KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMANGAZİ KÖPRÜSÜNÜN KOCAELİ İLİ KÖRFEZ BÖLGESİNDEKİ TAŞIT KAYNAKLI EMİSYON KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

OĞUZHAN ALTUNTAŞ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMAN GAZİ KÖPRÜSÜNÜN KOCAELİ KÖRFEZ BÖLGESİNDEKİ TAŞIT KAYNAKLI EMİSYON KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

OĞUZHAN ALTUNTAŞ

Doç.Dr. Şenay ÇETİN DOĞRUPARMAK
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞULU YİĞİT
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv. .....

Prof.Dr. Aykan KARADEMİR
Jüri Üyesi, Koacaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 17.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bana taşıt kaynaklı emisyonların envanterlenmesi ve modellenmesi konusunda çalışma imkanı veren, tüm Yüksek Lisans Programı aşamalarında çalışmalarıma yön veren, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım, yardımlarını benden esirgemeyen, Sayın Doç. Dr. Şenay ÇETİN DOĞRUPARMAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Program süresince özellikle zorlandığım zamanlar da yönlendirmeleri ve motivasyonuyla bana katkı sağlayan Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Sevil VELİ'ye teşekkür ederim.

Birçok fedakarlıklarla beni bu noktalara getiren başta annem Kadriye ALTUNTAŞ ve babam Mehmet Sabri ALTUNAŞ olmak üzere, hayatımda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz – 2019 Oğuzhan ALTUNTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 3
1.1. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar 3
1.2. Dünya'da Yapılan Çalışmalar 5
2. MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN EMİSYONLAR 8
2.1. SO_2 9
2.2. CO_2 10
2.3. PM 11
2.4. NO_X 12
2.5. CO 14
2.6. NMVOC 16
3. HAVA KALİTESİ DAĞILIM MODELLERİ 17
3.1. Modelleme Yöntemleri 17
3.1.1. Kutu (Box) modellemesi 17
3.1.2. Lagrangian modellemesi 20
3.1.3. Eularian modelleme 21
3.1.4. Gauss modellemesi 21
3.2. Çeşitli Hava Kalitesi Dağılım Modelleri 23
3.2.1. AERMOD 23
3.2.1.1. AERMOD giriş verileri 24
3.2.1.2. AERMOD view ana ekran ve buton açılımları 26
4. MATERYAL METOD 28
4.1. Çalışma Alanı 28
4.2. Yöntem 30
4.2.1. Tier yaklaşımları 30
4.2.1.1. Tier 1 metodu 31
4.2.1.2. Tier 2 metodu 34
4.2.1.3. Tier 3 metodu 35
4.2.2. Modelleme kullanımı 37
5. BULGULAR 43
5.1. Envanter Çalışması Bulguları 43
5.2. Modelleme Bulguları 45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 70
KAYNAKLAR 73
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 77
ÖZGEÇMİŞ 78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Basit kutu modellemesi....18
Şekil 3.2. AERMOD modelleme programının akış diyagramı....25
Şekil 3.3. AERMOD kullanıcı arayüzü ekranı....26
Şekil 4.1. Çalışma alanı....28
Şekil 4.2. Egzoz emisyonları için karar ağacı....30
Şekil 4.3. Tier 3 metodolojisinin akış şeması....36
Şekil 4.4. Yeni proje oluşturulması....37
Şekil 4.5. Koordinat sistemi tercih ekranı....37
Şekil 4.6. Manuel kootdinat girme ekranı....38
Şekil 4.7. Haritanın oluşturulması....38
Şekil 4.8. Alıcı noktalarının belirlenmesi ekranı....39
Şekil 4.9. Meteorolojik veri girdisi ekranı....39
Şekil 4.10. 2015 yılı için rüzgar gülü....40
Şekil 4.11. 2017 yılı için rüzgar gülü....40
Şekil 4.12. Emisyon kaynakları girdisi ekranı....41
Şekil 4.13. Model çalıştırma ekranı....41
Şekil 4.14. Çıktı dosyaları oluşturma ekranı 1....42
Şekil 4.15. Çıktı dosylarası oluşturma ekranı 2....42
Şekil 5.1. 2015 ve 2017 yılı toplam emisyon miktarlarının karşılaştırılması....43
Şekil 5.2. 2015 ve 2017 yılı D-100 emisyon miktarları karşılaştırması....44
Şekil 5.3. 2015 ve 2017 yılı Otoyol emisyon miktarlarının karşılaştırması....44
Şekil 5.4. 2015 ve 2017 taşıt sayılarının karşılaştırılması....45
Şekil 5.5.a. 2015 yılı saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....49
Şekil 5.5.b. 2017 yılı saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....49
Şekil 5.6.a. 2015 yılı 24 saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....50
Şekil 5.6.b. 2017 yılı 24 saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....50
Şekil 5.7.a. 2015 yılı yıllık SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....51
Şekil 5.7.b. 2017 yılı yıllık SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....51
Şekil 5.8.a. 2015 yılı saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....52
Şekil 5.8.b. 2017 yılı saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....53
Şekil 5.9.a. 2015 yılı 24 saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....53
Şekil 5.9.b. 2017 yılı 24 saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....54
Şekil 5.10.a. 2015 yılı yıllık CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....54
Şekil 5.10.b. 2017 yılı yıllık CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı....55
Şekil 5.11.a. 2015 yılı saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı....56
Şekil 5.11.b. 2017 yılı saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı....56
Şekil 5.12.a. 2015 yılı 24 saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı....57
Şekil 5.12.b. 2017 yılı 24 saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı....57
Şekil 5.13.a. 2015 yılı yıllık PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı....58
Şekil 5.13.b. 2017 yılı yıllık PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı....58
Şekil 5.14.a. 2015 yılı saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı....59
Şekil 5.14.b. 2017 yılı saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı....60
Şekil 5.15.a. 2015 yılı 24 saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı....60

Şekil 5.15.b. 2017 yılı 24 saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı 61
Şekil 5.16.a. 2015 yılı yıllık NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı 61
Şekil 5.16.b. 2017 yılı yıllık NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı 62
Şekil 5.17.a. 2015 yılı saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı 63
Şekil 5.17.b. 2017 yılı saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı 63
Şekil 5.18.a. 2015 yılı 24 saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı 64
Şekil 5.18.b. 2017 yılı 24 saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı 64
Şekil 5.19.a. 2015 yılı yıllık CO emisyonunun atmosferik dağılımı 65
Şekil 5.19.b. 2017 yılı yıllık CO emisyonunun atmosferik dağılımı 65
Şekil 5.20.a. 2015 yılı saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı 66
Şekil 5.20.b. 2017 yılı saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı 67
Şekil 5.21.a. 2015 yılı 24 saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı 67
Şekil 5.21.b. 2017 yılı 24 saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı 68
Şekil 5.22.a. 2015 yılı yıllık NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı 68
Şekil 5.22.b. 2017 yılı yıllık NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı 69

