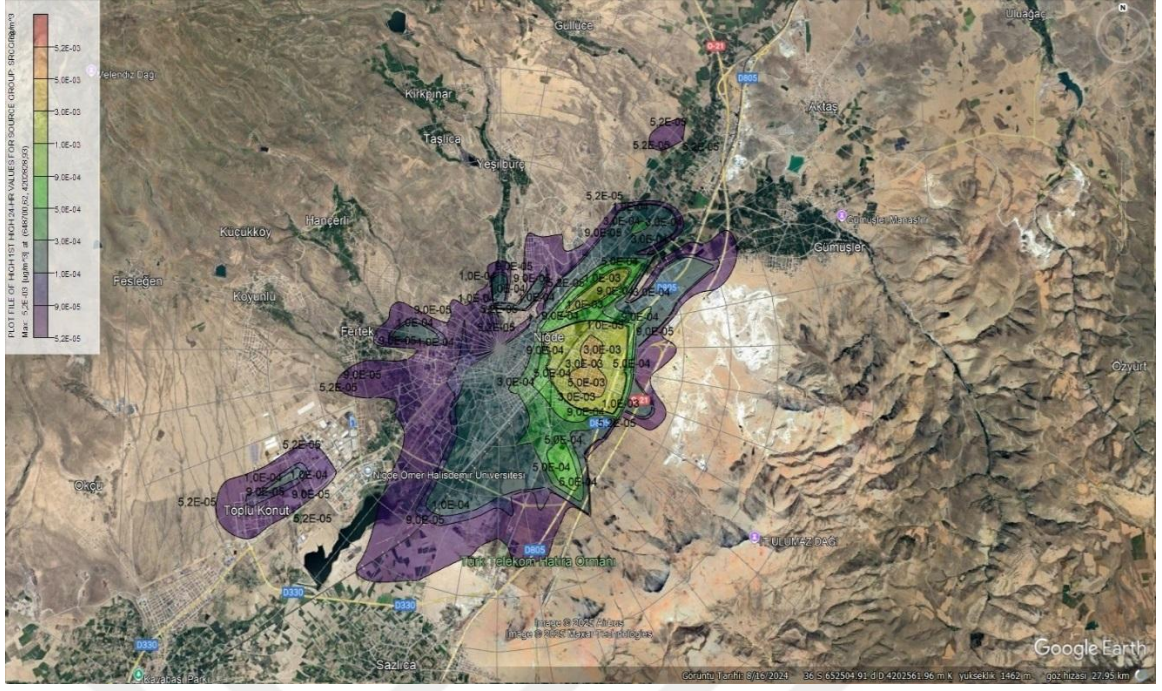
İlhanlı Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.26-6.30'da verilmiştir.



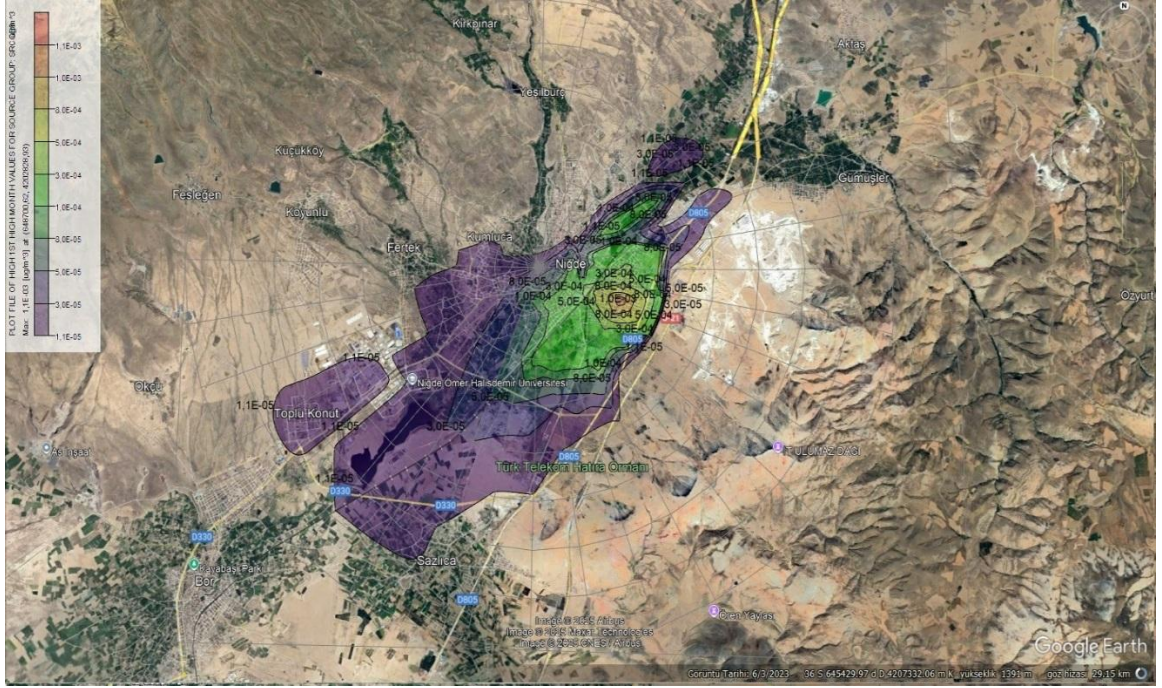
Şekil 6.26. İlhanlı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



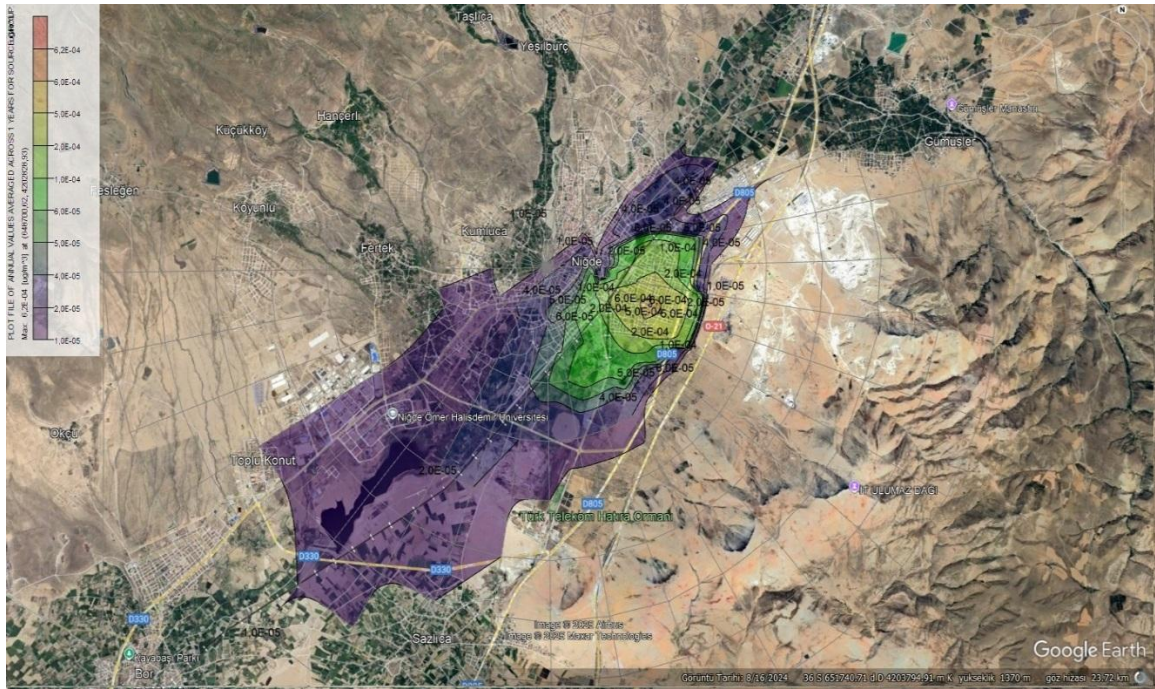
Şekil 6.27. İlhanlı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.28. İlhanlı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



Şekil 6.29. İlhanlı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası

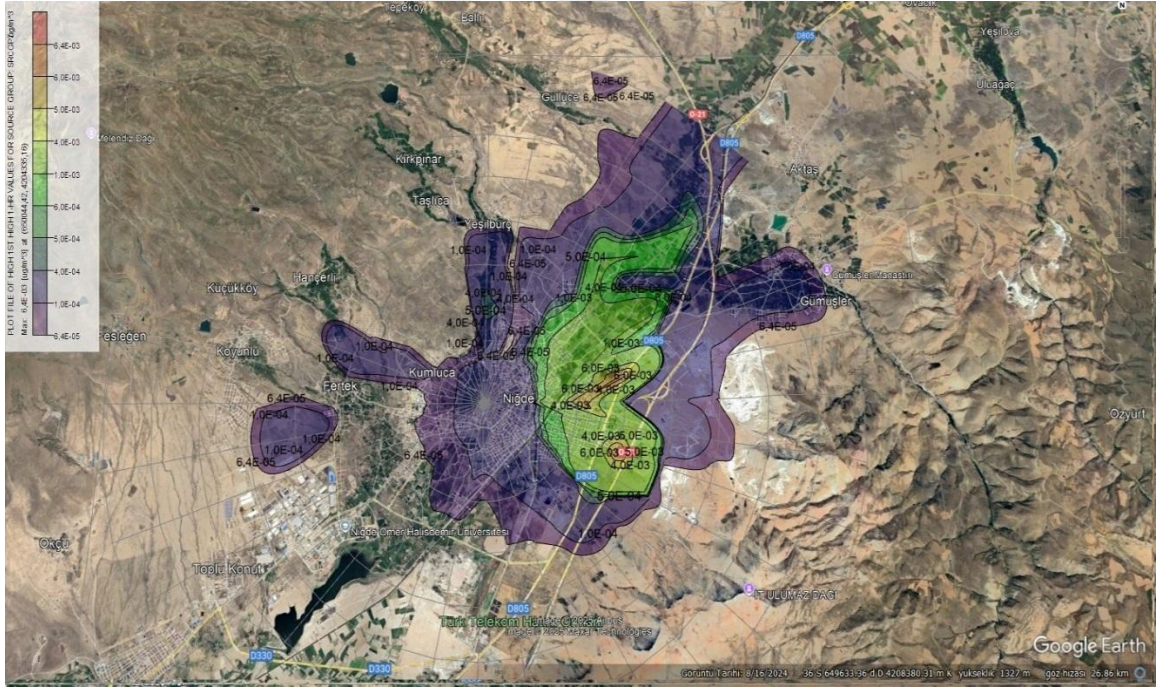


Nar Mahallesi PM10 Ölçüm Noktası koordinatları 649534.74 / 4202802.09'dır. Nar Mahallesi PM10 konsantrasyonu 112,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 100-150 aralığında olduğu için indeks HASSAS sonucuna varılmıştır.

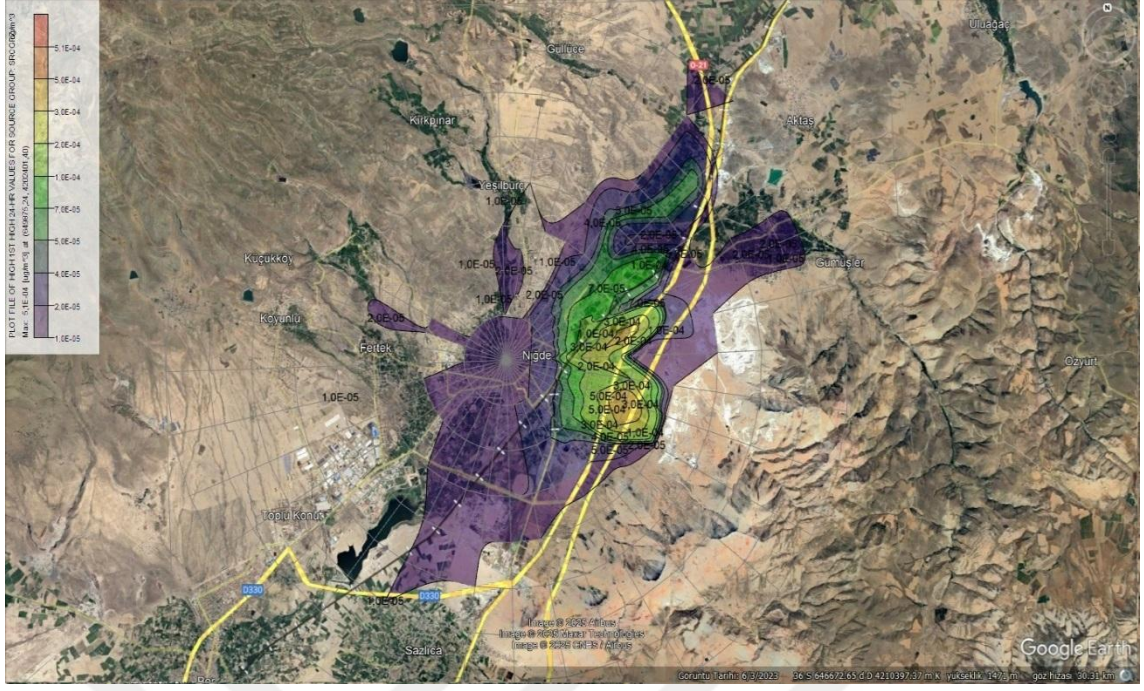
Nar Mahallesi PM10 Ölçüm Noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.31-6.35’de verilmiştir.



Şekil 6.31. Nar Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



Şekil 6.32. Nar Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.33. Nar Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



Şekil 6.34. Nar Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



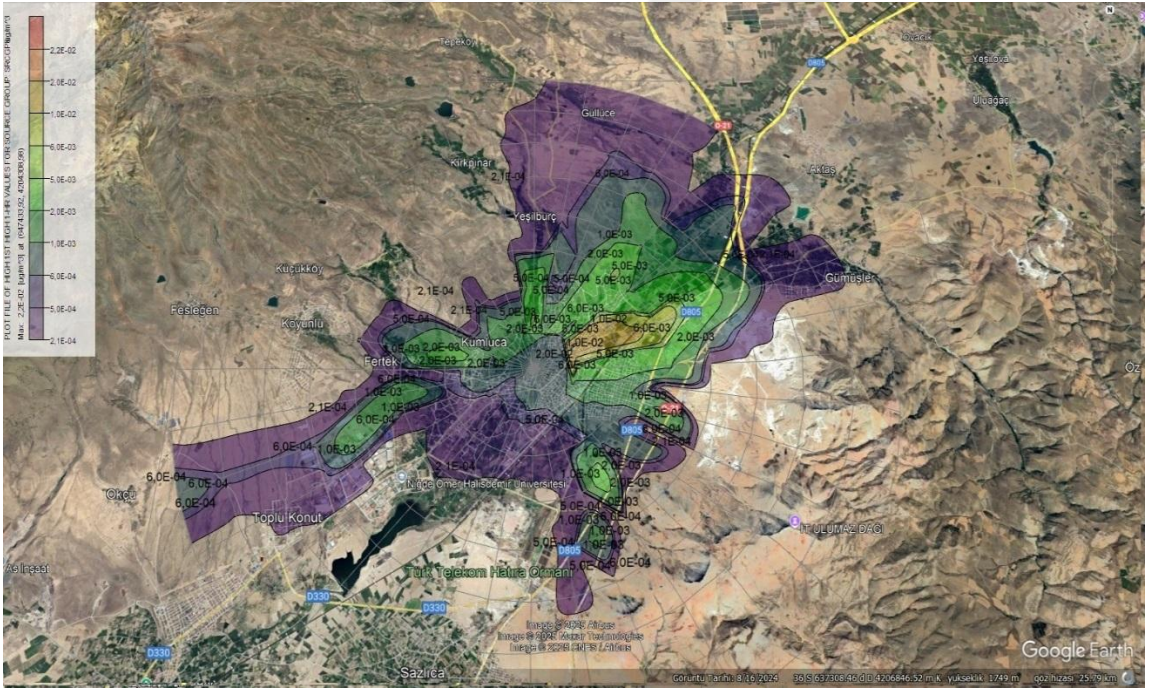
Şekil 6.35. Nar Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Şahsüleyman Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 648140.13 / 4204465.27'dir. Şahsüleyman Mahallesi PM10 konsantrasyonu $67,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

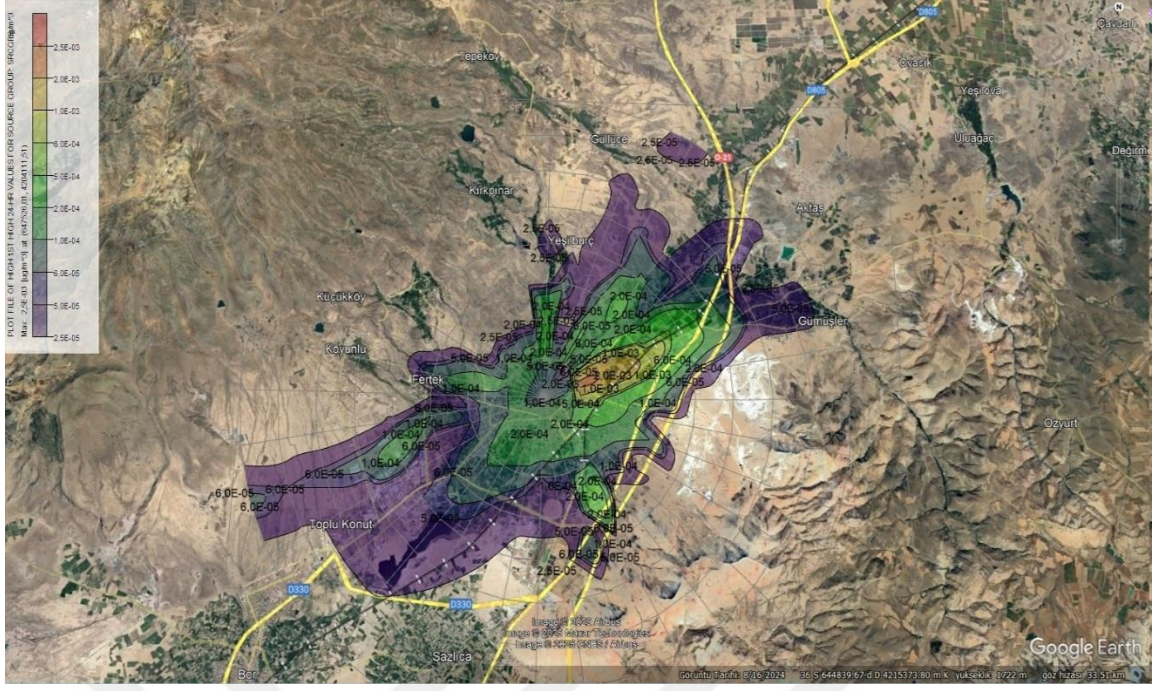
Şahsüleyman Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.36-6.40'da verilmiştir.