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. SO2 konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine etkisi.....9
Tablo 2.2. CO2 konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine etkisi 11
Tablo 2.3. PM_{10} konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine etkisi 12
Tablo 2.4. Kısa süreli NO_2 konsantrasyonunun insanlara etkisi.....14
Tablo 2.5. CO konsantrasyonunun sağlık üzerine etkisi.....15
Tablo 4.1. 2015 ve 2017 yılları için Otoyollardan geçen günlük taşıt sayıları ve yol uzunlukları.....29
Tablo 4.2.a. 2015 Yılı D-100 yolları uzunlukları ve taşıt sayıları 29
Tablo 4.2.b. 2017 Yılı D-100 yolları uzunlukları ve taşıt sayıları 29
Tablo 4.3. 2017 Yılı Osmangazi Köprüsü uzunluk ve taşıt sayıları 29
Tablo 4.4. CO ve NMVOC'ler için Tier 1 emisyon faktörleri.....32
Tablo 4.5. NO_X ve PM'ler için Tier 1 emisyon faktörleri 32
Tablo 4.6. Farklı karayolu ulaşımı fosil yakıtları için Tier 1 CO_2 emisyon faktörleri.....32
Tablo 4.7. Tier 1 için yakıtın tipik kükürt oranı.....33
Tablo 4.8. Her bir taşıt kategorisi için km başına Tier 1 tipik yakıt tüketimi.....34
Tablo 5.1. 2015 ve 2017 Yılı toplam emisyon miktarları.....43
Tablo 5.2. 2015 Yılı ve 2017 yılları için max. konsantrasyonlar.....46
Tablo 5.3. Tahmin edilen 2015 ve 2017 yılı kirletici konsantrasyonlarının ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması.....47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

NMVOC : Non Metan Volatile Organic Compounds
CO : Karbon monoksit
CO_2 : Karbon dioksit
COH_b : Karboksi hemoglobin
EF : Emisyon Faktörü
$EF_{i,j,k}$: k teknolojisi ve j taşıt kategorisi için i maddesinin teknolojiye özgü emisyon faktörü
$EF_{i,j,m}$: Araç kategorisi j ve yakıt m için kirletici maddesinin yakıt tüketimi - özgül emisyon faktörü
E_{SICAK} : Stabilize (sıcak) motor çalışması boyunca ortaya çıkan emisyonlar
$E_{SOĞUK}$: Geçici termal motor çalışması (ilk çalıştırma) boyunca ortaya çıkan emisyonlar
E_{TOPLAM} : Herhangi bir emisyonun toplam emisyonu faktörü
i : Emisyon endeksi
j : Taşıt kategorisi
k : Taşıt teknolojisi
$k_{S,m}$: m tipi yakıt içerisindeki kükürdün kütlesel oranı
m : Yakıt tipi
NO : Azot oksit
N_2O : Diazot monoksit
N_2O_3 : Diazot trioksit
NO_X : Azot oksit
PM : Pariküler madde
Pb : Kurşun
SO_2 : Kükürt dioksit

Kısaltmalar

AERMOD : American Meteorolojical Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model(Amerika Meteorolji Topluluğu/Çevre Koruma Birliği Düzenliyici Modeli)
CNG : Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğal Gaz)
ECE : Economic Commission for Europea (Avrupa Ekonomi Komisyonu)
EEA : European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EU : European Union (Avrupa Birliği)
EPA : Environmental Protection Agency(Çevre Koruma Ajansı)
HKDYY : Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
LPG : Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
UTM : Universal Transversal Merkator (Evrensel Enlem Markatörü)
WHO : World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

OSMANGAZİ KÖPRÜSÜNÜN KOCAELİ KÖRFEZ BÖLGESİNDEKİ TAŞIT KAYNAKLI EMİSYON KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN MODELLENMESİ

ÖZET

Hızla artmakta olan hava kirliliğinin önemli bir bölümünü, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar oluşturmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların türü ve miktarları kullanılan taşıta, harcanan yakıtın türüne, havanın sıcaklığına, bölgenin fiziki özelliklerine, trafik yoğunluğuna, trafik ışıkları sinyalizasyonu gibi sebeplere göre değişmektedir. 2016 yılının Temmuz ayında hizmete açılan Osman Gazi Köprüsü, Kocaeli - Yalova istikametinde deniz yoluna yeni bir alternatif oluşturmuştur.

Bu çalışmada, Osmangazi Köprüsü ile Kocaeli – Yalova istikametindeki D100 Devlet yolu ve Otoyol'da trafikten çekilen taşıt sayısının Kocaeli İli'nde hava kalitesine yaptığı etkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla köprünün hizmete açılmasından öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için, trafik kaynaklı emisyonların envanteri çıkarılmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilenler NO_X, SO_2, CO, CO_2, PM_{10} ve NMVOC emisyonlarıdır. Envanterleme hesapları için Tier 1 metodu, kirlilik dağılımının gözlemlenmesi için AERMOD modelleme programı kullanılmıştır.

2015 yılında SO_2 , CO_2 , PM_{10}, NO_X, CO ve NMVOC emisyon miktarları sırasıyla 35 kg/gün, 2979 ton/gün, 661 kg/gün, 23172 kg/gün, 29072 kg/gün ve 4542 kg/gün olarak hesaplanmışken 2017 yılında sırasıyla 23 kg/gün, 3046 ton/gün, 674 kg/gün, 22801 kg/gün, 31654 kg/gün ve 4846 kg/gün olduğu hesaplanmıştır. Kirlilik dağılımı incelenmesi için model çalıştırıldığında max. konsantrasyonlar 2015 yılında sırasıyla yıllık 0,8 $\mu g/m^3$, 112924 $\mu g/m^3$, 25 $\mu g/m^3$, 891 $\mu g/m^3$, 1150 $\mu g/m^3$ ve 176 $\mu g/m^3$ iken 2017 yılında sırasıyla 0,9 $\mu g/m^3$, 129073 $\mu g/m^3$, 29 $\mu g/m^3$, 945 $\mu g/m^3$, 1375 $\mu g/m^3$ ve 209 $\mu g/m^3$ olarak dağılım göstermişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda D100 Devlet yolundaki taşıt sayılarındaki artışın Otoyol'dan daha fazla olduğu buna bağlı olarak da emisyonların D100 Devlet yolunda beklenildiği kadar azalmadığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Emisyon Envanterleme, Hava Kalitesi, Taşıt Kaynaklı Emisyonlar.

MODELING OF THE EFFECT OF OSMANGAZI BRIDGE ON VEHICLE EMISSION POLLUTION IN KOCAELİ KÖRFEZ REGION

ABSTRACT

A significant portion of the rapidly increasing air pollution is composed of emissions from motor vehicles. The type and amount of emissions from motor vehicles vary depending on the vehicle used, the type of fuel consumed, the temperature of the air, the physical characteristics of the region, the traffic intensity, and traffic light signaling. Osman Gazi Bridge, which was opened in July 2016, has created a new alternative to the sea route in the direction of Kocaeli - Yalova.

In this study, it was aimed to determine the effect of the number of vehicles withdrawn from traffic on the D100 State Highway and Highway on Osmangazi Bridge and Kocaeli - Yalova direction on the air quality in Kocaeli. For this purpose, an inventory of traffic-related emissions was prepared before and after the bridge was put into service (2015) and after (2017). Emissions of NO_X, SO_2, CO, CO_2, PM_{10} and NMVOC are considered. Tier 1 method was used for the inventory calculations and AERMOD modeling program was used for monitoring the pollution distribution.

In 2015, SO_2, CO_2, PM_{10}, NO_X, CO and NMVOC emission amount were calculated as 35 kg/day, 2979 tons/day, 661 kg/day, 23172 kg/day, 29072 kg/day and 4542 kg/day respectively.In 2017, it was calculated 23 kg/day, 3046 tons/day, 674 kg/day, 22801 kg/day, 31654 kg/day and 4846 kg/day respectively. When the model is run to examine the pollution distribution, max. concentrations were 0.8 $\mu g/m^3$, 112924 $\mu g/m^3$, 25 $\mu g/m^3$, 891 $\mu g/m^3$, 1150 $\mu g/m^3$ and 176 $\mu g/m^3$ in 2015, respectively, where as in 2017 0.9 $\mu g/m^3$, 129073 $\mu g/m^3$, 29 $\mu g/m^3$, 945 $\mu g/m^3$, 1375 $\mu g/m^3$ and 209 $\mu g/m^3$ respectively. As a result of the study, it was observed that the increase in the number of vehicles on the D100 State Road was higher than that of the Otoyol and therefore emissions did not decrease as expected on the D100 State Road.

Keywords: Emission Inventory, Air Quality, Emissions from Vehicles.

GİRİŞ

Hava kirliliği global yaşamın bir sonucu olarak meydana gelen; atmosferin doğal bileşiminde yer almayan veya olması gereken düzeyin dışında bir oranda bulunan katı, sıvı ve gaz halindeki yabancı maddelerden birinin ya da daha fazlasının havanın doğal bileşimini bozarak insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zararlı olabilecek miktar ve sürede atmosferde bulunması olayı olarak ifade edilir. (Erdoğan, 2012). Kaynaktan salındığında alıcı ortama ulaşmasının kaçınılmaz olması ve burada arıtımının mümkün olmaması, akabinde geniş alanlara kısa bir sürede yayılarak popülasyon üzerinde bıraktığı etkiler gibi özelliklerinden dolayı hava kirliliği çevre kirliliği sorunları arasında farklı bir önem arz etmektedir (Borrego ve diğ., 2002).

Gelişen şehirleşmenin bir sonucu olarak büyük şehirlerde hava kalitesini olumsuz etkileyen en önemli kaynak motorlu kara taşıtları olmuştur. Son yıllarda otomotiv sanayinin gelişmesi, nüfus artışı ve global ölçekte yaşam konforunun yükselmesi sebebiyle, kullanılan taşıt sayılarında büyük bir artış olmuştur. Atmosferdeki taşıt kaynaklı emisyonların insanlara, zararsız seviyelere seyreltildikten sonra ulaşmasının mümkün olmaması ve bunun için yeterli vaktin de bulunmaması durumunun birçok hastalığa neden olduğu yapılan araştırma çalışmaları neticesinde bilinmektedir. Taşıtlardan kaynaklanan 5 temel kirletici karbon monoksit, partiküler maddeler, kükürt dioksit, hidrokarbonlar ve azot oksitlerdir. Bu kirlericilerin sağlık üzerine ciddi etkileri vardır. Örneğin karbon monoksit solunduğunda kandaki oksijenin yerine geçerek vücutta hücrelere taşınan oksijen miktarını azaltmaktadır. Kent havasında bulunan karbon monoksitin zihinsel yetilerde kayıp ve insanlar üzerinde refleks kaybına sebebiyet gibi etkileri olduğu gibi mevcutta kan hastalıkları, kalp yetersizliği, kansızlık, ve kronik akciğer rahatsızlığı gibi sağlık sorunları olan insanlar üzerinde daha olumsuz etkileri vardır. Akciğer dokularını ve solunum borusunu etkileyen kükürt oksitler kalıcı veya geçici rahatsızlanmalara neden olmaktadır. Azot oksitlerin de insanlar üzerinde zararlı etkileri olduğu özellikle çocuklarda gribe karşı bağışıklığı çökerttiği araştırmalardan bilinmektedir. Bu

emisyonların direkt insan sağlığına etkilerinin yanı sıra ekolojik dengenin tümüne, ozon tabakasının incelmesine de sebep olmaktadırlar (Yıldırım, 2010).

Hali hazırda herhangi bir bölgede mevcut ya da yeni inşa edilecek tesislerin veya bir bölgede farklı kaynaklardan salınan emisyonların çevre üzerindeki zararlarının önüne geçilmesi ve bununla ilgili kontrol politikaları oluşturulması için hava kalitesi bakımından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeler direkt ölçüm yoluyla veya hava kalitesi modellemesiyle yapılabilir. Fakat hava kalitesinin direkt ölçümler ile belirlenmesi yüksek maliyet gerektirdiğinden ve uzun zaman alacağından dolayı her zaman uygun olmamaktadır. Bu durum, hava kalitesinin belirlenmesinde matematiksel model kullanımının önemini arttırmaktadır.

Atmosferdeki hava kirleticilerin olumsuz tesirlerinin ortaya çıkmaması için aşmaması gereken azami konsantrasyon seviyeleri, yani hava kalitesi limit değerleri belirlenir. Bu limit değerler dikkate alınarak başta sınır değerin üstünde konsantrasyonlara sahip bölgeler olmak üzere tüm bölgelerde hava kalitesi çalışmaları yapılmalıdır (Erdoğan, 2012).