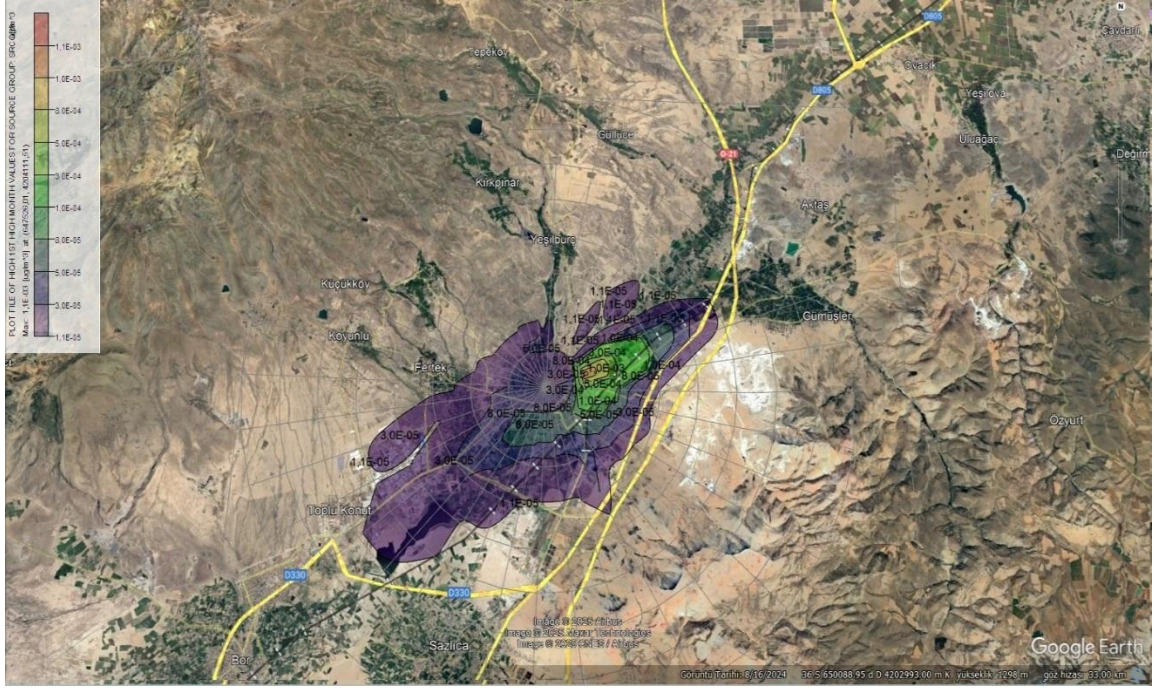
Şekil 6.36. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



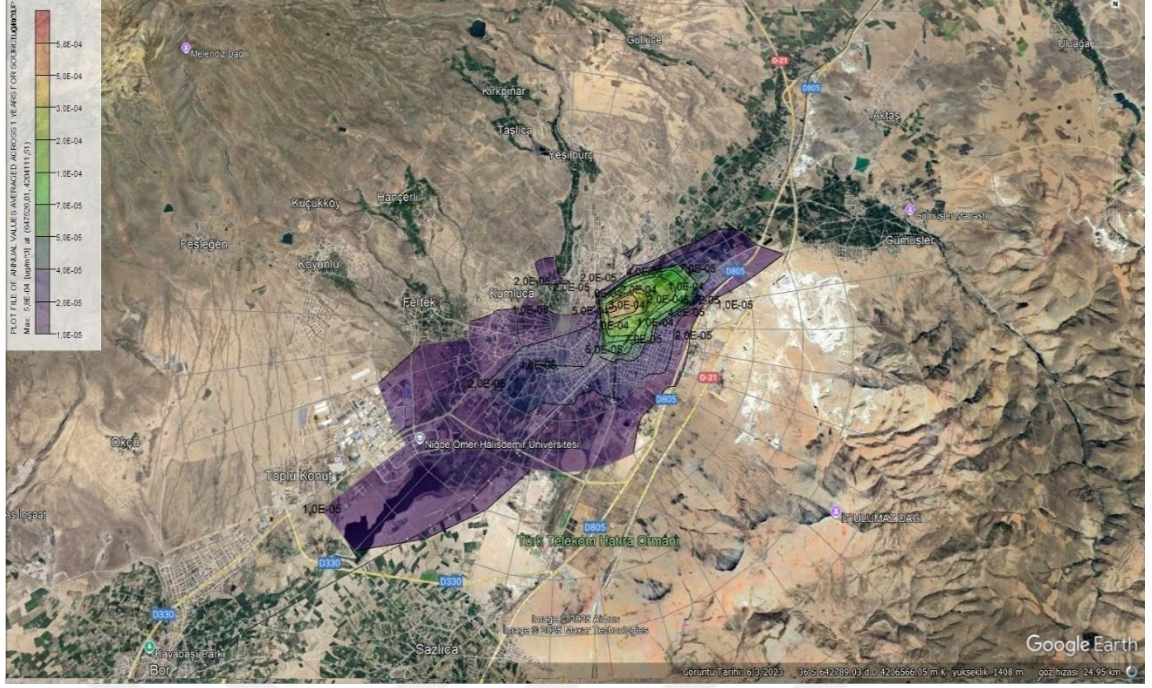
Şekil 6.37. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.38. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



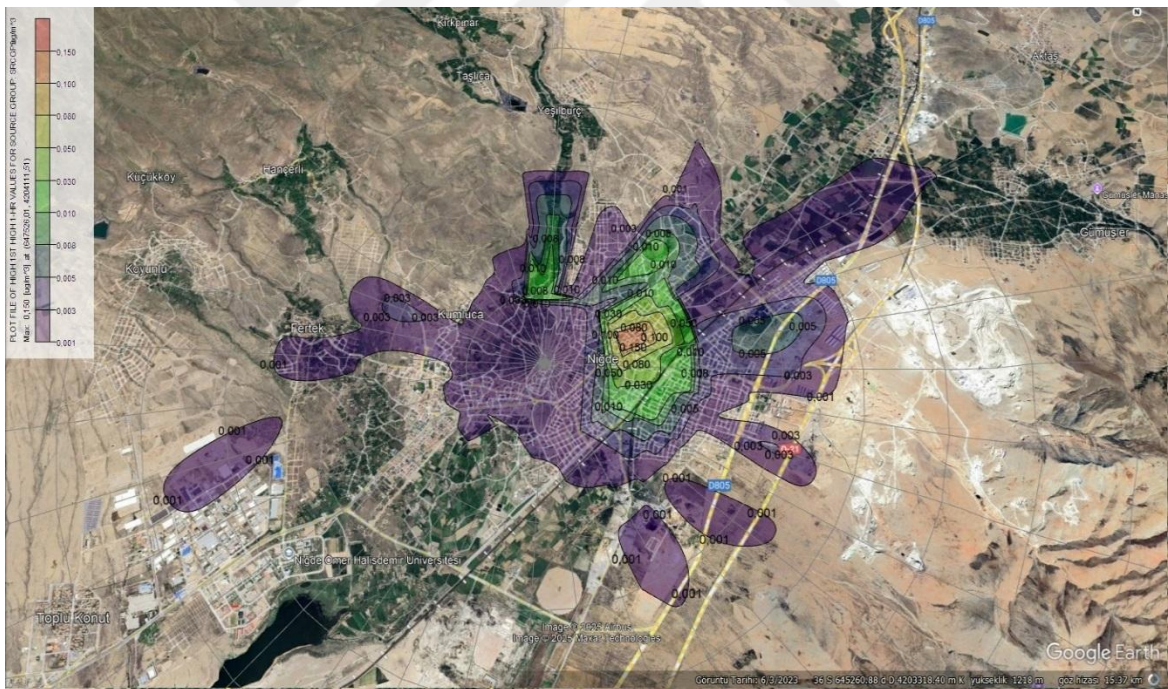
Şekil 6.39. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası

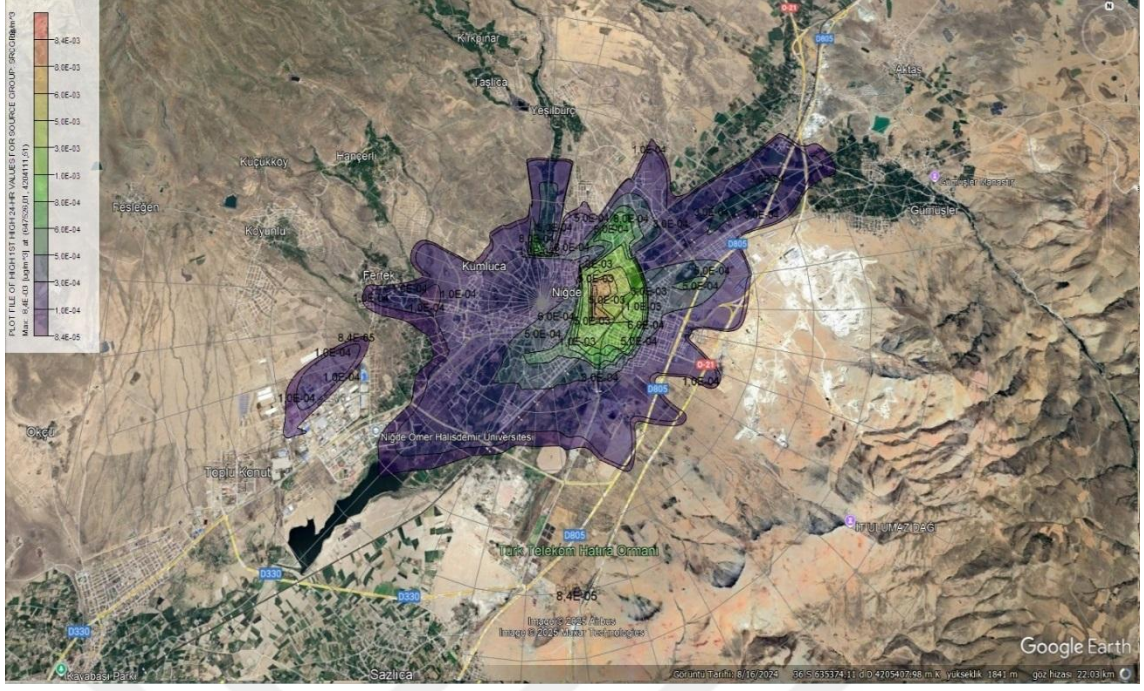


Şekil 6.40. Şahsüleyman Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

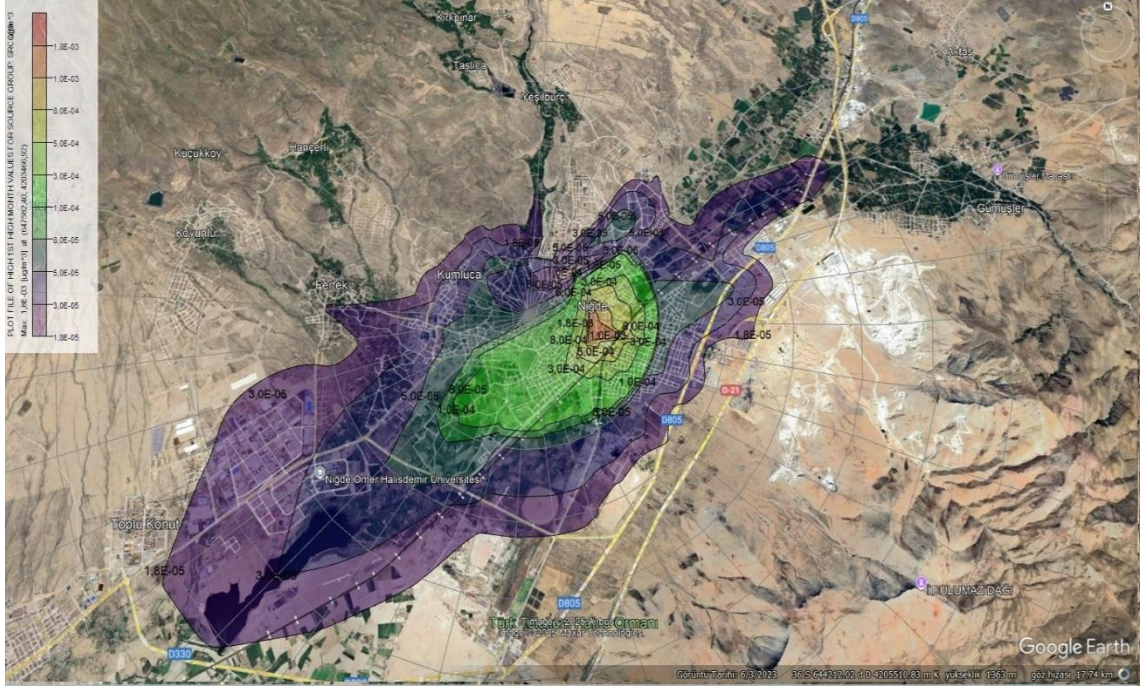
Kale Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 647370.41 / 4203530.45'dir. Kale Mahallesi PM10 konsantrasyonu $82,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

Kale Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.41-6.45'de verilmiştir.

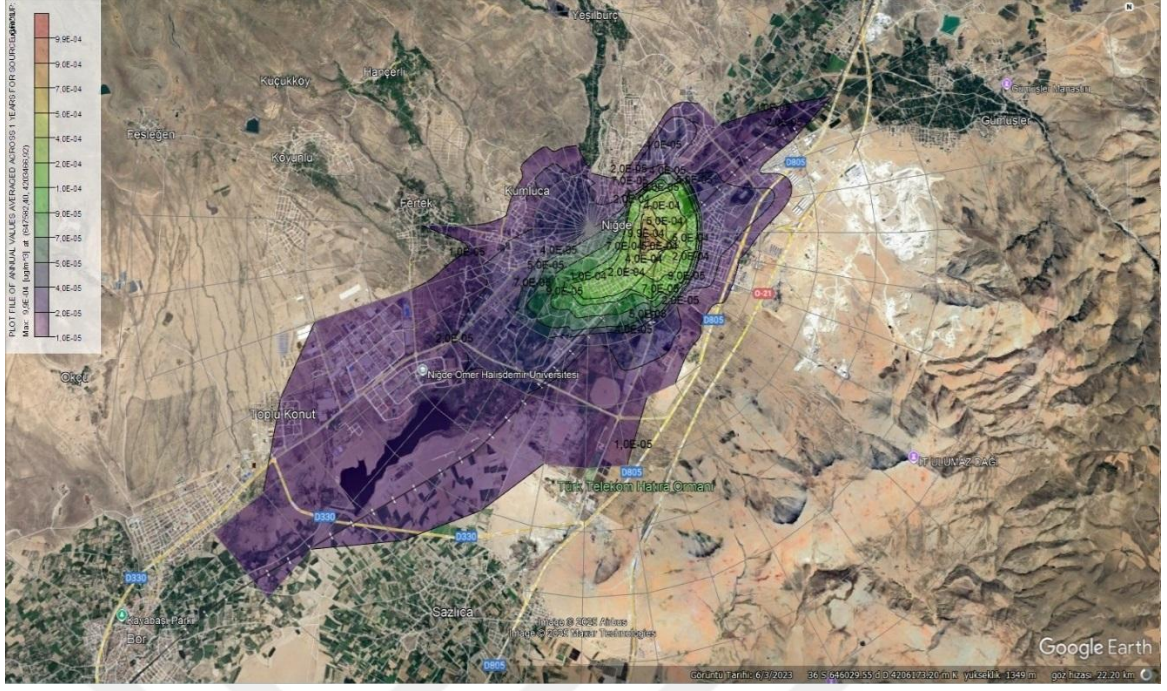




Şekil 6.43. Kale Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



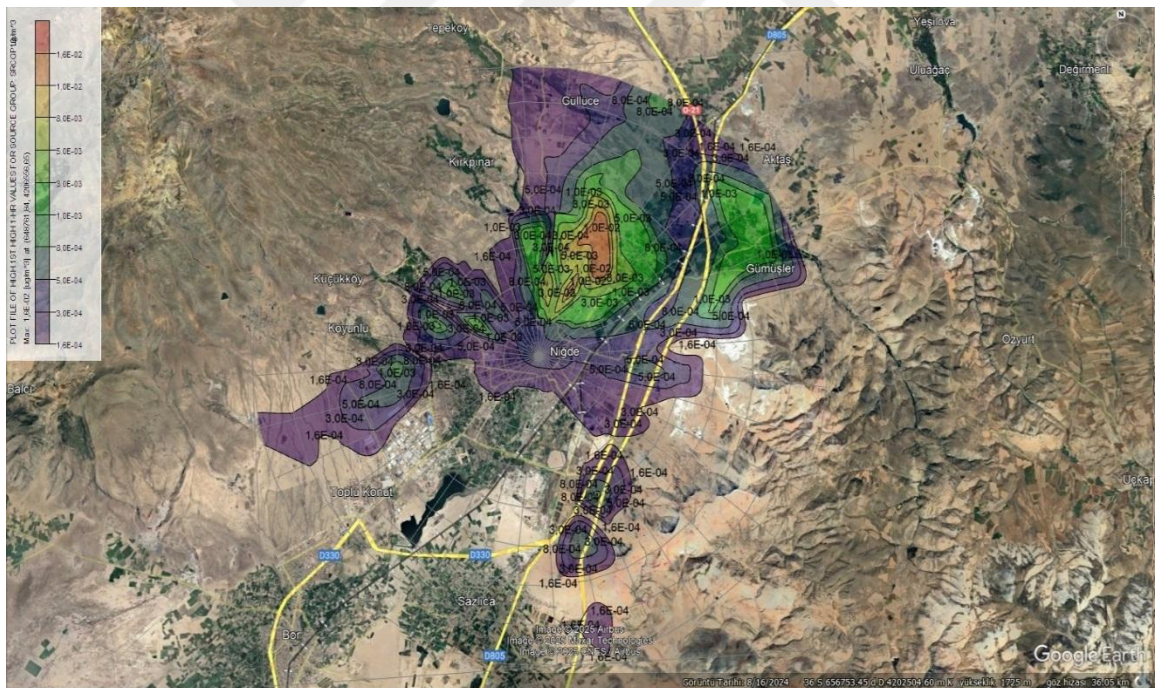
Şekil 6.44. Kale Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası

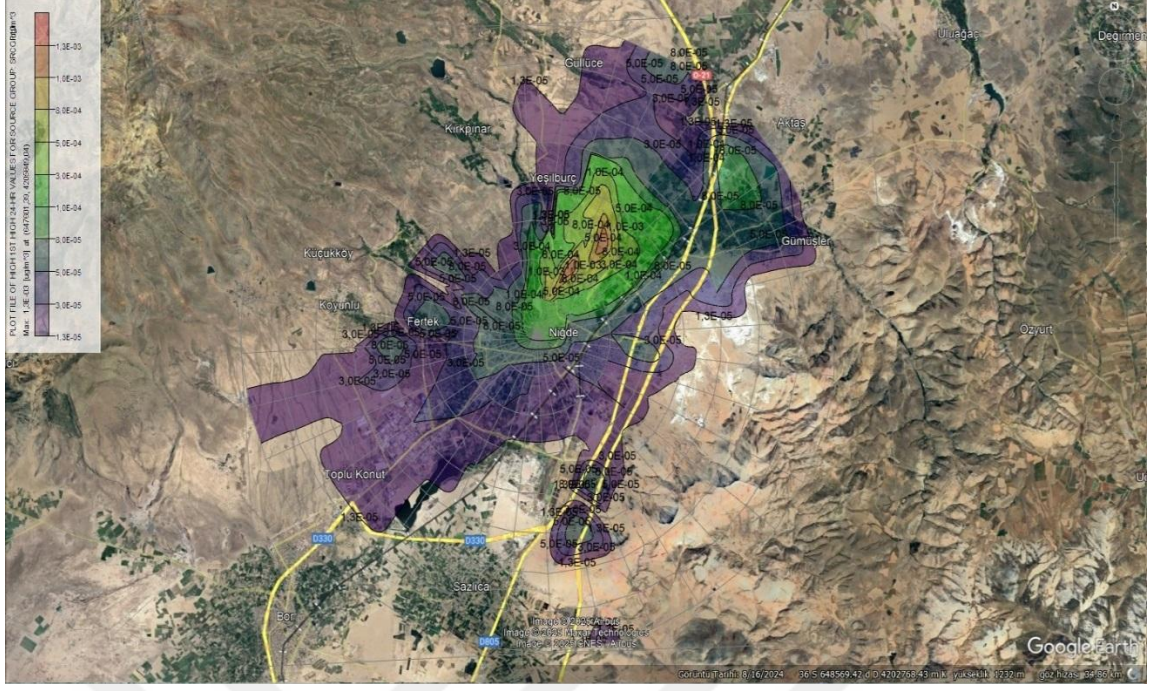


Şekil 6.45. Kale Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

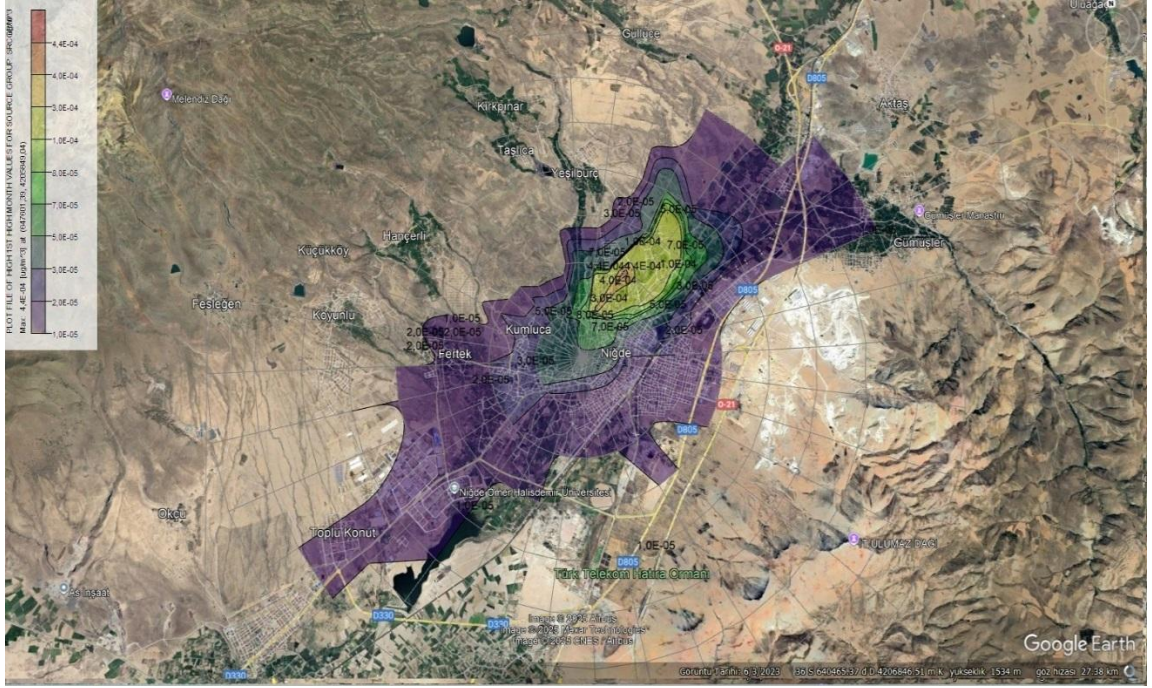
Efendibey Mahallesi PM10 Ölçüm Noktası koordinatları 648391.67 / 4206240.18'dir. Efendibey Mahallesi PM10 konsantrasyonu $47,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 0-50 aralığında olduğu için indeks İYİ sonucuna varılmıştır.