Bu çalışmada 2016 yılında faaliyete geçen Osman Gazi Köprüsü'nün Kocaeli İli Dilovası İlçesi - Yalova İli Altınova İlçesi istikametindeki D100 Devlet yolu ve Otoyolda trafikten eksilmesi beklenen taşıt sayısının Kocaeli İli'nde hava kalitesine yaptığı etkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için taşıt kaynaklı emisyon envanteri çıkarılarak kirlilik dağılım modellemesi yapılmıştır.

Dağılım modeli olarak EPA onaylı AERMOD dağılım modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen emisyonlar; karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO_2), partiküler madde (PM_{10}), kükürt dioksit (SO_2), azot oksit (NO_X) ve metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC)'dir. Envanterleme için kullanılan emisyon hesaplama metodu, elde edilebilecek veriler de göz önünde bulundurularak Tier 1 metodu olarak belirlenmiştir.

1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Günümüzde hava kirliliğinin önemli bir bölümüne motorlu taşıtlardan kaynaklı emisyonların sebep olması sebebi ile bu alanda yapılan çalışmalarda artmıştır. Bu çalışmalarda genellikle trafik kaynaklı hava kirliliğinin tespiti ve kent üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarda başlıca trafik kaynaklı emisyonlardan olan CO, NO_X, SO_2, PM_{10} ve NMVOC başta olmak üzere birçok kirletici türü incelenmiştir.

Yeni bir alternatif ulaşım hattı sağlandığında, önceki durumda oluşan hava kirliliği ile yeni hattın açıldığı durumdaki hava kirliliğinin kıyaslanması açısından da çeşitli modelleme programları kullanılarak bir çok sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin; yeni yapılan bir tren hattı veya köprü den sonra bölgedeki hava kalitesindeki değişimin incelenmesi gibi çalışmalar mevcuttur.

1.1. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar

Cuci ve Polat Gaziantep'in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi ve hava kalitesine olan tesiri ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışmada değerlendirilen NO_X, PM_{10} ve SO_2 emisyonları için kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Envanter çalışmaları sonucunda, Gaziantep'te toplam NO_X miktarı 452,51 ton, SO_2 miktarı 2,76 ton ve PM_{10} miktarı 28,52 ton olarak hesaplanmıştır. Buradan toplam kirletici miktarının %94'ünü NO_X, %5,5'unu PM_{10} ve %0,5'nin de SO_2'nin oluşturduğu öğrenilmektedir. NO_X dağılımları belirlenmiştir.NO_X için yapılan pasif örnekleme çalışmasından elde edilen NO, NO_2 ve NO_x değerlerinin Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Genelgesi'nde verilen limit değerlerin altında kaldığı gözlemlenmiştir (Cuci ve Polat, 2015).

Koca ve Elbir tarafından Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içindeki ana karayolu üzerinde taşınabilir taşıt sayım ve sınıflandırma cihazları kullanılarak uzun sürelere boyunca taşıt sayımları gerçekleştirilmiştir. Taşıt sayımları esnasında taşıt hızları da ölçülmüş ve araç kategorilerine göre saatlik trafik yoğunlukları

belirlenmiştir. CO, NO_X, NMVOC, PM_{10} ve SO_2 emisyonları için ayrı ayrı yapılan hesaplamaların sonucuna göre, yerleşkedeki yıllık toplam emisyonlar; CO, NMVOC, NO_X, PM_{10} ve SO_2 için sırasıyla yaklaşık 2,8 ton, 0,4 ton, 1,1 ton, 0,05 ton ve 0,15 ton' dur. EPA ISCST3 modeli kullanılarak bu emisyonların atmosferik dağılımları incelenmiştir. Model sonuçlarına göre; yıllık ortalama konsantrasyonlar bakımından max. değerlerin hemen yol yakınlarında ve CO, NO_X, PM_{10}, SO_2 ve NMVOC için sırasıyla yaklaşık 10 μg m^{-3}, 4 μg m^{-3}, 0,1 μg m^{-3}, 0,5 μg m^{-3} ve 1,6 μg m^{-3} civarında olduğu görülmüştür. Yıl içindeki saatlik en yüksek konsantrasyonlar incelendiğinde ise CO, NO_X, PM_{10}, SO_2 ve NMVOC için sırasıyla yaklaşık 128 μg m^{-3}, 53 μg m^{-3}, 1 μg m^{-3}, 7,2 μg m^{-3} ve 20 μg m^{-3} değerleri gözlemlenmiştir (Koca ve Elbir, 2013).

Çetin vd. 2010 yılında CORINAIR tabanlı emisyon faktörlerinden faydalanarak Kocaeli İli' nde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirleticilerinin (PM, NO_X, CO, VOC) envanterlenmesi amacı ile çalışma yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Kocaeli İli'ndeki ana yollarda 2003-2004-2005 yıllarında PM, NO_x, CO ve VOC emisyonları sırasıyla, 199/155/150 ton, 3860/4036/4029 ton, 3086/3763/3769 ton, 786/818/811 ton olarak hesaplanmıştır. Bunun dışında 2004 yılı için otoyolda (E-80) PM, NO_x, CO ve VOC emisyonları sırasıyla 167 ton, 6127 ton, 4042 ton ve 908 ton olarak hesaplanmıştır. İncelenen kirleticilerin emisyon miktarları çalışma kapsamındaki yollara göre karşılaştırıldığında, en yüksek kirletici yükünün otoyolda, daha sonra sırasıyla Gebze-Körfez, İzmit-Gölcük ve İstanbul il hududu-Gebze yollarında, en düşük kirletici yükünün ise Kandıra-Sakarya il hududu, Kefken-Kandıra ve Ağva-Kandıra yollarında olduğu gözlemlenmiştir (Çetin vd., 2010).

Elbir vd. 2010 yılında İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğini incelemiştir.Çalışma sonucunda, 2007 yılında İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklı atmosfere salınan emisyon miktarları CO, NO_X, NMVOC, SO_2 ve PM_{10} için sırasıyla 5607 ton, 2502 ton, 772 ton, 340 ton ve 104 ton olarak hesaplanmıştır. Kent merkezindeki hava kalitesine etkisini belirlemek için hesaplanan emisyon değerleri en kötü meteorojik şartların gerçekleştiği varsayılarak CALPUFF dağılım modeli yardımı ile incelenmiştir. Model sonuçlarına göre maksimum saatlik konsantrasyonlar CO, NO_X, NMVOC, SO_2 ve PM_{10} için sırasıyla 400 μg/m^3, 222 μg/m^3, 60 μg/m^3, 40 μg/m^3 ve 12 μg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Aynı çalışmada taşıtlar, emisyon kirliliğine olan etkilerine göre sınıflandırılmıştır. Bu mukayesede CO, NO_X ve NMVOC emisyonlarının yarısından fazlasının otomobillerden kaynaklandığı, otobüs + kamyon kategorisinin tek başına SO_2 emisyonlarının %80'nine neden olduğu ve minibüs + kamyonet kategorisi ve motosikletler PM_{10} emisyonlarının önemli bir kaynağı olduğu saptanmıştır (Elbir vd., 2010).

Saatçioğlu 2010 yılında Marmaray projesi ile karayolu trafiğinden çekileceği düşünülen taşıt sayısının İstanbul İli'ndeki hava kalitesine olan etkisini incelemiştir. Bunun için projenin işletmeye alınmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2030 yılı) için iki farklı emisyon hesaplaması yapılmıştır. 2010, 2015 ve 2030 yıllarındaki emisyonlar projenin işletmeye alınmış ve alınmamış hallerindeki 2 farklı senaryo sonucu mukayese edilmiştir. Projenin aktif olmadığı durumda rutin araç artışının ve buna paralel artan emisyon miktarının projenin aktif olduğu duruma göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.(Saatçıoğlu, 2010).

Sert 2008 yılında Balıkesir il merkezinde motorlu taşıtlardan kaynaklı emisyon envanterinin hesaplanması ile ilgili çalışma yapmıştır. Anket verilerinden ulaşılan yakıt tüketimi ve EMEP-CORİNAİR Emission İnventory Guidebook-2006 dan elde edilen emisyon faktörü kabulleri ile hesaplamalar yapılmıştır. 2007 yılına ait hesaplamalar neticesinde; egzoz emisyonları CO_{Toplam} 2263.53 ton/yıl, VOC_{Toplam} 531.93 ton/yıl, $NO_{xToplam}$ 1530.30 ton/yıl, PM_{Toplam} 90.96 ton/yıl, yakıt tüketimleri $FCbenzin_{Toplam}$=10596.50 ton/yıl, $FCLPG_{Toplam}$=11579.50 ton/yıl, $FCdizel_{Toplam}$=45827.25 ton/yıl CO_2Toplam=173046.83 ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Sert, 2008).

1.2. Dünya'da Yapılan Çalışmalar

Gallardo vd. tarafından Bogota (Kolombiya), Buenos Aires (Arjantin), Santiago (Şili) ve Sao Paulo (Brezilya) şehirlerinde hava kalitesi inceleme çalışması yapılmıştır. Bütün şehirlerde, son 10-15 yılda NO_x ve CO azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu kirleticiler büyük oranda trafikten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu kirleticilerde tespit edilen makul düşüşün taşıtlardaki teknolojik değişimlerle ilişkili olduğu tahmin edilmiştir (Gallardo vd., 2011).

Johansson vd. tarafından yapılan çalışmada 2008 yılında İsveç'in Stockholm şehrinde yapılan çalışmada trafiğin en yoğun olduğu caddede bir yıl boyunca COPERT III modeli yardımıyla trafik kaynaklı NO_x konsantrasyonu ve buna paralel olarak ağır metal emisyonları takip edilmiştir. Toplam emisyonlar, COPERT modelinden elde edilen egzoz emisyonları ve Stockholm'de daha önceki bir araştırmaya dayalı fren aşınması emisyonları ile karşılaştırılmış ve yapılan değerlendirmeler doğrultusunda konsantrasyon olarak zamanla azalan kirliliğin sadece kurşun olduğu sonucuna varılmıştır (Johansson vd., 2009).

Bellasio vd. tarafından 2006 yılında İtalya'nın Sardunya şehrinde trafik kaynaklı emisyonların envanterini hazırlamak maksatlı COPERT III modeli kullanarak çalışma yapılmıştır. 2006 yılı için toplam CO, NMVOC, PM ve NO_x emisyonları sırasıyla 79,520ton, 11,547ton, 1867ton ve 19,380ton olarak bulunmuştur. Aynı zamanda emisyon envanterinin güvenirliği için yapılan diğer çalışmalar ile mukayese edilmiştir. (Bellasio vd., 2006).

Sternberk 2002 yılında İsveç'in Göteborg şehrinde trafiğin yoğun olduğu iki tünelden alınan numunelerde taşıtlardan kaynaklanan ağır metalleri incelemek üzere bir çalışma yapmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarında, iki tünel arasındaki Cu, Zn, Cd, Sb, Ba ve Pb değerlerinin farklı büyüklüklerde olduğu görülmüş ve bu farklılığın tünelin birinin yeni temizlenmiş olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Cu, Zn, Cd, Sb, Ba ve Pb elementlerinin taşıtlardan kaynaklandığı, Cu, Ba ve Sb'nun fren balatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bunun dışında Ba ve Sb'nun ağır tonajlı taşıtlardan, Cu'ın ise küçük taşıtlardan meydana geldiği gözlemlenmiştir (Sternberk, 2002).

San Jose vd. 2000 yılında OPANA modeli ile ISCSTC3 modellerinin entegre olduğu GAMA (Gaussian Mesoscale Air Quality) modelinin kullanılması ile Madrid (İspanya) kentinin Mosteles bölgesindeki 10*10 km'lik bir alanda, özellikle hareketli kaynaklar dolayısıyla ortaya çıkan emisyonların dağılımını incelemişlerdir. OPANA modelinin modülleri incelenmiş, modelleme programlarında meteorolojik verilerinin önemi vurgulanmıştır. Kaynaklardan atmosfere verilen NO_X emisyonlarının dağılım modellemesi sonuçları incelendiğinde, model sonuçları ile gözlem istasyon verilerinin birbirlerine uyum gösterdiği gözlemlenmiştir (Jose vd., 2000).

Hao vd. 200 yılında Çin'in kuzeyinde 100 $km^{2'}$ lik alana ve 10 milyondan fazla nüfusa sahip ülkenin başkenti Pekin'de ISCST3 modeli kullanarak, emisyon dağılımını belirlemek maksatlı hava kalite modellemesi yapmıştır. Çalışma sonucunda CO emisyonunun üniform dağılmadığını şehir merkezinde 1500 kg/saat ile kırsal kesimde 150 kg/saat arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Model sonuçlarının kentin 3 farklı hava kalite ölçümü yapılan gözlem istasyonundaki (Qianmen, Chegz ve Olympic) sonuçlar ile uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda şehir merkezindeki toplam CO emisyonunun %85'i, kırsal alanda ise %71'inin; NO_X emisyonunun ise şehir merkezinde %71'i, kırsal alanda ise %67'sinin mobil kaynaklardan meydana geldiği tespit edilmiştir (Hao vd., 2000).