Efendibey Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.46-6.50'de verilmiştir.

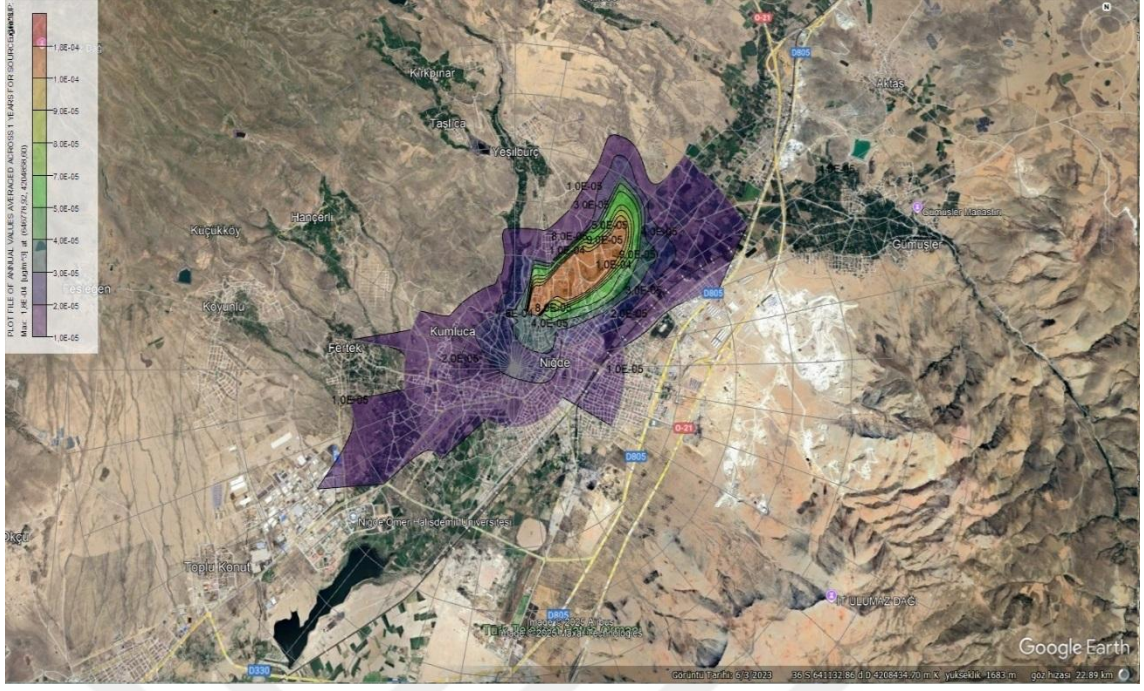




Şekil 6.48. Efendibey Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



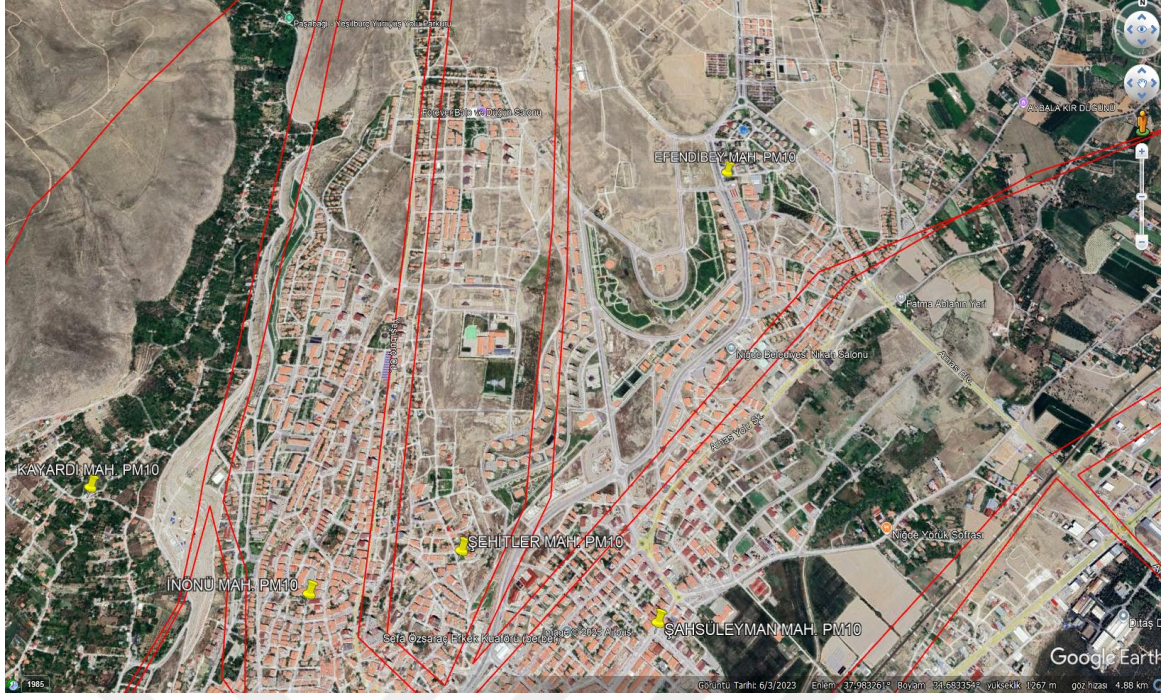
Şekil 6.49. Efendibey Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



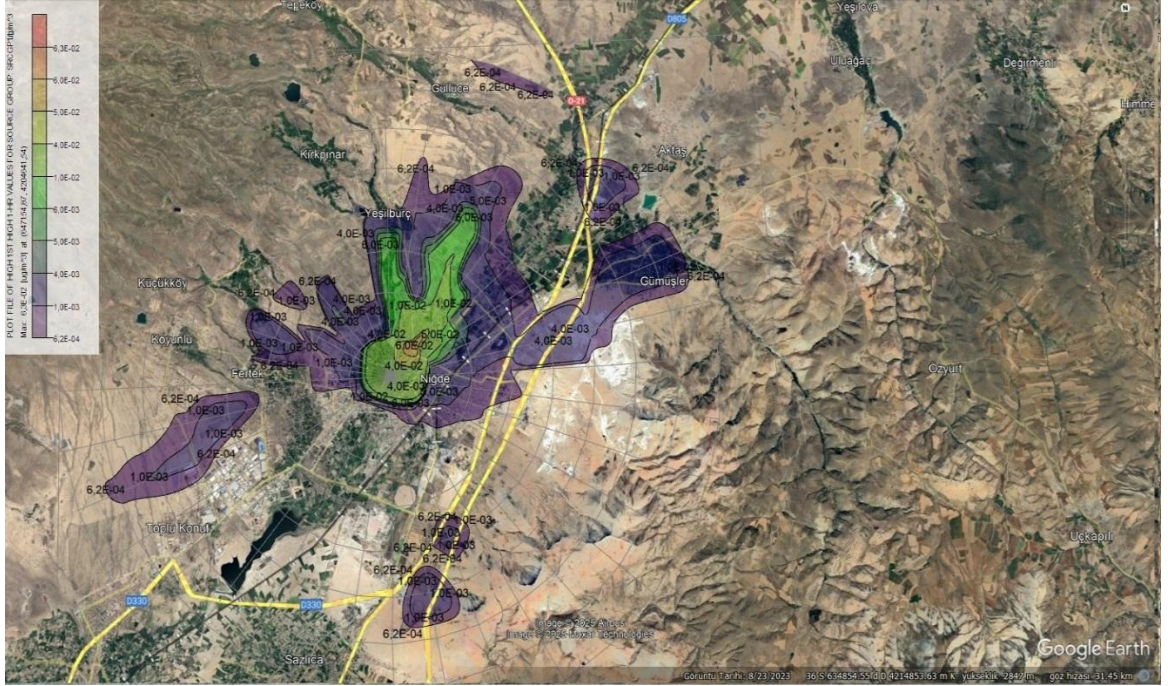
Şekil 6.50. Efendibey Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Şehitler Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 647432.60 / 4204660.55'dir. Şehitler Mahallesi PM10 konsantrasyonu $68,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

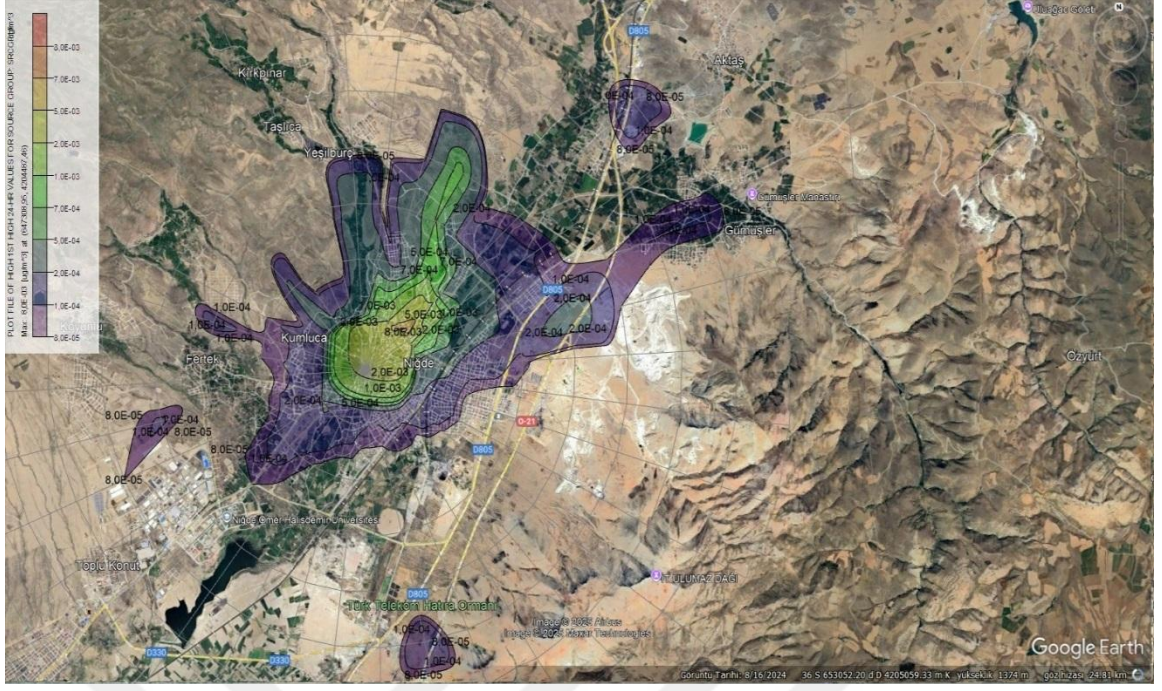
Şehitler Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.51-6.55'de verilmiştir.



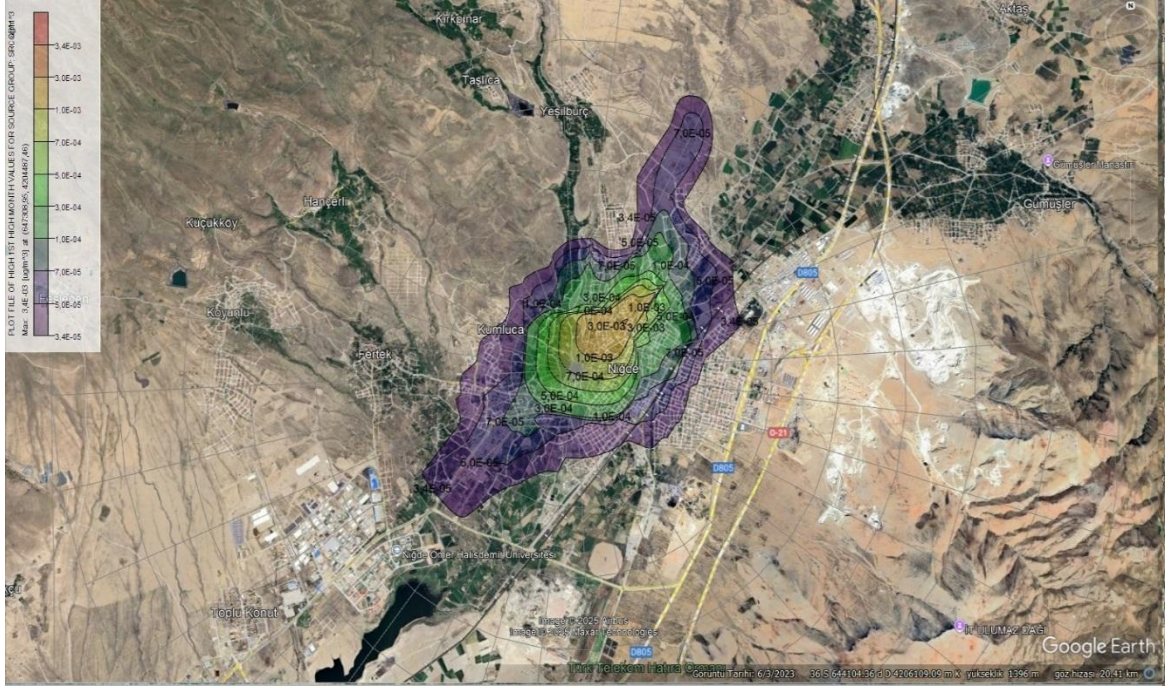
Şekil 6.51. Şehitler Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



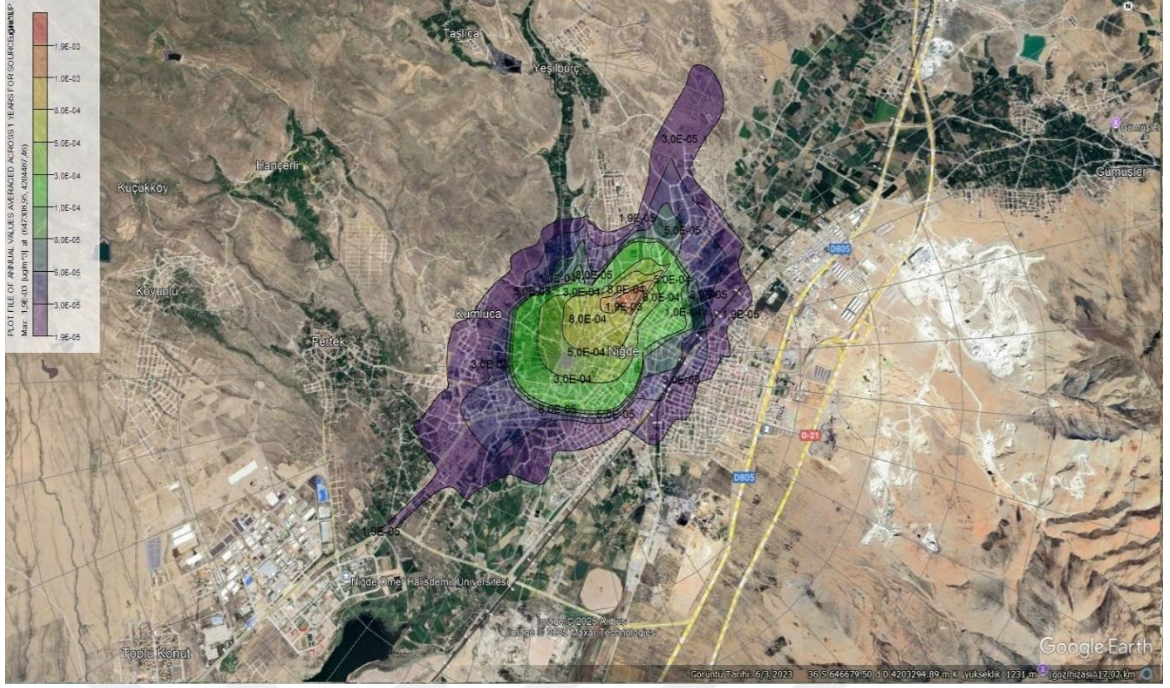
Şekil 6.52. Şehitler Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.53. Şehitler Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



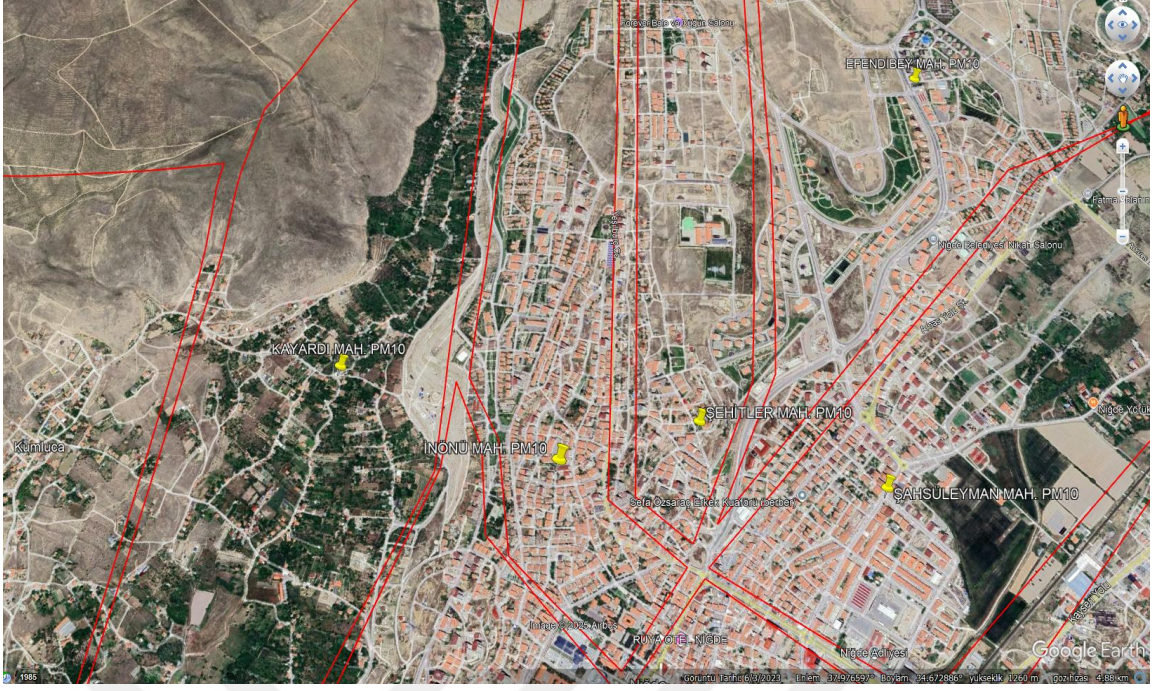
Şekil 6.54. Şehitler Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



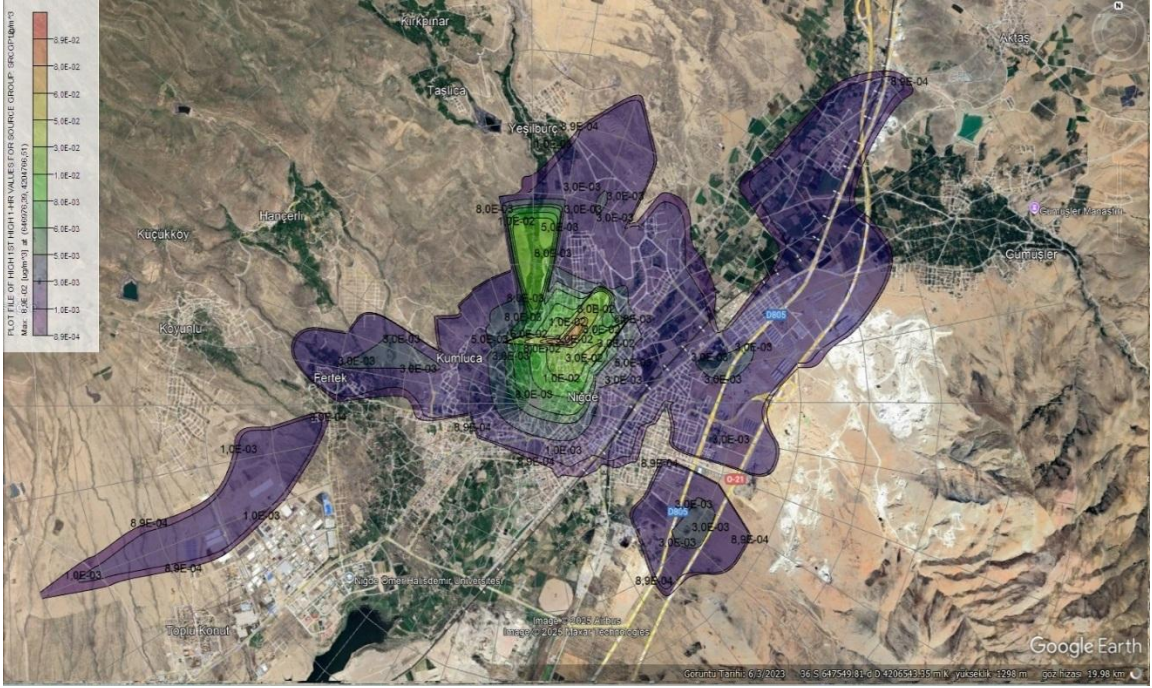
Şekil 6.55. Şehitler Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

İnönü Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 646906.01 / 4204494.90'dır. İnönü Mahallesi PM10 konsantrasyonu $67,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır.