Mensink vd. 2000 yılında Anvers (Belçika) şehrinde 20×20 $km^{2'}$ lik bir alanda trafikten kaynaklanan CO, VOC, PM, NO_X, SO_2 ve Pb hava kirleticilerinin saatlik emisyonlarını belirlenmesi maksadıyla modelleme çalışması yapmışlardır. Şehir trafiğinin aktif olduğu takribi 2000 güzergahta çalışma yapılmıştır. Trafik yoğunluğu için şehirsel trafik akış modeli kullanılmış emisyon faktörlerinin belirlenmesi içinse araçların tipi, araç motorlarının sıcak veya soğuk çalışma sayısı, kullanılan yakıt tipi, trafik yoğunluğu, araç sayısı, yol tipi vb. faktörler baz alınarak Copert II metodu ile hesaplamışlardır. Sonuç olarak Anvers şehrinde araçların hava sıcaklıklarına bağlı olarak mevsimsel emisyon değişimini gösteren bulgular elde edilmiş ve grafik olarak gösterilmiştir (Mensink vd., 2000).

2. MOTORLU TAŞITLARDAN KAYNAKLANAN EMİSYONLAR

Konutlar ve endüstriyel kuruluşlar gibi sabit emisyon kaynaklarından dolayı oluşan hava kirliliğinin dışında motorlu kara taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği de artık aynı derecede önemli bir sorun teşkil etmeye başlamıştır. Benzin ve dizel motorlu taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin özellikle nüfus ve trafiğin yoğun olduğu büyük kent merkezlerinde çevreye, insan sağılığına verdiği zarar oldukça fazladır (Memişoğlu, 2001). Yapılan araştırmalar motorlu kara taşıtlarından kaynaklan hava kirliliğinin toplam hava kirliliğinin %50'sini oluşturduğunu göstermektedir (Sharma ve Khara, 2001). Kent merkezlerindeki karayolu trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde egzoz gazları; havadaki karbon monoksit, azot oksit, hidrokarbon ve patiküler maddenin sırasıyla %43,9, %41, %26,2 ve %16,4'ünden sorumludurlar (Elbir, 2010). Kükürt oksitler (SOx), azot oksitler (NOx), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), partiküler madde (PM) ve kurşun (Pb) hava kalitesinin bozulmasına etkisi olan en önemli emisyonlarıdır (Yıldırım 2010). Dizel yakıt tüketen taşıtlarda NO_X, SO_2 ve PM emisyonları, benzin tüketen taşıtlarda ise CO ve tam yanmayan HC emisyonları daha önemlidir (Alkaya ve Yıldırım, 2000).

Taşıt emisyonları; yakıt deposundan buharlaşma, karter kaçakları, yakıt sisteminde buharlaşma ve egzoz emisyonları olmak üzere dört farklı noktada oluşmaktadır. Kirleticiler benzinli motorlarda; CO, NOx, HC ve uçucu organik bileşikler (VOC) iken, dizel motorlarda; NOx, PM, HC, SOx ile aldehit ve ketonlardan oluşmaktadır. Taşıtların seyir şartları kirleticilerin cinslerini ve miktarlarını etkilemektedir. Yüksek hızlı seyirlerde NOx artarken, kavşaklardaki beklemelerde; CH_4 ve CO emisyonları, duruş-kalkış hareketlerinde de; CO, HC, NOx ve VOC emisyonları artmaktadır. Seyir halindeki taşıtlar yol şartlarına göre; soğuk ilk hareket, hızlanma-yavaşlama, bekleme ve normal sürüş şartlarında çalışırlar ve bu şartlara göre; yakıt sarfiyatları, attıkları kirleticilerin miktarı ve çeşitleri değişir (Akay, 2008).

Motorlu kara taşıt araçlarının egzozlarından atık gaz çıkışları yer seviyesine çok yakındır. Bu sebeple atmosfere atık gaz emisyonu salan diğer kirletici kaynaklara göre çok daha fazla olumsuz etkilere neden olur. Atık gaz seyrelme oranları karayollarında 1/1000, konut bacalarında 1/50000 ve endüstriyel kuruluşların bacalarında 1/1000000 seviyesindedir. Bu emisyonlar solunum yollarında ve kanda çeşitli rahatsızlanmalara neden olabilmektedir. (Aydın, 1996).

2.1. SO_2

SO_2, kükürt oksit bileşiklerindendir. Bu gazla su içerisinde kolaylıkla çözünebilirler. SO_2 gazı renksiz olup atmosfer basıncında gaz formunda ve basınç altında kolaylıkla sıvı hale geçebilmektedir. SO_2 gazı O=S=O kimyasal yapısına sahip olup 64,06 gr/mol molekül ağırlığına sahiptir. Buharlaşma basıncı 21,2 ˚C' de 2,538 mmHg, yoğunluğu 1,43 g/ml, buharlaşma sıcaklığı -10 ℃ , kaynama noktası -72,7 ℃ dir. 1 ppm SO_2 2,62 mg/m^3 e eşittir (Demirarslan, 2012).

Renksiz, sert kokulu, yanmaz, patlamaz bir gazdır. Diesel yakıtlarda az miktarda da olsa kükürt bulunmaktadır. Yakıtın içerisindeki kükürt, silindir içinde yanarak kükürt dioksiti oluşturur. Yüksek konsantrasyonlarda nefes almada güçlük gibi bir sorunlara neden olmaktadır. Astımlı hastalar için tehlikeli olduğu gibi gözlerde ve mukozada da rahatsızlık oluşturmaktadır (Yıldırım, 2010). SO_2 konsansantrasyonun farklı değerlerde insan sağlığı üzerine olan etkisi Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. SO_2 konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine etkisi (Url-1)

Havadaki Konsantrasyon	Sağlık Üzerine Etkisi
1-5 ppm	Sağlıklı solunum için eşik değeri
2-5 ppm	Fark edilebilme sınırı, akciğer fonksiyonları azalmakta, solunum yollarında direnç artmaktadır
5 ppm	Solunum yollarındaki direnç artmakta ve sağlığı tehdit etmektedir
6 ppm	Burun, boğaz ve gözlerde ani tahriş görülmektedir
10 ppm	Burun, boğaz ve gözlerde tahriş kötüleşmektedir
10-15 ppm	Uzun süreli maruziyetlerde zehirlenme eşiğidir
>20 ppm	Uzun süreli maruziyetlerde felç ve ölüm görülebilir
150 ppm	Birkaç dakika içerisinde ölüme yol açar

2.2. CO_2

Motor içindeki yakıtın yanması sonucu oluşan karbondioksit (CO_2) en zararsız egzoz gazı olarak görülmekte ise de global ölçekte atmosferde salınan karbondioksitin sürekli bir şekilde artması iklim krizine neden olmaktadır. CO_2'in artışı ile güneşten kaynaklanan uzun dalga boylu radyasyonun tekrar uzaya yansıması engellenmekte ve yeryüzünün sıcaklığı sürekli olarak artmaktadır.

Karbondioksit miktarı harcanan yakıt miktarı ile kontrol edilebilmektedir. Yani havada bulunan karbondioksit emisyonunun ekstra kontrolüne gerek görülmektedir. Fakat motorlarda tam yanmanın gerçekleşmesi sağlanmalıdır bunun mümkün olmadığı hallerde karbon monoksit karbon dioksitin yerine geçer ve bu da istenmeyen bir durumdur. (Yıldırım, 2010).

Türkiye'deki toplam CO_2 emisyonlarının %17'si ulaştırma sektöründen kaynaklanmaktadır. Küresel ısınma ile mücadelenin önemi arttıkça en önemli sera gazlarından biri olan CO_2'nin kontrolü de önem kazanmıştır. Yakıtın özelliklerine, türüne, sarfiyat miktarına ve kullanıldığı motorun teknolojisine göre CO_2 oluşum miktarı değişmektedir. Atmosfer tabakasındaki sera gazları -18°C değerinde olması gereken dünya yüzey sıcaklığının, atmosferin sera etkisi nedeniyle 33°C artarak, +15°C mertebesine ulaşmasına neden olmaktadır. Dünyadaki yaşam koşullarını daha olumlu kılan bu etki, doğal kaynaklar dışında üretilen sera gazlarının doğal dengeyi bozması sonucu olumsuz şekle dönüşmektedir. Egzoz gazlarından çıkan CO_2 emisyonları yeni araçlarda motor teknolojilerinin geliştirilerek daha az emisyon çıkışının sağlanması ve ulaşım planlaması, trafik akışı gibi genel trafik kaynaklı emisyon azaltımı ilkeleri uygulanarak azaltılabilir. (Soruşbay, 2007).

CO_2 konsantrasyonun farklı değerlerinde insan sağlığı üzerine olan etkisi Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. CO_2 konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine etkisi (Url-2)

Havadaki Konsantrasyon	Sağlık Üzerine Etkisi
2-3 ppm	İstirahatte fark edilmez, efor sarf edildiğinde nefes darlığı hissedilebilir
3 ppm	Solunum belirgin bir şekilde derinleşir ve istirahat halinde de hissedilir
3-5 ppm	Baş ağrısına neden olur
5 ppm	Baş ağrısı, terleme ve nabız zorluğu görülür
7,5 ppm	Baş ağrısı, terleme, baş dönmesi, nefes darlığı, kas zayıflığı, zihinsel yetenek kaybı, uyku hali ve kulaklarda çınlama görülür
8-15 ppm	Hastaya hemen oksijen verilmezse baş ağrısı, baş dönmesi, kusma, bilinç kaybı ve muhtemelen ölüm
10 ppm	Solunum sıkıntısı, 10-15 dakikada bilinç kaybı gerçekleşir
15 ppm	Ölümcül konanstrasyon
>25 ppm	Birkaç nefes sonra bilinç kaybı oluşur, maruziyet devam ederse ölüm gerçekleşir.

2.3. PM

PM atmosfer içerisinde hem sıvı hem gaz olmak üzere iki durumda ve farklı çap ve yoğunluklarda bulunabilmektedir. Havadaki daha yoğun ve çapları fazla olan partikül maddeler birkaç dakikada yer çekiminin etkisiyle yüzeye ulaşma eğilimi göstermektedir. Halbuki daha düşük yoğunluktaki ve çapları daha az olan ölçülerdeki partikül maddeler haftalarca havada asılı kalabilmekte ve hava şartlarının etkisiyle taşınabilmektedir. Partikül maddeleri birbirinden ayıran özellikler; ölçüleri, kütleleri, yoğunlukları, kimyasal bileşimi farklı kimyasal fiziksel özellikleridir (Demirarslan, 2012).

Partikül maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri incelendiğinde genellikler kronik akciğer yetersizliği hastalığına yol açtığı gözlemlenmektedir. Havadaki partiküllerin çoğu akciğer iltihabına neden olmakta ve astım ile akciğer yetersizliğini oldukça arttırmaktadır. Partikül maddeler solunduklarında bir kısmı burun içindeki tüyler ve mukus yardımıyla tutulur ve buradan dışarı atılırlar. Ancak kalan kısmı genellikler akciğere ulaşmaktadır. Partikül maddelerin akciğere ulaşmasında boyutları oldukça önemlidir. Sağlık açısından boyutlarına göre zararlı olan partikül maddeler PM_{10} ve $PM_{2.5}$ tur. Çap bakımından partikül madde ne kadar küçükse akciğerin derinliklerine inme riski o kadar fazladır. Partikül maddeler solunduklarında aşağıdaki etkilere neden olur;

-Ağır astım nöbetleri, akciğer veya kalp rahatsızlıkları

-Çocuklarda ve yetişkinlerde solunum güçlüğü

-Kronik bonşit

-Göz, deri, burun ve boğazda tahrişler (Demiraslan, 2012).

PM_{10} konsantrasyonunun farklı değerlerde insan sağılığı üzerine etkileri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. PM_{10} konsantrasyonunun insan sağlığı üzerine etkisi (Url-3)

EPA Hava Kalitesi İndexi µg/m³	Sağlık Seviyesi	Meydana Gelen Rahatsızlıklar
0-50	İyi	Yok
51-100	Orta	Yok
101-150	Hassas Kişiler İçin Sağlıksız	Solunum güçlüğü, astım
151-200	Sağlıksız	Solunum güçlüğü, astım
201-300	Çok Sağlıksız	Astım hastaları, çocuklar ve yaşlılar maruz kalmamalı
301-500	Tehlikeli	Sağlıklı veya sağlıksız kimse maruz kalmamalı

2.4. NO_X

NO_X, farklı miktarlarda azot ve oksijen muhteva eden fazlasıyla reaktif bir gazdır. Hava-yakıt karışımı içindeki, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800°C'ye yükseldiğinde azot (N_2) ve oksijen (O_2)' nin birleşmesiyle oluşmaktadır. Sıcaklığın 1800°C'nin üstüne yükselmediği durumda N_2 ve O_2, NO gazını oluşturmadan egzozdan dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının farklı moleküllerinin tepkimesi NO, NO_2, N_2O, N_2O_3 vb. gibi çeşitli gazları ortaya çıkarır ve bunların tümüne birden de "Azot oksitler" denir (İlkılıç vd., 2009).