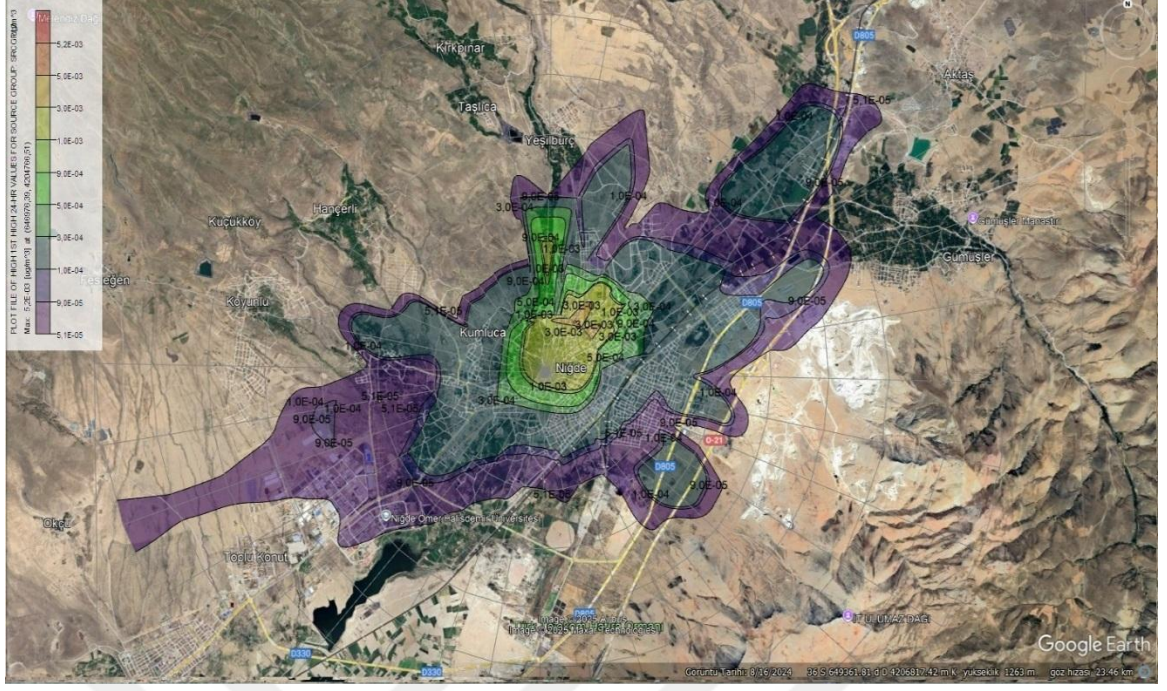
İnönü Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.56-6.60'da verilmiştir.



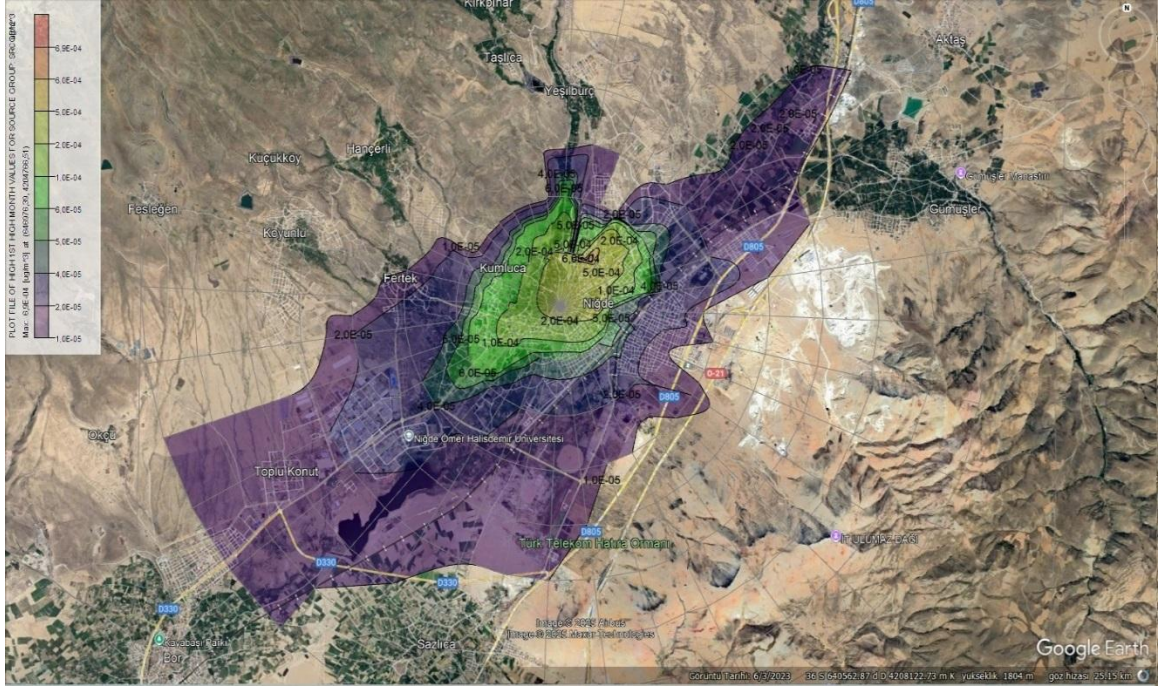
Şekil 6.56. İnönü Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



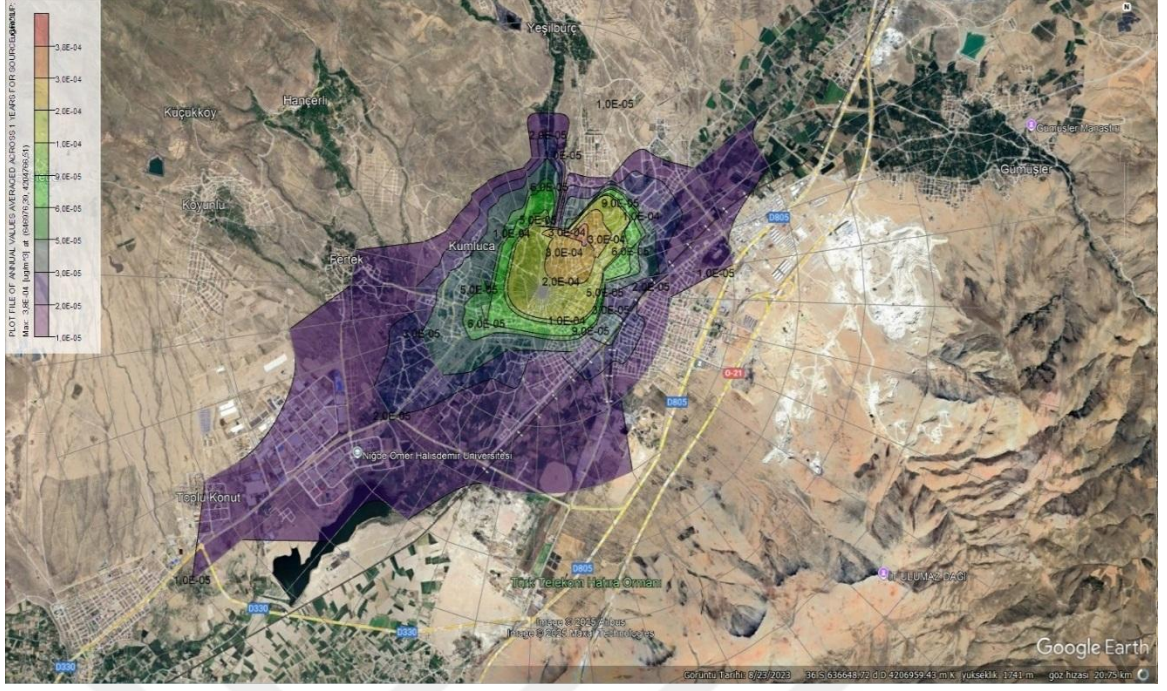
Şekil 6.57. İnönü Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.58. İnönü Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



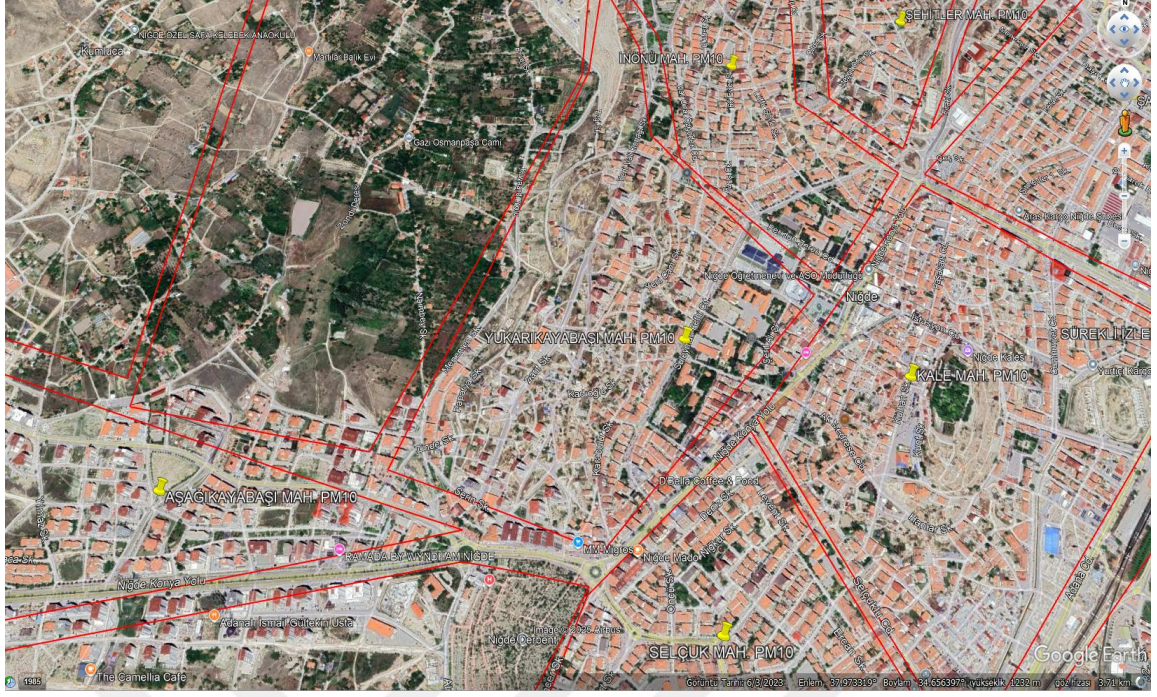
Şekil 6.59. İnönü Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



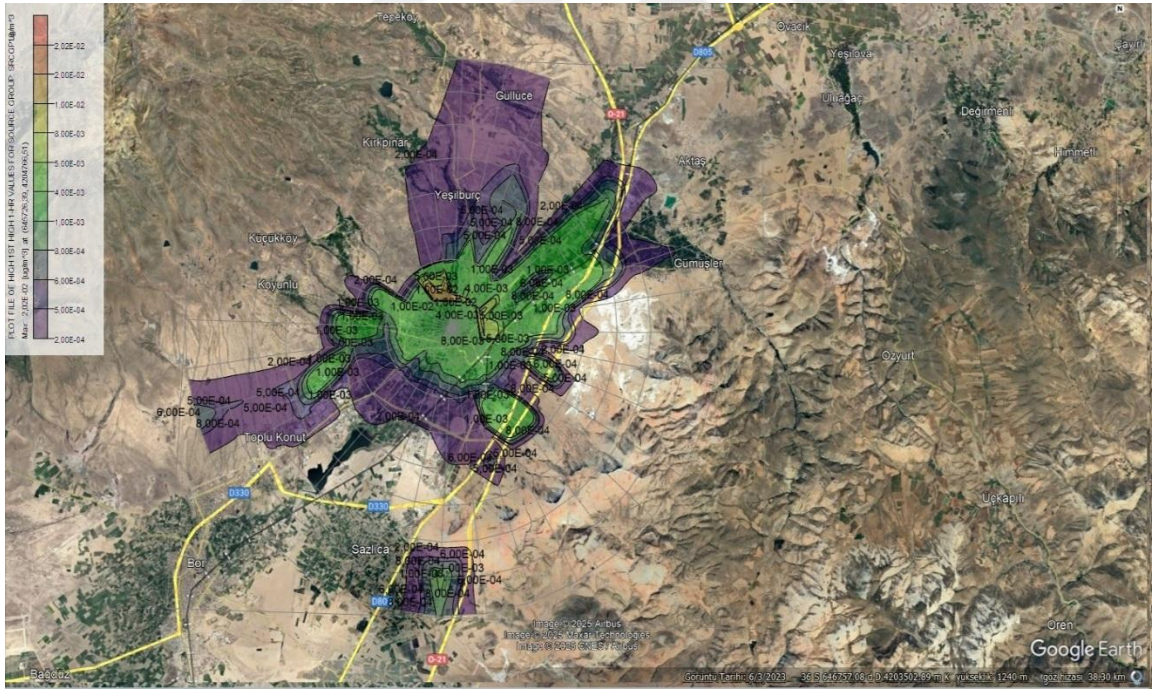
Şekil 6.60. İnönü Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Yukarıkayabaşı Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 646764.81 / 4203608.76 dır. Yukarıkayabaşı Mahallesi PM10 konsantrasyonu $49,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 0-50 aralığında olduğu için indeks İYİ sonucuna varılmıştır.

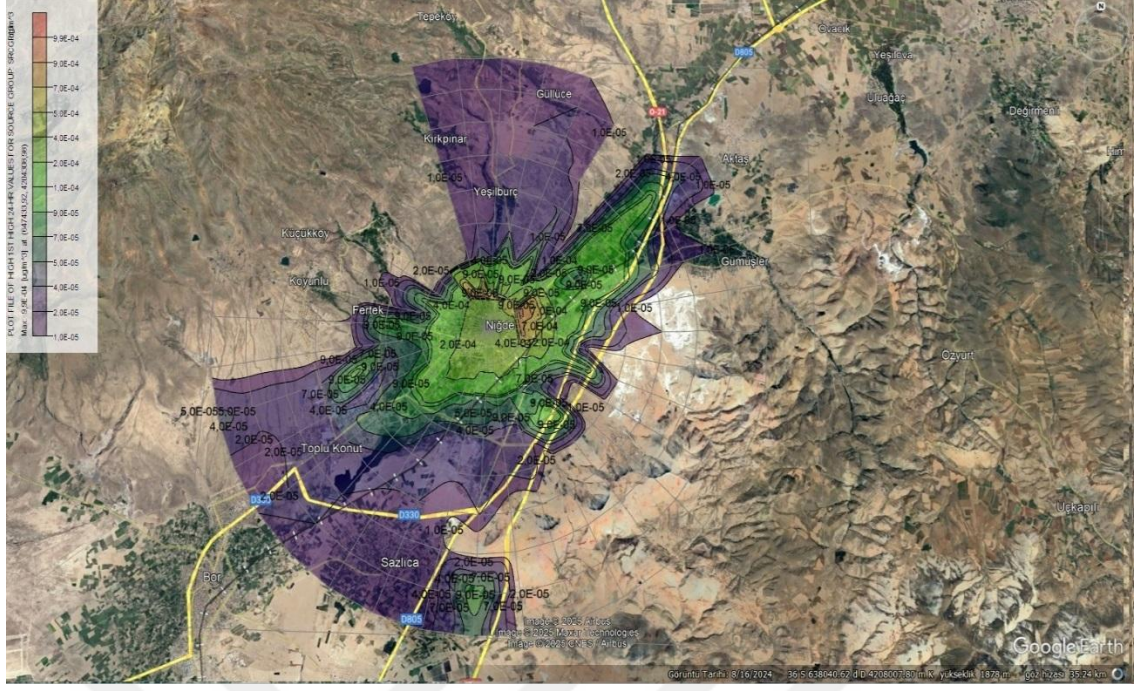
Yukarıkayabaşı Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.61-6.65'te verilmiştir.



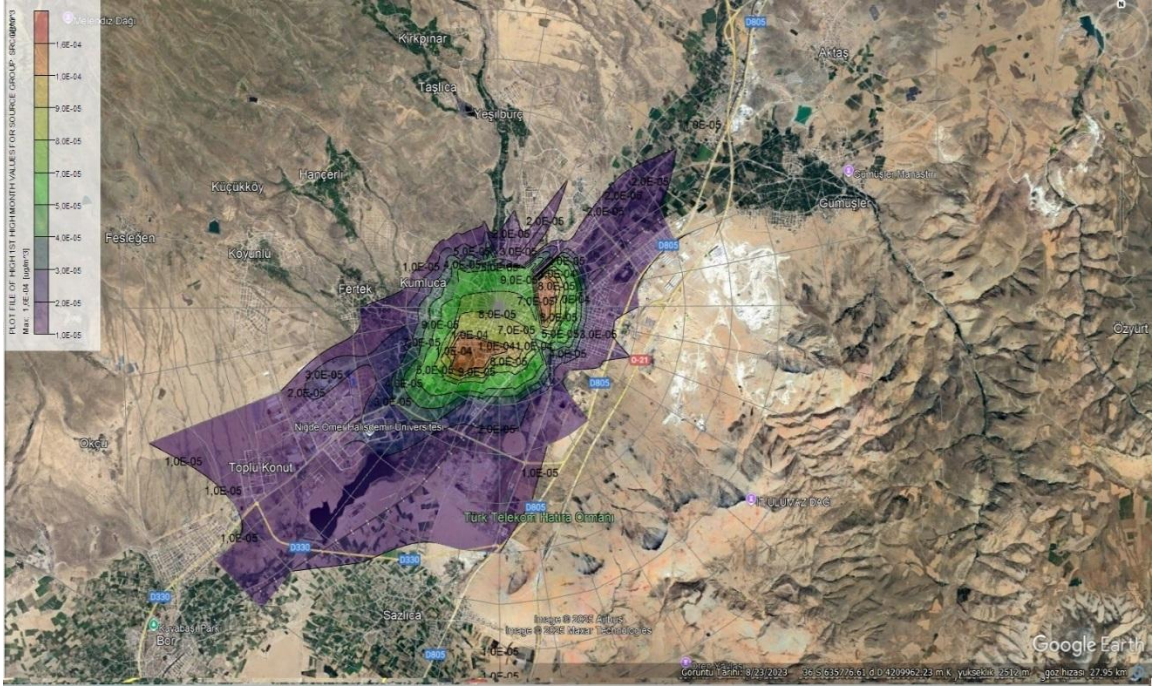
Şekil 6.61. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



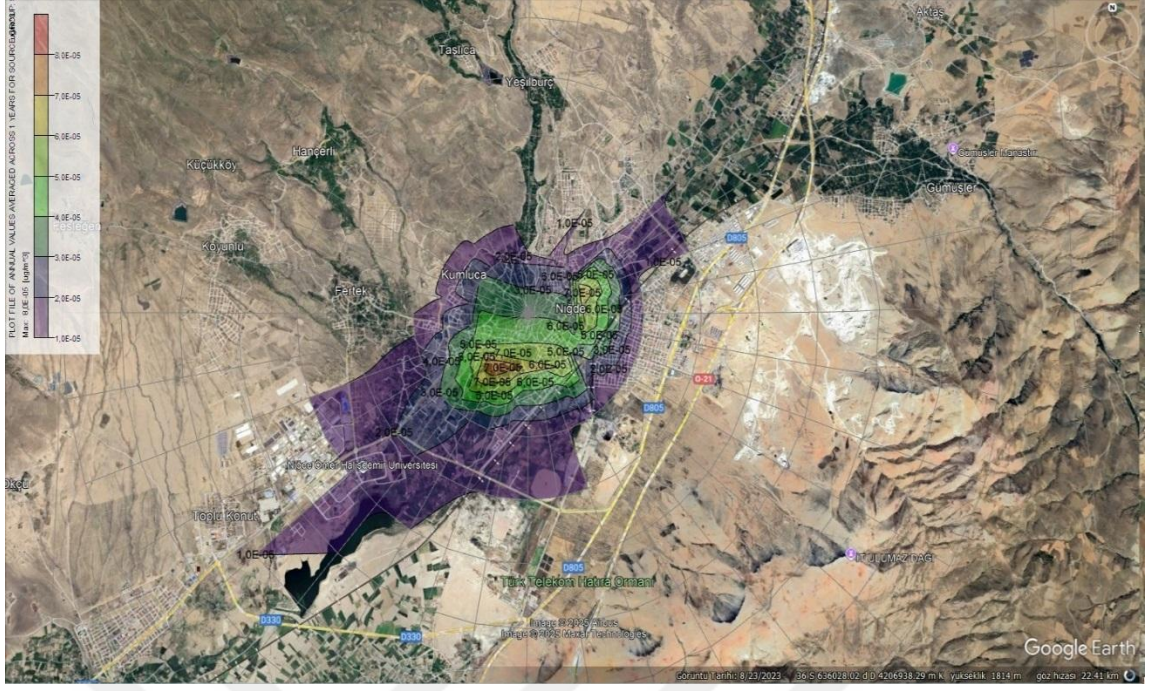
Şekil 6.62. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.63. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



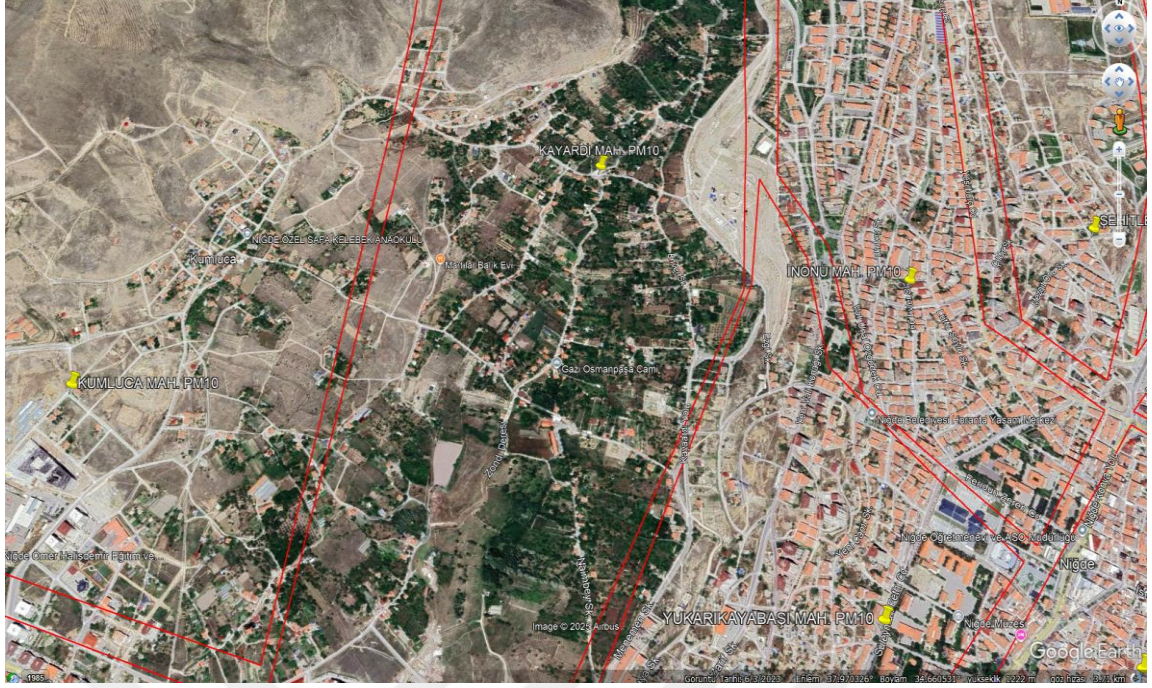
Şekil 6.64. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



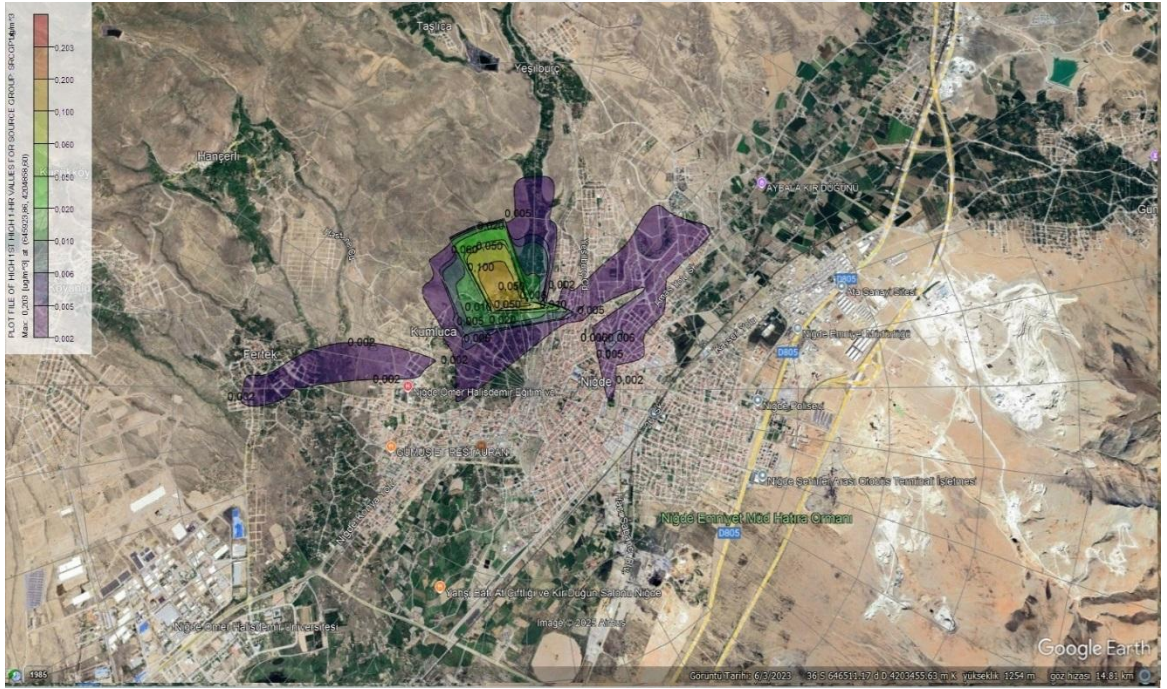
Şekil 6.65. Yukarıkayabaşı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Kayardı Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 646025.65 / 4204831.58'dır. Kayardı Mahallesi PM10 ölçüm sonucu $40,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkmıştır. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 0-50 aralığında olduğu için indeks İYİ sonucuna varılmıştır.

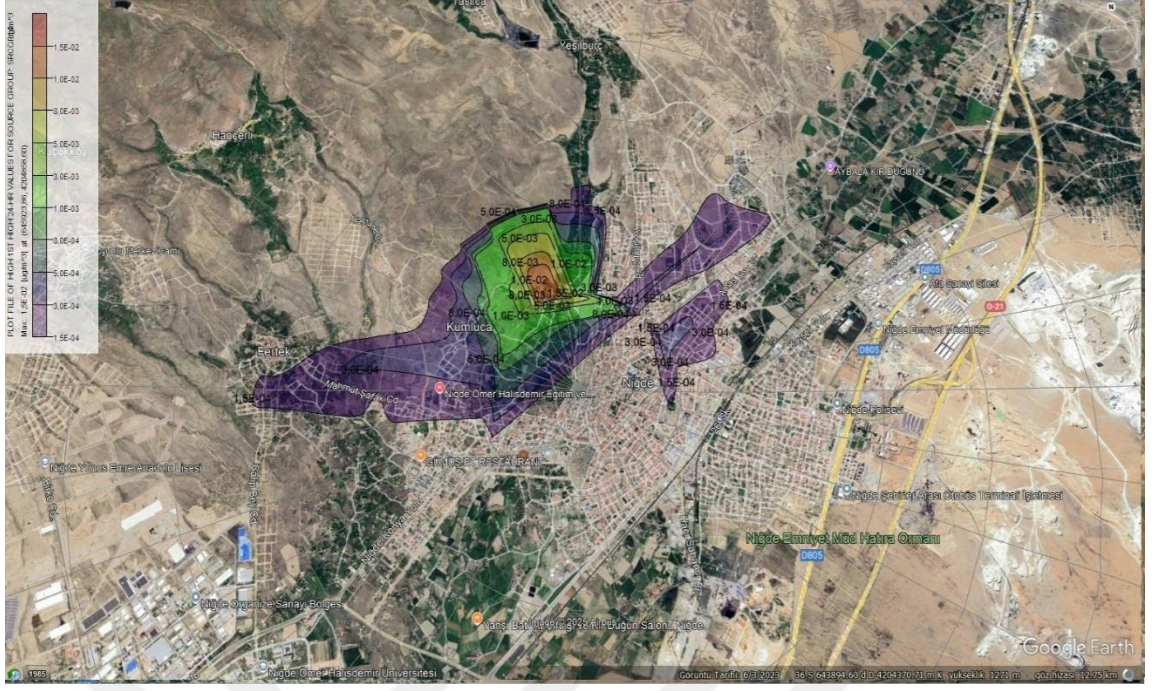
Kayardı Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.66-6.70'te verilmiştir.



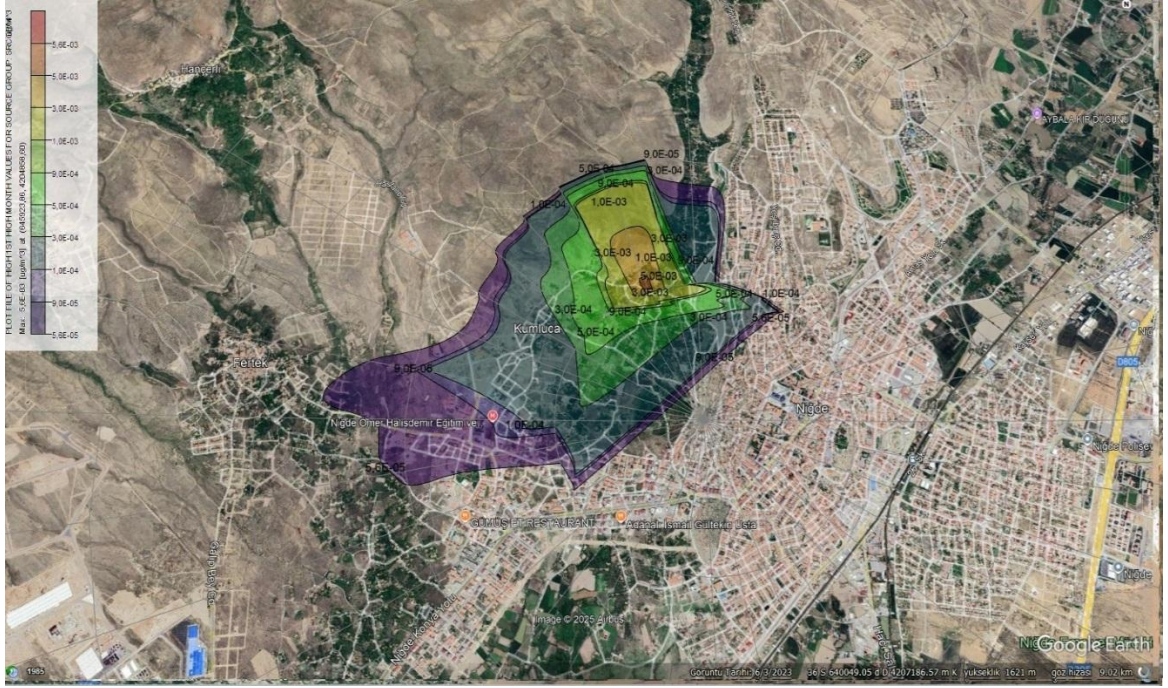
Şekil 6.66. Kayardı Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



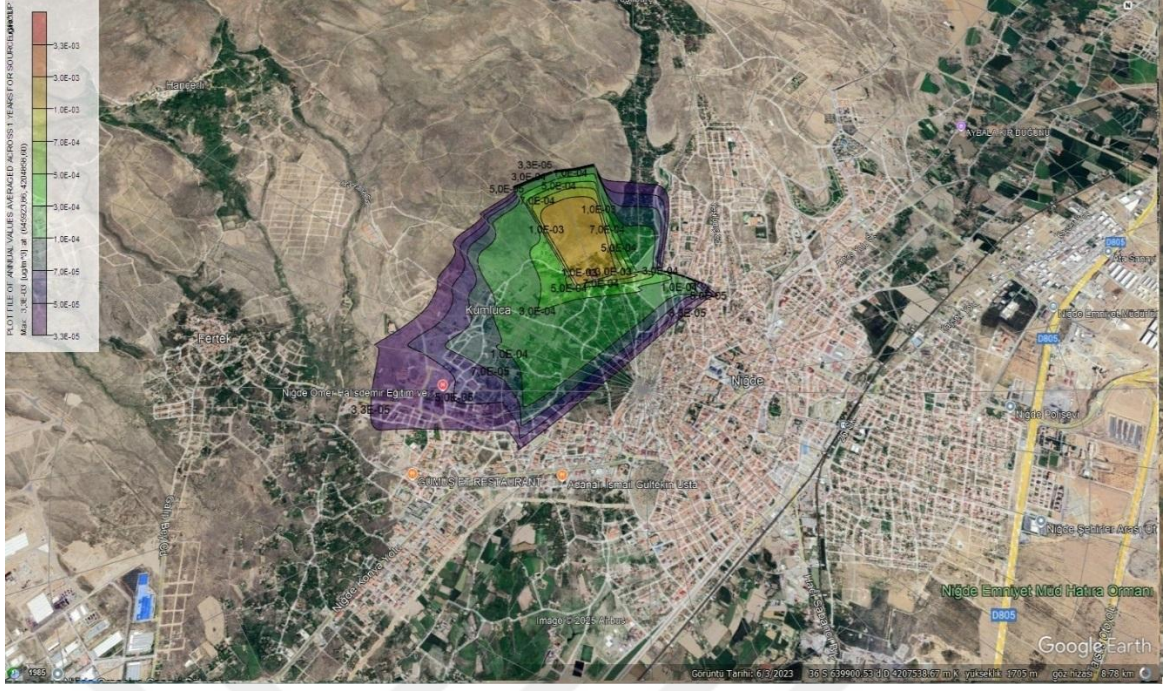
Şekil 6.67. Kayardı Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.68. Kayardı Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



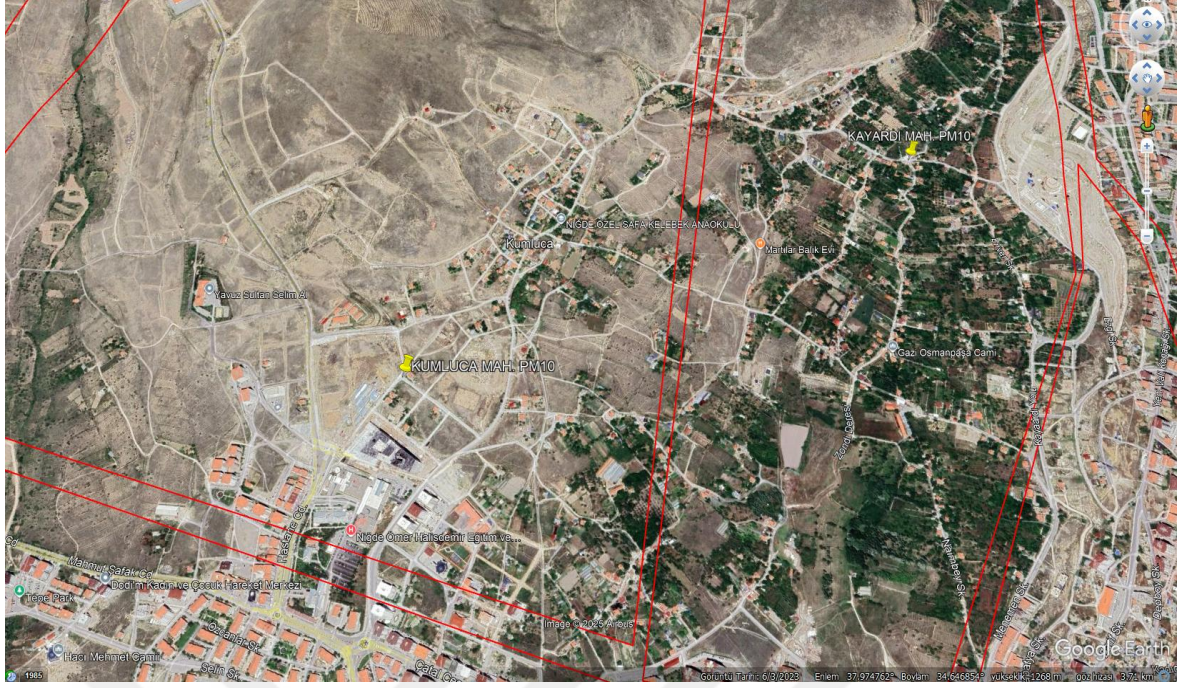
Şekil 6.69. Kayardı Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



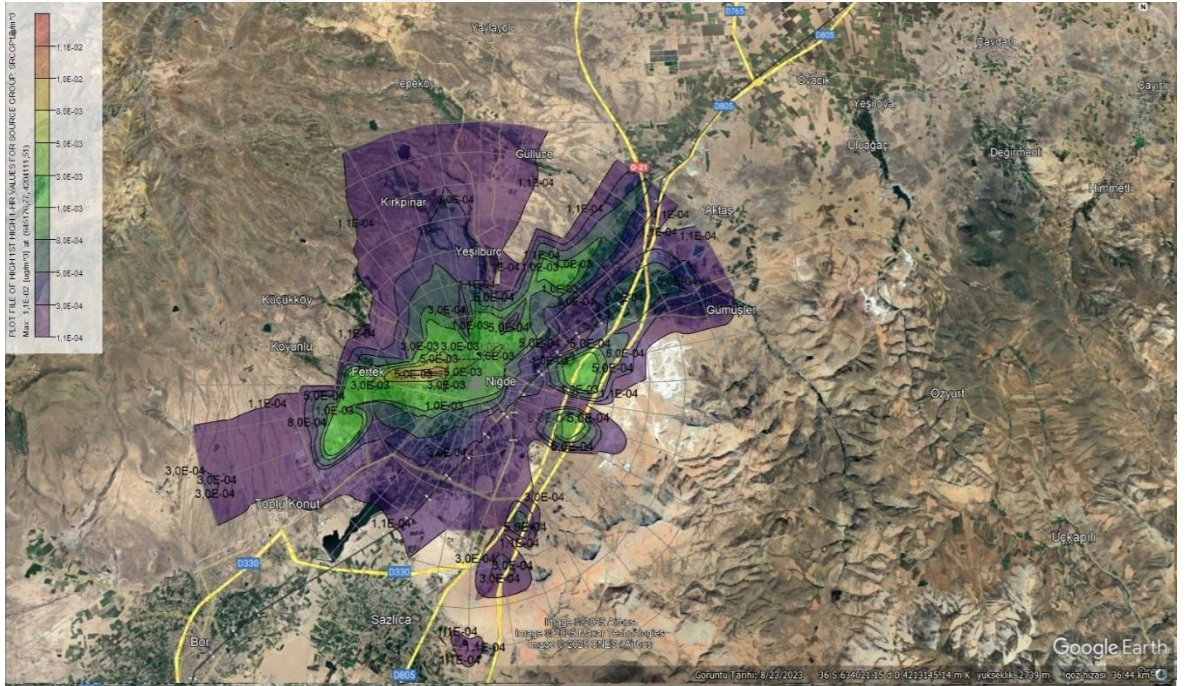
Şekil 6.70. Kayardı Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

Kumluca Mahallesi PM10 ölçüm noktası koordinatları 644634.70 / 4204084.99'dır. Kumluca Mahallesi PM10 konsantrasyonu $41,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. HKİ'ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 0-50 aralığında olduğu için indeks İYİ sonucuna varılmıştır.

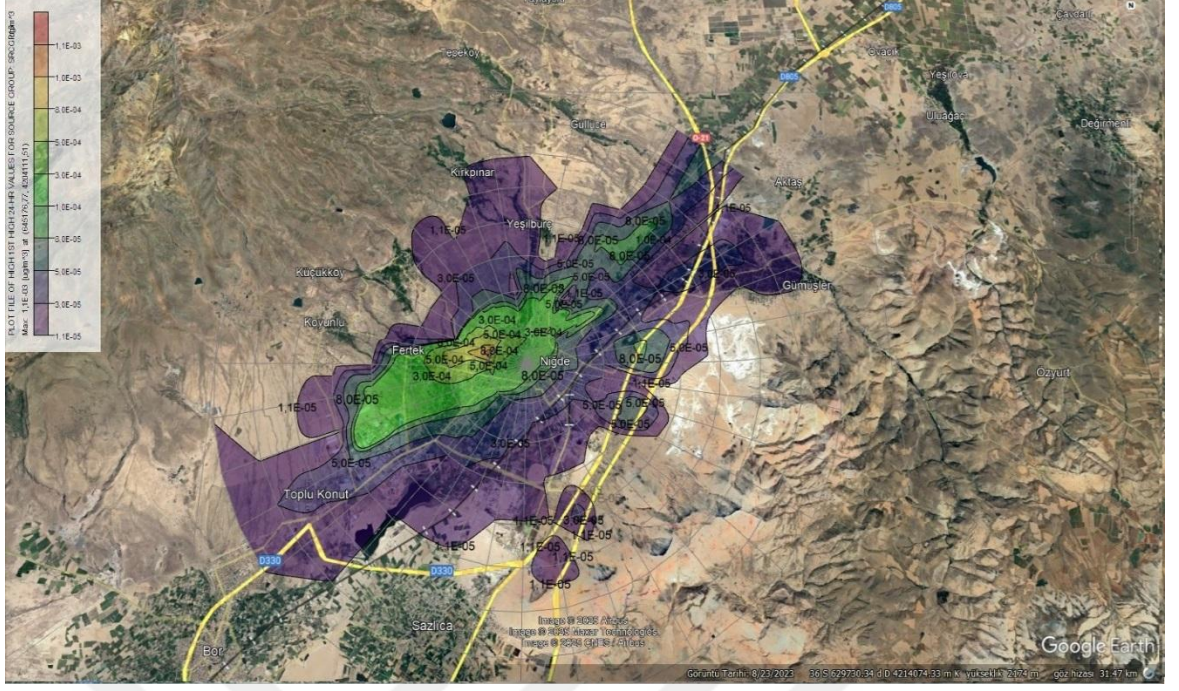
Kumluca Mahallesi PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.71-6.75'te verilmiştir.



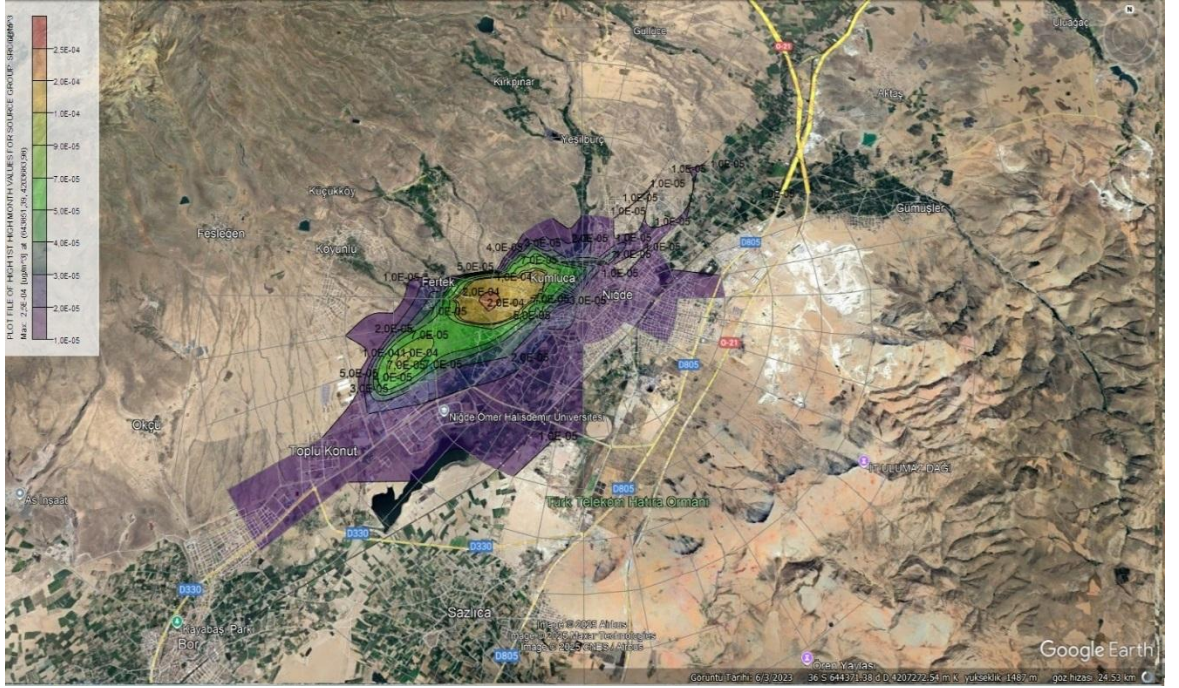
Şekil 6.71. Kumluca Mahallesi, PM10 ölçüm noktası



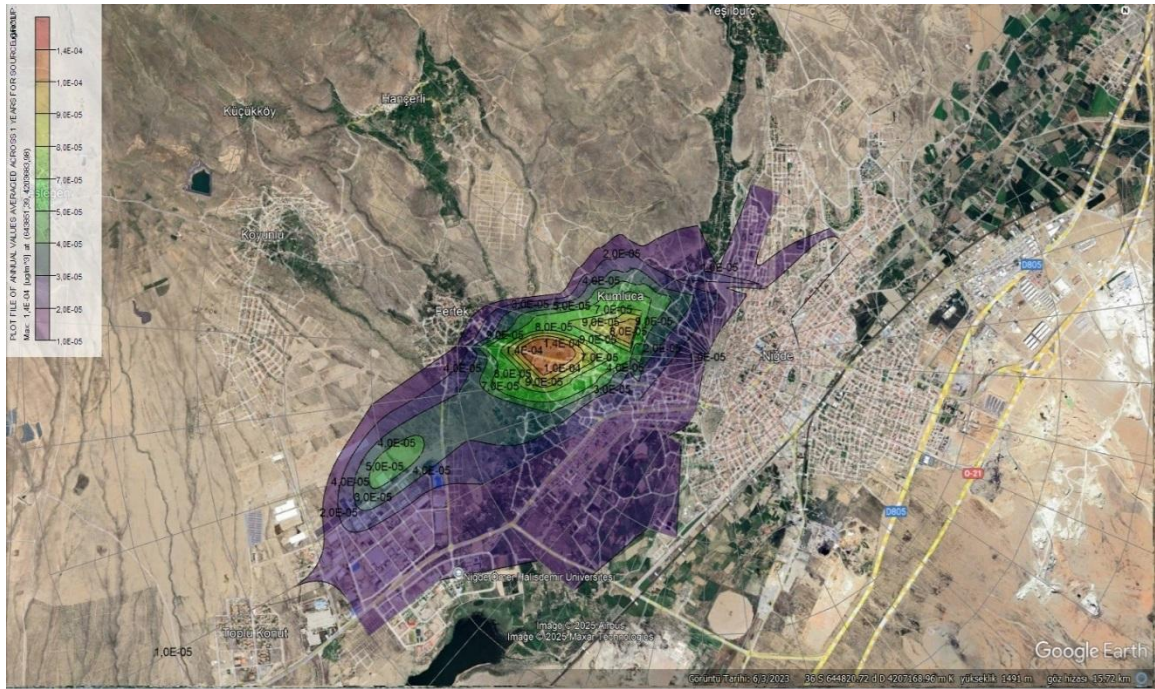
Şekil 6.72. Kumluca Mahallesi, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.73. Kumluca Mahallesi, PM10 günlük modelleme haritası



Şekil 6.74. Kumluca Mahallesi, PM10 aylık modelleme haritası



Şekil 6.75. Kumluca Mahallesi, PM10 yıllık modelleme haritası

SİM PM10 ölçüm noktası koordinatları 648058.21 / 4203647.45’dir. SİM PM10 ölçüm sonucu bir yıllık ortalaması 82,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkmıştır. HKİ’ye göre değerlendirme yapılırsa ölçüm sonucu 50-100 aralığında olduğu için indeks ORTA sonucuna varılmıştır. SİM ölçüm noktası, Fotoğraf 6.76 ve 6.77’de verilmiştir.



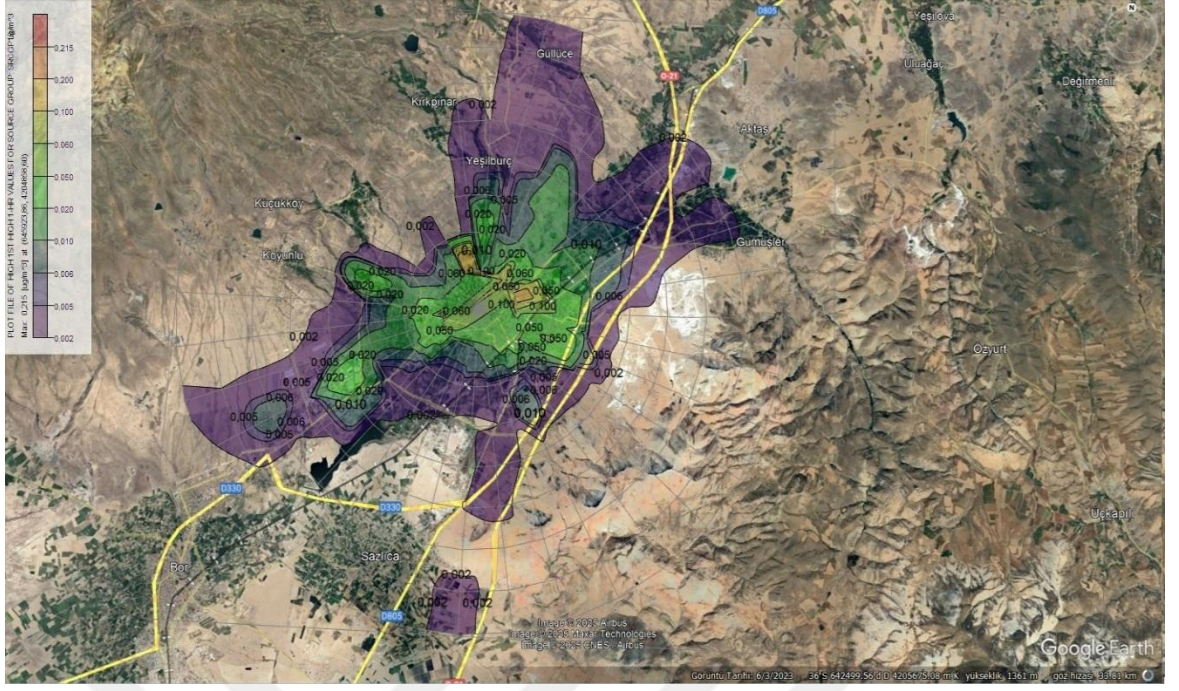
Fotoğraf 6.76. SİM, PM10 ölçüm noktası



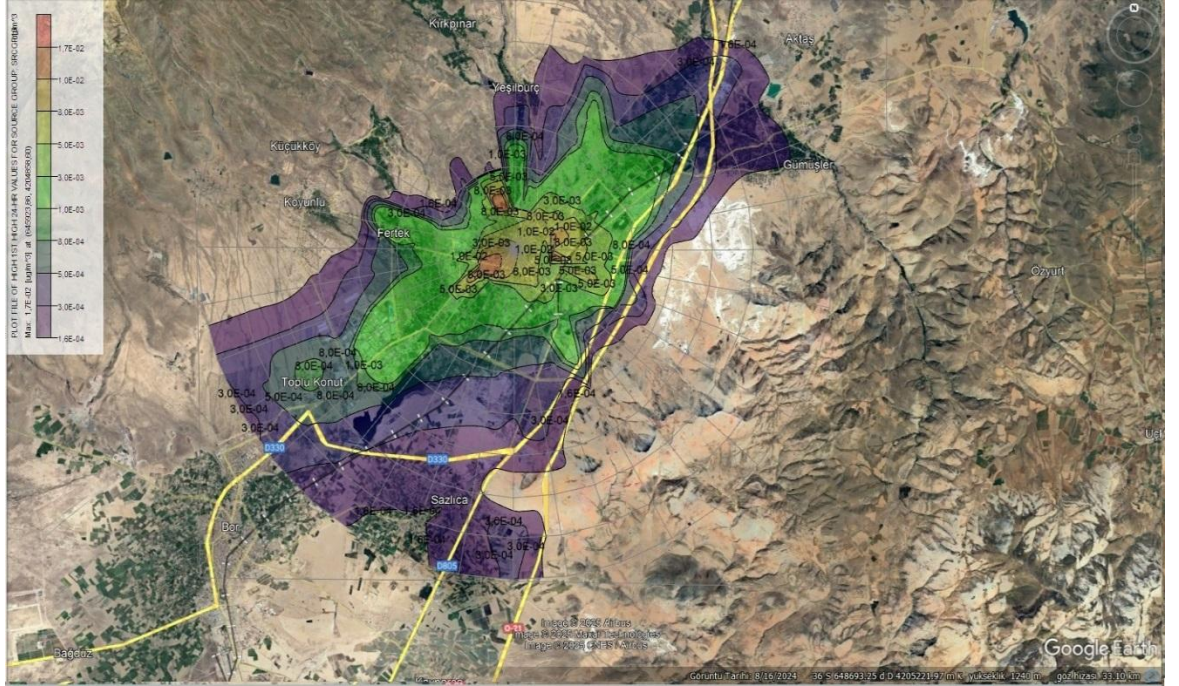
Fotoğraf 6.77. SİM, PM10 ölçüm noktası

Toplam 14 mahalle (15 ölçüm noktası), SİM (bir yıllık PM10 ölçüm sonucu) ve 2022 yılı modelleme verileri ile modelleme yapılmıştır. Niğde Merkez'in PM10 modelleme haritası çıkarılmıştır. Burada 10000 m² lik bir alan seçilmiştir. Tüm veriler AERMOD View'a işlenerek saatlik, günlük, aylık ve yıllık PM10 modelleme haritası çıkarılmıştır.

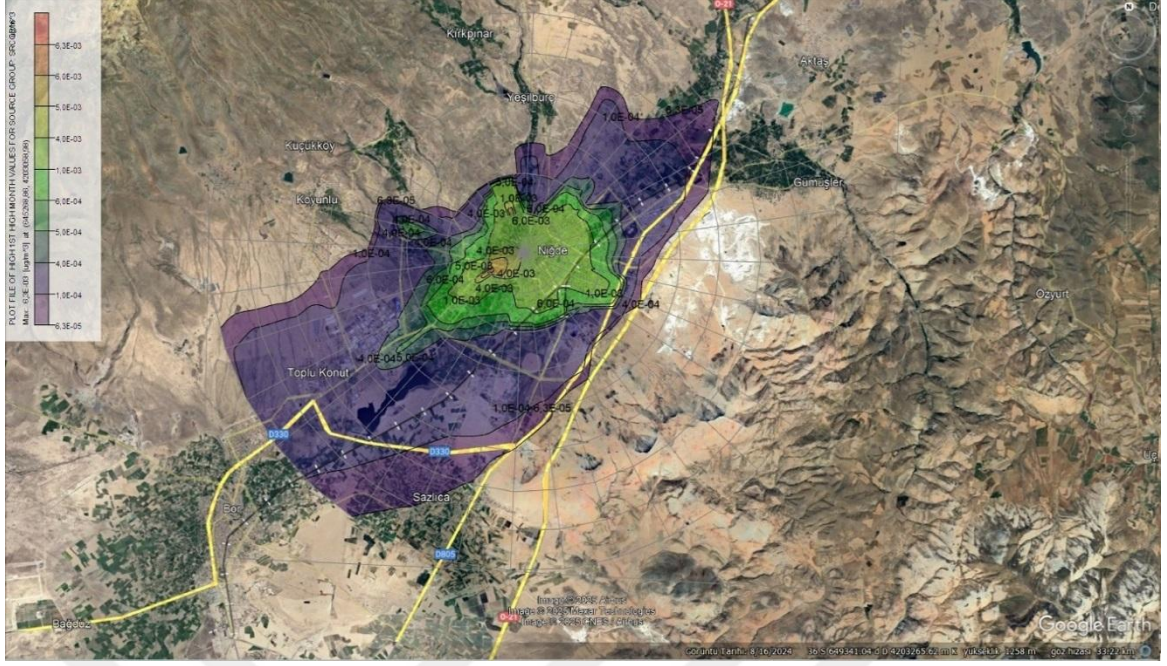
Niğde merkez PM10 ölçüm noktası modelleme sonuç haritaları saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak Şekil 6.78-6.81'de verilmiştir.



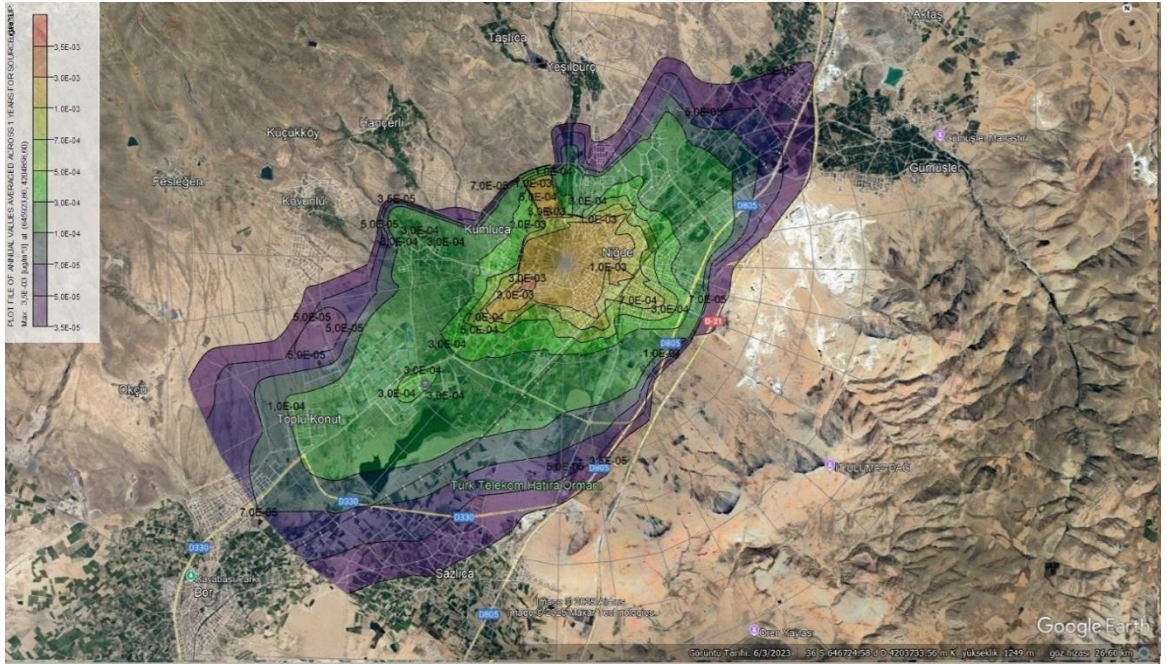
Şekil 6.78. Niğde genel, PM10 saatlik modelleme haritası



Şekil 6.79. Niğde genel, PM10 günlük modelleme haritası



Şekil 6.80. Niğde genel, PM10 aylık modelleme haritası



Şekil 6.81. Niğde genel, PM10 yıllık modelleme haritası

Niğde genel ve tüm mahalleler PM10 dağılım modellemelerine bakıldığında modelleme sonuçları, PM10 dağılımının çevre mahallelere doğru yayıldığını ve özellikle rüzgâr yönüne bağlı olarak kuzeybatı istikametinde bir dağılım eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bölgedeki hâkim rüzgâr yönü ve topografik yapının etkisiyle, PM10

konsantrasyonlarının en yoğun olduğu alanlardan başlayarak kuzeybatıya doğru seyrelerek dağıldığı tespit edilmiştir. Bu durum, hava kirliliğinin mahalleler arasındaki mekânsal farklılıklarını ve rüzgârın dispersiyon sürecindeki etkisini vurgulamaktadır.

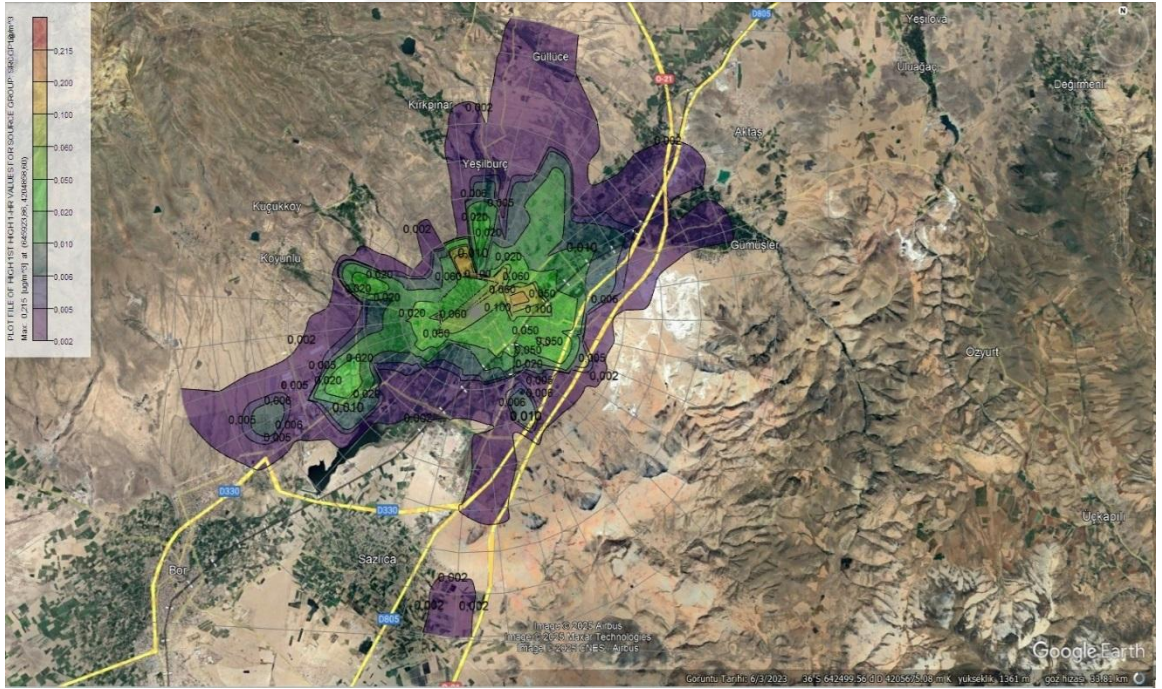


BÖLÜM VII

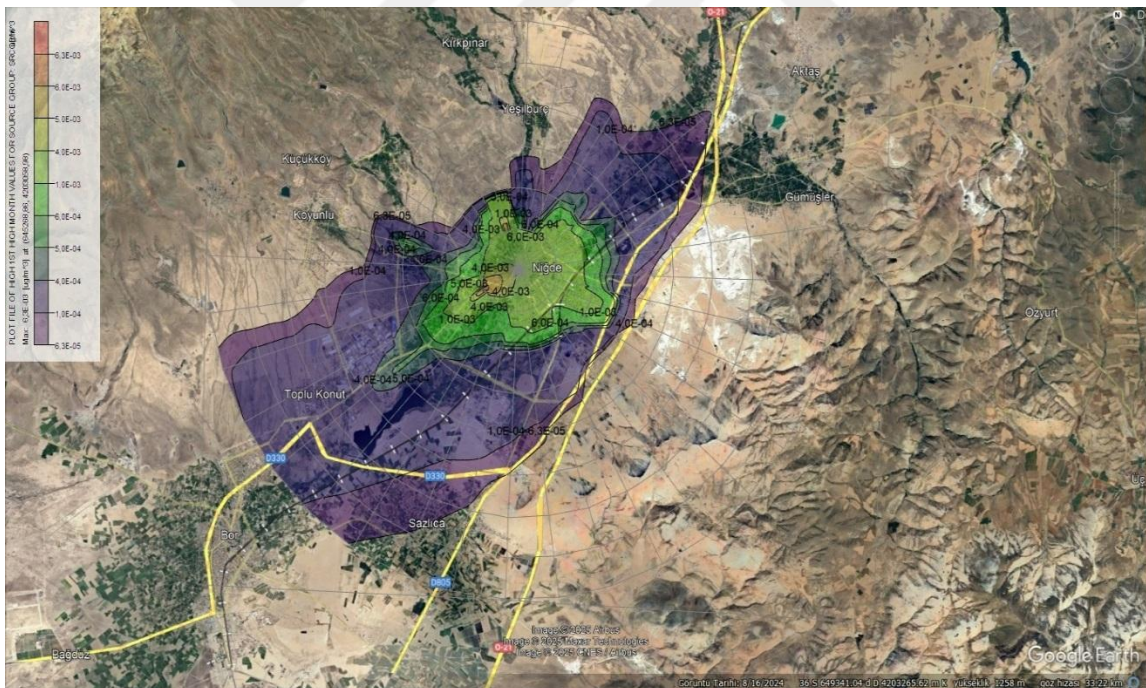
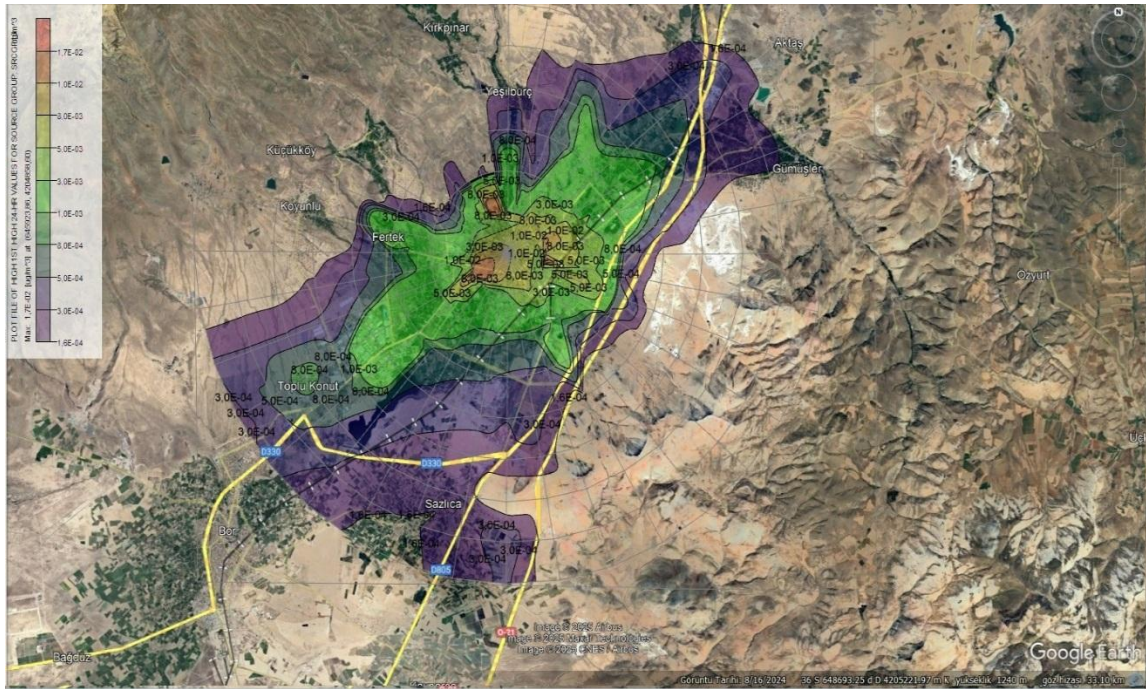
SONUÇ VE ÖNERİLER

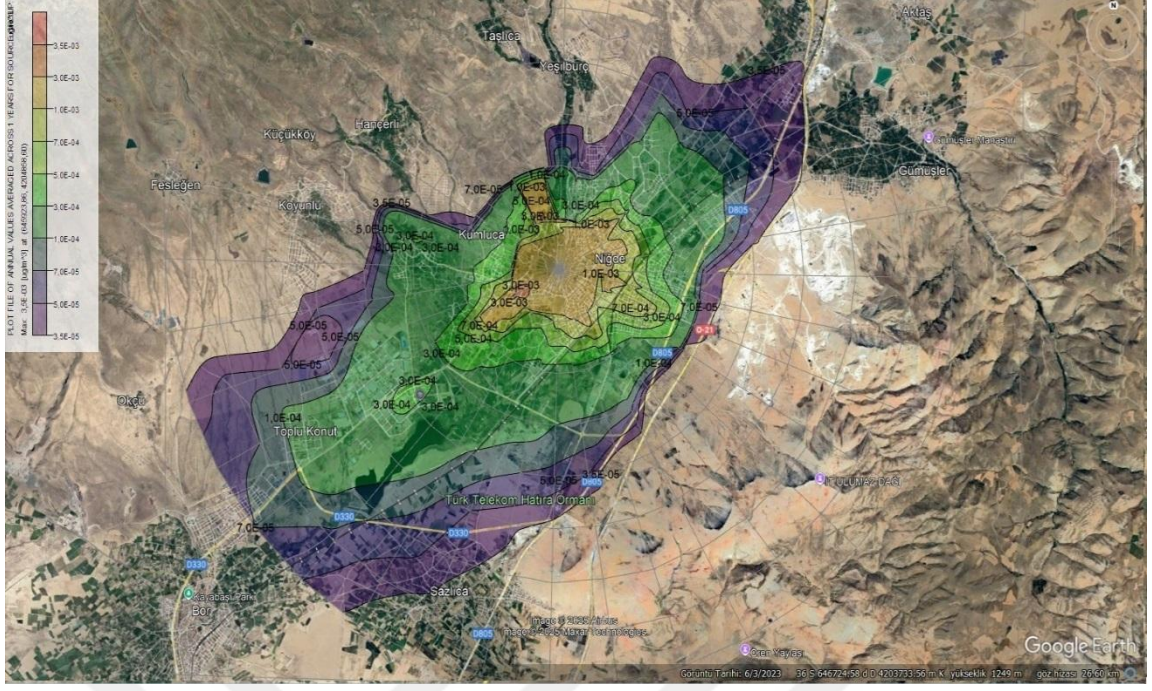
Bu yüksek lisans tez çalışmasında Niğde merkez tüm mahallelerde Epa40 CFR 50 Metodu uygulanarak PM10 ölçümü yapılmıştır. Meteorolojik veri için resmi yayınlanan en güncel hali 2022 yılı verileri olduğundan o yılın verileri kullanılmıştır. Ayrıca SİM PM10 ölçüm sonuçlarının bir yıllık verisi kullanılmıştır.

AERMOD View Hava Kalitesi Modelleme programı kullanılarak Niğde merkez 14 mahalle (16 ölçüm yeri) ve tüm Niğde'nin ayrı ayrı saatlik, günlük, aylık ve yıllık PM10 modelleme haritası yapılmıştır (Şekil 7.1-7.4).



Şekil 7.1. Niğde genel, PM10 saatlik modelleme haritası





Şekil 7.4. Niğde genel, PM10 yıllık modelleme haritası

Niğde, genel olarak tarıma dayalı bir kenttir. Kent son yıllarda sanayileşme ile göç almış, nüfus çoğalmış, bu durum araç ve fabrika sayısını, ısınmadan kaynaklı emisyonlar ve buna bağlı olarak hava kirliliğini artırmıştır.

Niğde merkez mahallelerinde genel olarak ısınmada doğalgaz kullanılmaktadır. Ancak, Nar ve İlhanlı Mahallesi gibi daha dış mahallelerde fosil yakıt kullanılmaktadır. Ayrıca kalsit madenciliğinin şehir merkezine özellikle Nar ve İlhanlı Mahallelerine yakın olması da PM10 konsantrasyonunu etkilemektedir.

PM10 modelleme haritaları üzerinden değerlendirme yapılırsa, kuzey-doğu istikametinde (rüzgâr yönü) yayılım gösterdiği, Niğde Merkez Aşağıkayabaşı ve Sarıköprü Mahallelerinde yoğunlaştığı ve daha dış mahallelerde PM10 konsantrasyonunun daha az olduğu görülmüştür.

PM10 derişiminin en az ve hava kalitesinin en iyi olduğu yerlerin, Fertek, Kayardı ve Kumluca Mahallesi olduğu bulunmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, şehir merkezinde hava kirliliğinin mahallelere göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek PM10 konsantrasyonunun Aşağıkayabaşı

Mahallesi'nde, en düşük konsantrasyonların ise Fertek ve Kumluca Mahallelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Aşağıkayabaşı Mahallesi'nde PM10 konsantrasyonlarının yüksek olmasının temel nedenleri arasında yoğun trafik, sanayi faaliyetleri ve topografik koşullar yer almaktadır. Aşağıkayabaşı Mahallesi'nde yoğun nüfus ve araç trafiğinin bulunması, kirlletici emisyonların havada uzun süre asılı kalmasına neden olmuştur. Buna karşın, Fertek ve Kumluca Mahallelerinde hava kirliliğinin düşük olmasının başlıca sebepleri arasında düşük nüfus yoğunluğu, yeşil alanların fazlalığı, rüzgar yönü ve endüstriyel faaliyetlerin azlığı yer almaktadır.

Dünya genelinde hava kirliliği, özellikle sanayileşmiş ve yoğun nüfuslu şehirlerde büyük bir çevresel ve halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. PM10'un yüksek seviyelerde olması solunum yolu hastalıkları, kalp hastalıkları ve diğer sağlık sorunlarına neden olmaktadır. AB ve ABD gibi gelişmiş ülkelerde hava kalitesini iyileştirmek amacıyla sıkı düzenlemeler uygulanırken, gelişmekte olan ülkelerde bu konuda halen büyük açıklar bulunmaktadır.

Türkiye özelinde bakıldığında, büyükşehirlerde hava kirliliği ile mücadele konusunda çeşitli çalışmalar yürütülse de orta ölçekli şehirler ve kırsal alanlarda yeterli izleme ve kontrol mekanizmaları bulunmamaktadır. Niğde gibi metropol olmayan ve nüfusu az şehirlerde yapılan bu tür çalışmalar, Türkiye genelindeki hava kalitesi yönetimi için önemli veriler sağlayarak kirliliğin bölgesel dağılımını anlamaya yardımcı olmaktadır.

Bu çalışma, Niğde ili özelinde PM10 konsantrasyonlarının mekânsal dağılımını detaylı bir şekilde analiz ederek, yerel ölçekte hava kirliliği değerlendirmesi konusunda önemli bilgiler sunmuştur. Özellikle AERMOD modeli kullanılarak yapılan analizler, kirliliğin hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu belirleme açısından önemli bir metodolojik katkı sağlamaktadır.

Türkiye'de AERMOD modeli kullanılarak yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, farklı şehirlerde sanayi bölgeleri ve kentsel alanlarda hava kirliliğinin modellenmesine yönelik araştırmaların yapıldığı görülmektedir.

Denizli OSB'de yapılan bir çalışmada, sanayi tesislerinden kaynaklanan PM10 emisyonları AERMOD modeli ile değerlendirilmiş ve kirliliğin atmosferdeki dağılımı incelenmiştir. Bu çalışmada bazı kabuller yaparak emisyon değerleri hesaplanmış ve SİM verileri ile karşılaştırılmıştır. Denizli OSB'de faaliyet gösteren sanayi tesislerinde kömür ve doğalgaz kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan NO₂, SO₂ ve PM10 emisyonlarının atmosferdeki dağılımı incelenmiştir. Hava kirliliği kontrol önlemlerinin etkisini değerlendirmek amacıyla AERMOD dağılım modeli kullanılarak üç farklı senaryo oluşturulmuştur.

- Senaryo 1: Hava kirliliği kontrol sistemlerinin bulunmadığı durum.
- Senaryo 2: Sanayi tesislerinin tamamının doğalgaz kullanması durumu.
- Senaryo 3: Hava kirliliği kontrol sistemlerinin aktif olarak kullanıldığı durum.

Modelleme sonuçlarına göre, Senaryo 1'de hesaplanan en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonlar NO₂ için 39 µg/m³, SO₂ için 176 µg/m³ ve PM10 için 291 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Senaryo 2'de bu değerler sırasıyla 32 µg/m³, 0,07 µg/m³ ve 0,9 µg/m³, Senaryo 3'te ise 24 µg/m³, 88 µg/m³ ve 3,8 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Saatlik ortalama en yüksek emisyon konsantrasyonları incelendiğinde:

- Senaryo 1 için NO₂ 964 µg/m³, SO₂ 4.784 µg/m³ ve PM10 7.932 µg/m³,
- Senaryo 2 için NO₂ 799 µg/m³, SO₂ 1,7 µg/m³ ve PM10 22 µg/m³,
- Senaryo 3 için NO₂ 604 µg/m³, SO₂ 2.393 µg/m³ ve PM10 99 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca 24 saatlik PM10 konsantrasyonları, Senaryo 1'de 7.767 µg/m³, Senaryo 2'de 20 µg/m³ ve Senaryo 3'te 97 µg/m³ olarak belirlenmiştir.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY) sınır değerleriyle kıyaslandığında;

- Senaryo 2, tüm kirleticiler için sınır değerleri karşılamaktadır.
- Senaryo 1'de, SO₂ ve PM10 konsantrasyonları yönetmelikte belirtilen sınırların üzerinde olup, NO₂ ise sınır değerin altında kalmaktadır.

- Senaryo 3'te, SO₂ konsantrasyonları hala sınır değerleri aşarken, NO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonları yönetmelikte belirtilen limitler içinde kalmıştır.

AERMOD modeliyle elde edilen SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarının, Denizli'deki hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen değerlerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Batkan, 2019).

Tezde Niğde Kale Mahallesi'nde AERMOD Modeli ile bulunan PM₁₀ konsantrasyonu, Niğde'de SİM'de ölçülen PM₁₀ konsantrasyonu ile hemen hemen aynı değerde bulunmuştur. Bu, tezin doğruluğunu kanıtlayan bir durumdur.

Aksaray'da faaliyet gösteren bir akü geri dönüşüm tesisinden kaynaklanan CO, NO₂ ve PM₁₀ emisyonlarının çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. USEPA tarafından onaylanmış olan AERMOD View yazılımı kullanılarak modelleme çalışması kapsamında iki farklı senaryo geliştirilmiştir. Birinci senaryoda, mevcut baca yüksekliği, emisyon hızı, topoğrafik yapı ve meteorolojik veriler dikkate alınarak CO, NO₂ ve PM₁₀ emisyonlarının dağılımı modellenmiştir. İkinci senaryoda ise baca yüksekliği %50 oranında azaltılmış, diğer parametreler sabit tutularak kirleticilerin atmosferdeki yayılımı yeniden hesaplanmıştır. Tesis bacasında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, tesisten kaynaklanan emisyon değerlerinin Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, her iki senaryonun sonuçları karşılaştırıldığında, akü geri dönüşüm tesisinden yayılan CO, NO₂ ve PM₁₀ emisyonlarının hava kalitesi üzerindeki etkisinin genel olarak kabul edilebilir seviyede olduğu, ancak bazı yerleşim alanlarında kirliliğin hissedilir düzeye ulaştığı gözlemlenmiştir (Boz, 2022). Bu tez çalışmasında AERMOD View yazılımı kullanılarak yapılan modelleme çalışmasında Niğde ilinin tüm mahallelerindeki PM₁₀ konsantrasyonu Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerinin (3 mg/Nm³) altında bulunmuştur.

Bu tezin özgün yönü saha, ölçüm ve laboratuvar aşamaları içermesidir. Literatürde yer alan çalışmaların çoğu bazı verileri kabul ederek, hazır verileri kullanarak PM₁₀ emisyonlarının dağılımına odaklanmaktadır. Niğde özelinde gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, sahada ölçüm yapılarak bu ölçüm verileri kullanılmış, mahalleler ölçeğinde PM₁₀ seviyeleri incelenmiş, şehrin genel hava kalitesi yönetimine yönelik

öneriler sunulmuştur; bu açılardan literatürden farklılık göstermektedir. Ayrıca, mahalle bazlı bir değerlendirme yapılması, yerel yönetimlerin hava kirliliğini azaltmaya yönelik politikalar geliştirmesine daha fazla katkı sağlayabilir.

Bu çalışma, Niğde ili özelinde PM10 konsantrasyonlarının mekânsal dağılımını detaylı bir şekilde analiz ederek, yerel ölçekte hava kirliliği yönetimi konusunda önemli bilgiler sunmuştur. Özellikle AERMOD View modeli kullanılarak yapılan analizler, kirliliğin hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu belirleme açısından önemli bir metodolojik katkı sağlamaktadır.

Niğde’de nüfusun, endüstri tesislerinin, taşıt sayısının ve fosil yakıt kullanımının az olması PM10 ölçüm değerlerinin düşük çıkmasında etkindir. Bu nedenle PM10 ölçüm değerlerinin düşük çıktığı düşünülmektedir. Ayrıca SİM bir yıllık ölçüm ortalaması $82,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkmıştır. Bu ölçüm istasyonu Kale Mahallesi’nde yer almaktadır. Kale Mahallesi’ni temsilen seçilen ölçüm noktasında ise ölçüm değeri $82,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkmıştır. Bu iki sonuç karşılaştırıldığında çok az bir fark olduğu görülmektedir. Bu durum, sahada yapılan ölçümlerin ve laboratuvarda yapılan analiz değerlerinin doğruluğuna işaret etmektedir.

Tezde elde edilen bulgular ışığında, yerel yönetimlerin hava kalitesi iyileştirmesi ve halk sağlığını korumaya yönelik stratejiler geliştirmesi için şu öneriler sunulabilir:

- (i) İzleme ve veri toplama sistemlerinin geliştirilmesi için yeni izleme noktaları kurulabilir. Yüksek kirlilik gözlemlenen mahallelerde (örneğin Nar Mahallesi) yeni SİM’ler kurulması, hava kalitesinin daha ayrıntılı takip edilmesine olanak tanıyacaktır.
- (ii) Meteorolojik verilerle entegrasyon sağlanarak, hava kirliliğinin anlık ve mevsimsel değişimleri sürekli güncellenebilir ve kamuoyuyla paylaşılabilir.
- (iii) Sanayi ve maden sahaları, yerleşim yerlerine yakın sanayi tesisleri, maden sahaları ve OSB’lerdeki emisyonlar için sıkı denetim ve kontrol mekanizmaları uygulanmalıdır. Bu kapsamda, emisyon azaltıcı teknolojilerin kullanımı teşvik edilmelidir.

- (iv) Şehir içi ulaşımında, özellikle yoğun trafik olan bölgelerde, düşük emisyonlu araçların teşviki, toplu taşımanın desteklenmesi ve trafik akışının düzenlenmesi, PM10 kirliliğini azaltmaya katkı sağlayacaktır.
- (v) Kirliliği yüksek seviyede olduğu bölgelerde, şehir planlaması kapsamında ağaçlandırma, park ve yeşil alanların artırılması, hava kalitesini iyileştirmede doğal bir filtre görevi görecektir.
- (vi) Kirliliğin fazla olduğu bölgelerinde, hava akımını yönlendirecek doğal veya yapay bariyerlerin oluşturulması kirleticilerin yayılımını sınırlandırabilir.

Tezde ortaya konan sonuçlar, Niğde il merkezindeki mahallelerde PM10 kirliliğinin mekansal dağılımının, yerel kaynakların ve çevresel etmenlerin etkisiyle değişkenlik gösterdiğini göstermektedir. Bu veriler, yerel yönetimlerin hava kalitesini iyileştirmeye yönelik somut adımlar atabilmesi için bilimsel bir temel sunmaktadır. Özellikle sanayi ve trafik kaynaklı emisyonların azaltılması, yeşil altyapı yatırımları, izleme sistemlerinin geliştirilmesi ve halkın bilinçlendirilmesi konularında atılacak adımlar hem çevresel sürdürülebilirliği hem de halk sağlığını korumada kritik rol oynayacaktır.

Yerel yönetimlerin bu önerileri dikkate alarak kapsamlı bir hava kirliliği yönetim planı oluşturması, gelecekte benzer çevresel sorunların önüne geçilmesinde etkili olacaktır.

Bu detaylı değerlendirme, tezin bulgularının yerel yönetim perspektifinden nasıl yorumlanıp, uygulamaya konulabileceğine dair önerileri kapsamaktadır. Her bir önerinin, bölgedeki altyapı ve politikalar göz önünde bulundurularak uyarlanması, sürdürülebilir çevre yönetimi için önemli adımlardan birisidir.

Türkiye'de orta ölçekli şehirlerde hava kirliliğinin mekansal analizi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu bağlamda, bu çalışma yerel yönetimlerin ve politika yapıcıların karar alma süreçlerini destekleyerek, hava kalitesinin iyileştirilmesi için somut veriler sunmaktadır. Ayrıca, küresel literatüre katkı sağlayarak, benzer ölçeklerde yapılan araştırmalara kıyasla Niğde özelinde hava kirliliğinin dinamiklerini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma Niğde ilinin hava kalitesi ölçümlerine dair kapsamlı bir analiz sunmuş ve kirliliğin yerel ölçekte mahalle bazında nasıl değiştiğini ortaya koymuştur.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, farklı hava kirliliği parametrelerini de içerecek şekilde genişletilebilir ve uzun vadeli hava kalitesi iyileştirme stratejileri geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

Altıkat, A., Ekmekyapar Torun, F., & Turan Bayram, T. Küresel Kirlilik: Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye’de Hava Kirliliği Örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(2), 134-149, 2011.

Akdur, R., Cöl, M., Işık, A., İdil, A., Durmuşoğlu, M., Tunçbilek A. Ankara Halk Sağlığı, *Antip AŞ Tıp Kitapları ve Bilimsel Yayınlar*, s. 85-87, 1998.

Aksoy, İ.E. ‘Biyoklimatik Konfor Düzeyleri ile SO₂ ve PM₁₀’a Dayalı Hava Kalitesi Düzeyleri Arasındaki İlişkinin İklim Değişikliği Kapsamında Değerlendirilmesi: Şanlıurfa İli Örneği’ Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2024.

Alvarez-Herranz, A., Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Cantos, J.M. Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels, *Energy Policy*, 105, 386-397, 2017.

Arı, F. Başlıca Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 697-718, 2023.

Bayram, H., Dörtbudak, Z., Evyapan Fişekçi, F., Kargın, M., Bülbül, B. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, Dünyada, Ülkemizde ve Bölgemizde Hava Kirliliği Sorunu” Paneli Ardından, *Dicle Tıp Dergisi*, 33, 2, 105-112, 2006.

Borge, R., Lumbreras, J., Perez, J., de la Paz, D., Vedrenne, M. ‘Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans’, *Application to Madrid (Spain) Science of the Total Environment*, 466, 809-819, 2014.

Batkan, E.A. ‘Denizli Organize Sanayi Bölgesi’nin Hava Kalitesine Katkısının Aermod Dağılım Modeli ile Belirlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.

Boz, K. ‘Bir Akü Geri Dönüşüm Tesisinden Kaynaklanan Emisyonların Çevresel Etki Alanlarının Aermod Hava Kalitesi Dağılım Modellemesi ile Belirlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2022.

Çakır Sümer, G. Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye’de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi, **International Journal of Economic and Administrative Studies**, 7, 13, 37-56, 2014.

Çoban, O., Şahbaz Kılınç Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi: TR Örneği, **Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 38, 195-208, 2015.

Çobanoğlu Z. ‘Hava kirliliği’, Ankara. **Özkan Matbaacılık**, s. 2-154, 2000.

Demirbaş, M., Aydın, R. 21. Yüzyılın En Büyük Tehdidi: Küresel İklim Değişikliği. **Ecological Life Sciences**, 15(4), 163-179, 2020.

dos Santos C.J., de Albuquerque, H.N., de Assis Salviano de Sousa, F. Atmospheric pollutants: modeling with Aermod software. **Air Qual Atmos Health** 12, 21–32, 2019.

Drraijers, G.P.J., Hulskotte, J.H.J. A literature study of some anthropogenic and natural sources of particulate matter in the atmosphere. TNO Report. **National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)**, 38 p., Bilthoven, the Netherlands, 1997.

Ekmekçioğlu A. ‘İstanbul Boğazı’nda gemi kaynaklı egzoz emisyonlarının hesaplanması ve hava kalitesine etkisinin Aermod Dispersiyon Modeli ile belirlenmesi’ Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2024.

Elbir T, Muezzinoglu A, Bayram A. ‘Evaluation of some air pollution indicators in Turkey’, **Environment International**, 26, 5-10, 2000.

Ertok Onurlu, M., Ulaş, M. AB Ülkeleri için Tarımsal Üretim ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişkinin Heterojen Panel Nedensellik Analizi, Proceeding Book of **ICOAEF VIII International Conference on Applied Economics and Finance & Extended with Social Sciences**, 181-193, December 4-5, 2021.

Eslamidoost, Z., Samaei, M.R., Hashemi, H., Baghapour, M.A., Arabzadeh, M., Dehghani, S., Rajabi, S. Assessment of air quality using AERMOD modeling: a case study in the Middle East. *Environmental Monitoring and Assessment* 195, 1272, 2023.

Gayretli, C., P., Çağlayan, Ç., Gümüsel, D., Milli, E., Varol, G., Yavuz, M., Yay, O.D. ‘Kara Rapor 2024 Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri’, *Temiz Hava Hakkı Platformu*, 111, 2024.

Glazener, A., Khreis, H. Transforming Our Cities: Best Practices Towards Clean Air and Active Transportation. *Current Environmental Health Reports* 6, 22-37, 2019.

Gündüz, İ.O., Yakar, S. Avrupa Birliği ve Türkiye’de Elektrikli Otomobillere Yönelik Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi, *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29, 4, 204-222, 2020.

Güler, Ç., Vaizoğlu, S.A. ‘Halk Sağlığı Temel Bilgiler’, *Hacettepe Yayınları*, s. 540-555, 2006.

Güler A. and Önder A.Ö. ‘Spatial Effects of Electricity Consumption on Air Pollution in Türkiye at Provincial Level’, *International Econometric Review (IER)*, 16, 2, 107-127, 2024.

Güngör, B.G., Benzeyen, T. Biolearn-BSB142 Karadeniz Havzasında Değerli Sulak Alanlardaki Kirliliği Durdurmak için Çevre Dostu Fikirler Çevre Kirliliği Eğitim Kitapçığı, 37, *Avrupa Birliği*, 2021.

Hopur, B., Güneş Yılmaz, A., Beyazoğlu, O., Yavuz, E. Doğanın Şehirdeki Ayak İzleri: Kentsel Isı Adası Etkilerini Azaltmada Ağaçlandırma Çalışmalarının Rolü. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 1(Özel), 253-269, 2014.

Ibadullayeva, J., Jumaniyazova, K., Azimzadeh, S., Canigür, S., Esen, F. Çevre Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi*, 1(3), 52-58, 2019.

İlkılıç, C., Behçet, R. Hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri. **Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları**, 5, 1, 66-72, 2006.

Kara, M., Elbir T., Seyfioğlu, R., Bayram, A., Altıok, H., Dumanoglu, Y., Hepyücel, A. Bir Cadde-Kanyon Modeli Yardımıyla İzmir Kent Merkezindeki Bazı Caddelerde PM10 Seviyelerinin Tahmin Edilmesi. **Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008**, 22-25 Ekim 2008, Hatay-Türkiye, 2008.

Koo, Y-S, Choi, D-R, Kwon, H-Y, Jang, Y-K, Han, J-S. Improvement of PM10 prediction in East Asia using inverse modeling, **Atmospheric Environment**, 106, 318-328, 2018.

Kumar, A., Dixit, S., Varadarajan, C., Vijayan, A., Masuraha, A. Evaluation of the AERMOD dispersion model as a function of atmospheric stability for an urban area. **Environmental Progress**, 25, 2, 141-151, 2006.

Kumari, S., Jain, M.K. A Critical Review on Air Quality Index. In: Singh, V., Yadav, S., Yadava, R. (eds) Environmental Pollution. **Water Science and Technology Library**, 77. Springer, Singapore, 2018.

Kul, A. ‘ÇED Sürecinde Hava Kalitesi Dağılım Modellemesi: Bir Taş Ocağı İçin Aermod Analizi’, Yüksek Lisans Tezi, **Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2022.

Kurut, A.O. ‘Afet Bölgesinde Yer Alan Kentlerde PM10 ve SO₂ Düzeylerindeki Değişimlerin İncelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, 2024.

Martonen, T.B., Schroeter, J.D. ‘Risk assessment dosimetry model for inhaled particulate matter: I. Human subjects’, **Toxicology Letters**, 138 (1-2), 119-132, 2003.

Matacchiera, F., Manes, C., Beaven, R.P., Rees-White, T.C., Boano, F., Mønster, J., Scheutz, C. AERMOD as a Gaussian dispersion model for planning tracer gas dispersion tests for landfill methane emission quantification. **Waste Management**, 87, 924-936, 2019.

Mayda, A.S., Yılmaz, M. ‘Düzce Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 2007-2011 Yılları Arası Verilerinin Değerlendirilmesi’, **TAF Preventive Medicine Bulletin**, 12(1), 11-18, 2013.

Moshhammer, H. ve Neuberger, M. ‘The active surface of suspended particles as a predictor of lung function and pulmonary symptoms in Austrian school children’, **Atmospheric Environment**, 37, 1737-1744, 2003.

Mutlu, A. ‘Hava Kalitesi ve Meteoroloji: Korelasyon, Trend ve Epizot Analizleri’, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 9, 4, 724-741, 2019.

Özer, U., Aydın, R., Akçay, H. ‘Air pollution profile of Turkey’, **Chemistry International**, 19, 190-191, 1997.

Özgen Alemdar, Ç.S. ‘The Sources of High PM10 in Istanbul and Effect of Meteorological Conditions on High PM10 Concentrations. Master Thesis, **Marmara University Institute for Graduate Studies Studies Pure and Applied Science**, 2020.

Özkan, A. ‘İç Anadolu Bölgesinde Beş ilde PM10 ve SO₂ Parametrelerinin Değerlendirilmesi’, Yüksek Lisans Tezi, **Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2022.

Öztürk, E. ‘Antalya Limanında Sera Gazı, PM10, NO_x ve SO₂ Envanterinin Oluşturulması ve Emisyon Azaltım Uygulamaları’, Yüksek Lisans Tezi, **Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 2022.

Petrowski, K., Bühner, S., Straub, B., Decker, O., Brähler, E. ‘Examining Air Pollution (PM10), Mental Health and Well-Being in a Representative German Sample’. **Scientific Reports**, 16, 11(1): 184362021, 2021.

Pokhrel, R., Lee, H. Comparison of Gaussian Plume Model and Lagrangian Particle Model for the Application of Coastal Air Quality Modelling. ***American Journal of Environmental and Resource Economics***. 4(4): 152-158, 2019.

Snoun, H., Krichen, M., Chérif, H.A, comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future perspectives. ***Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration***, 8, 219-242, 2023.

Stein, A.F., Isakov, V., Godowitch, J., Draxler, R.R. A hybrid modeling approach to resolve pollutant concentrations in an urban area, ***Atmospheric Environment***, 41, 40, 9410-9426, 2007.

Tağıl, Ş., Menteşe, S. Zonguldak'ta Hava Kirliliği PM10 ve SO₂ ile İlişkili Olarak Seçilmiş Solunum Yolu Hastalıklarının Zamansal ve Mekânsal Değişimi. ***Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi***, 15(27), 3-18, 2012.

Taheri Shahraiyi, H., Sodoudi, S. Statistical Modeling Approaches for PM₁₀ Prediction in Urban Areas; A Review of 21st-Century Studies. ***Atmosphere***, 7(2), 15, 2016.

Tel, M. “Niğde İl Merkezinde Evsel Isınma Kaynaklı Emisyonların Aermod View Hava Kalitesi Modeli Kullanılarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Niğde, 2019.

Timonen, K.L., Pekkanen, J., Tiittanen, P., Salonen, R.O. ‘Effects of air pollution on changes in lung function induced by exercise in children with chronic respiratory symptoms’, ***Occupational and Environmental Medicine***, 59, 129-134, 2002.

Ubay, B., Bilgici, Y. Karbon fiyatlandırmasında emisyon ticaret sistemi ve önemi, ***Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*** 10, 1, 47-72, 2021.

ul Haq, A., Nadeem, Q., Farooq, A., Irfan, N., Ahmad, M., Ali, M.R. Assessment of AERMOD modeling system for application in complex terrain in Pakistan, ***Atmospheric Pollution Research***, 10, 5, 1492-1497, 2019.

Anonim, Niğde PM10 Ölçüm Verileri (Bir Yıllık), Hava Kalitesi İzleme Sistemi (Havaizleme.Gov.Tr), 25 Mart 2025.

Anonim, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı, 2023 Hava Kalitesinde PM10 ve SO₂ Ortalamaları, <https://Cevreselgostergeler.Csb.Gov.Tr/Hava-Kalitesinde-PM10-Ve-SO2-Ortalamlari-I-85734>, 25 Mart 2025a.

Anonim, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), (2025). Air Pollution and Health, <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>, 25 Mart 2025b.

Anonim, European Environment Agency (EEA). (2022). Air Quality in Europe – 2022 Report, <https://www.eea.europa.eu/publications>, 25 Mart 2025c.

Anonim, Hava Kalitesi İndeksi, <https://egethm.csb.gov.tr/hava-kalitesi-indeksi-i-87403>, 25 Mart 2025d.

Anonim, Niğde Ortalama Hava Durumu Verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=NIGDE>, 25 Mart 2025e.

Anonim, Çevre Kirliliği ve ana nedenleri, <https://cevre.mersin.bel.tr/cevre-kirliliginin-ana-nedenleri/>, 25 Mart 2025f.

Anonim, Çevre kirliliği, https://www.ankara.bel.tr/files/7414/3695/0096/1-cevrebilgisi-16_SAYFA.pdf, 25 Mart 2025g.

Anonim, Hava Kirliliği, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=47978>, 25 Mart 2025h.

Anonim, Havadaki gaz oranları, rolü ve kaynağı, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Atmosfer>, 25 Mart 2025ı.

Anonim, Hava Kirliliği ile Mücadelede Gelecek Perspektifleri, <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/hayat-bir-nefes-derinden-final.pdf>, 25 Mart 2025i.

Anonim, Hava Kalitesi İndeksi Değerleri ve Anlamı, <https://dathm.csb.gov.tr/hava-kalitesi-indeksi-i-89066>, 25 Mart 2025j.

Anonim, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı / Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı, <https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality>, 25 Mart 2025k.

Anonim, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) <https://sim.csb.gov.tr/intro/uhkia>, 25 Mart 2025l.

Anonim, Hava Kirleticiler Temel Parametreler, <https://www3.epa.gov/airquality/emissns.html>, 25 Mart 2025m.

Anonim, Hava Kalitesi İzleme Sistemi, <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20S%C4%B0STEM%20#:~:text=Ulusal%20Hava%20Kalitesi%20%C4%B0zleme%20A%C4%9F%C4%B1&text=Bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1m%C4%B1za%20ait%20olan%20adet,kalitesi%20durumunun%20raporlanmas%C4%B1%20amac%C4%B1yla%20kullan%C4%B1lmaktad%C4%B1r.>, 25 Mart 2025n.

Anonim, Hava Kalitesi Ölçüm Sistemleri, <https://www.tetrainc.com.tr/hava-kalitesi-olcum-sistemleri>, 25 Mart 2025o.

Uyanık, S. Uluslararası Yankılarıyla Enerji Politikalarında Bir Sürdürülebilirlik Deneyimi: Almanya ve Yenilenebilir Enerji, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17, 68, 1570-1584, 2018.

Yılmaz, Z., Karagözoğlu, M.B. ‘Hava Kirliliğinin (PM10 ve SO₂) ANOVA Yöntemiyle Değerlendirilmesi-Mardin (Türkiye) İli Örneği’, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 343-356, 2022.

Zencirci, S.A., Işıklı B. “Hava Kirliliği”, *Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, 2(2), 24-36, 2017.

Zengin, N. ‘Bursa Organize Sanayi Bölgelerindeki Bazı Tekstil Firmalarından Kaynaklanan CO ve NO_x Emisyonlarının Aermod ile Modellenmesiyle Kent Atmosferindeki Dağılımının Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 2019.

Zeydan, Ö., Yıldırım, Y. Zonguldak Metropoliten Bölgesinde Hava Kalitesi Modellemesi., *6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*-2015, 7-9 Ekim 2015, İzmir-Türkiye, 2015.

Zeydan, Ö. 2019 Yılında Türkiye’deki Partikül Madde (PM₁₀) Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1): 106-118, 2021.

Zhang, X., Han, L., Wei, H., Tan, X., Zhou, W., Li, W., Qian, Y. Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development, *Journal of Cleaner Production*, 346, 1-14, 2022.

Wayson, R.L., Kim, B., Fleming, G.G., Hall, C., Thrasher, T., Colligan, B., Draper, J.A. Integration of AERMOD into EDMS. University of Central Florida, John A. Volpe National Transportation Systems Center (U.S.), *CSSI, Inc.*, 7 pages, USA, 2003.

ÖZ GEÇMİŞ

***** yılında *****'de doğdu. İlk ve orta öğretimini Türkiye'nin çeşitli il ve ilçelerinde tamamladı. ***** Anadolu Lisesi'nden ***** yılında mezun oldu ve aynı sene Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü kazandı. **** yılında lisans öğretimini tamamladı. **** yılında Çevre Mühendisliği yüksek lisans programını kazandı ve **** yılında çalışma hayatına başladı. **** yılında Aksaray Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans programını tamamladı. Niğde'de çevre danışmanlık ve çevre laboratuvar üzerine ** yıldır LEV Çevre Danışmanlık şirketinde çalıştı ve halen çalışma hayatını bu şirkette yönetici ve ortak olarak sürdürmektedir.