NO_2 renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO_2 partikülleri havada sık sık kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilmektedir. Buji ile ateşlemeli motorlarda, NO_2/NO oranıihmal edilebilecek düzeydedir. Benzin, göz ardı edilebilecek seviyede azot içerdiğinden, NO oluşumunun asıl kaynağı atmosferik (moleküler) azot (N_2)'dir. NO'nun atmosferik azotu parçalamasından (Denklem (2.1), (2.2), (2.3) ve (2.4) de gösterilmiştir) ;

$N_2 + O \Rightarrow NO + N$ (2.1)

$N + O_2 \Rightarrow NO + O$ (2.2)

$N + OH \Rightarrow NO + H$ (2.3)

gibi denge reaksiyonları ile oluştuğu varsayılmaktadır. NO egzoz gazlarındaki NO_x'in % 95' ini oluşturur.

$N_2 + O_{2(ISI)} \Rightarrow 2NO$ (2.4)

Atmosferde oksijen ile birleşen NO, NO_2' yi meydana getirir. Denklem (3.5)' de verilmiştir.

$2NO + O_2 \Rightarrow 2NO_2$ (2.5)

NOx emisyonlarını azaltmak için; hem yanma odası içindeki sıcaklığın 1800°C' ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak, hem de oksijen konsantrasyonunu düşürmek gerekmektedir. Hava-yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NOx konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır. Ateşleme zamanının geciktirilmesi, yanma odası içinde oluşan maksimum sıcaklığı değiştirdiği için NOx konsantrasyonu da değişmektedir. Teorik hava-yakıt oranı için NOx konsantrasyonu ateşleme zamanına avans verdikçe yüksek yanma sıcaklığına bağlı olarak önemli derecede artmaya başlamaktadır (Yıldırım, 2010).

ECE'ye göre hava kirliliğine sebep olan 6 temel kirleticiden (CO, Pb, NO_X, partikül madde, SO_2 ve kararsız organik bileşikler) NO_X hariç diğerleri 1970'deki Temiz Hava Yasası'ndan bu yana önemli derecede azalmıştır. NO_X'in bu süre zarfında % 10 artış göstermiştir. NO_x ve NO_x'den oluşan kirleticilerin meteorolojik şartların da etkisiyle atmosferde hızla yayılmasından dolayı küçük ölçekli kontrollerin faydasız olacağı bunun yerine bölgesel kontrol önlemleri alınması daha etkili olacaktır. NO_x, yer seviyesindeki ozonun ve asit yağmurlarının oluşumuna, suyun bozulmasına, atmosferik partiküllerin görülebilirliğinin azalmasına, toksik kimyasalların oluşumuna etki eder ve iklim krizine neden olmaktadır (Sert, 2008).

Farklı değerlerdeki NO_2 konsantrasyonunun insan sağlığı üzerindeki etikisi Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Kısa süreli NO_2 konsantrasyonunun insanlara etkisi (Url-4)

Etki	NO2 konsantrasyon mg/m^3	ppm	Etki süresi
Koku eşiğinde	0,23	0,12	Derhal
Eşik değeri koyuluk adaptasyon için	0,14	0,075	Belgelenmemiş
	0,50	0,26	Belgelenmemiş
	1,3-3,8	0,7-2,0	20 dk.*
	30-3,8	1,6-2,0	15 dk.
	2,8	1,5	45 dk.**
Artan solunum yolu direnci	3,8	2,0	45 dk.***
	5,6	3,0	45 dk.+
	7,5-9,4	4,0-5,0	40 dk.++
	9,4	5,0	15 dk.
	11,3-75,2	6,0-40,0	5 dk.
Akciğer difüzyon kapasitesindeki azalma	7,5-9,4	4,0-5,0	15 dk.

* Temas 10 dakikalıktır. Temas bitiminden 10 dakika sonra akış direncine etkigözlenir.

** Bu konsantrasyonda kronik solunum hastalıkları meydana gelir.

*** Kronik solunum hastalıkları oluşur.

\+ Etkileşim olur.

++ Temas süresi 10 dakikaya uzadığında, 30 dakika sonra en büyük etki akış direncidir.

2.5. CO

Karbon monoksit (CO), renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup yakıt içindeki karbonun tamamen yanmaması sonucu meydana gelir ve Türkiye'deki bütün CO emisyonlarının yaklaşık % 80'ini, kentlerde ise % 95'ini motorlu kara taşıtları oluşturmaktadır. Özellikle trafiğin yoğun olduğu yerlerde yüksek seviyelere varmaktadır. (Yıldırım, 2010).

CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO_2 şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiyometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışmaktadırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların

CO emisyonunun kontrolü önemlidir. Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıta ihtiyaç duymasından ve O_2 sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır (Yıldırım, 2010).

CO maruz kalındığında sağlıklı bireyler dahil tüm insanlar üzerinde olumsuz yönde etkiler göstermektedir. Yüksek CO konsantrasyon seviyeleri görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir. EPA'nın halk sağlığı standardına göre hava kalitesi, günün ikinci 8 saatlik zaman dilimi boyunca yapılan ölçümler için maksimum ortalama CO konsantrasyonu 9 ppm üstüne çıkmamalıdır (Yıldırım, 2010). İnsan sağlığı açısından bilinen en eski gaz zehirlenmeleri, tam yanmamış artık gazların solunmasıyla, yani CO yüzünden meydana gelmektedir. Bu zehirlenme, kandaki hemoglobinin CO tercihli olarak bir kompleks (COHb = Karboksi hemoglobin) oluşturup dokulara oksijen sevkini engellemesi ile kendini gösterir. Kanın COHb oluşturma hızı, oksijen ile O_2Hb oluşturma hızından 210 kat daha fazladır. Böylece hava içinde oksijen varlığının en az 1/200 – 1/250 kadarı CO derişime karbon monoksit hemoglobini tamamen bağlar (Memişoğlu, 2001). CO konsantrasyonunun farklı değerlerde insan sağığı üzerine olan etkileri Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. CO konsantrasyonunun sağlık üzerine etkisi (Demirarslan, 2012)

Havadaki Konsantrasyon	**Sağlık Üzerine Etkisi**
Dış havada, 0-2 ppm	Normal Seviye
<10 ppm	Normal Seviye
10-20 ppm	Sağlıklı insanda yorgunluk belirtisi, göğüs ağrıları
20-75 ppm	Görmede ve dikkatte bozulmalar, baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, akıl karışıklığı
75-200 ppm	Boğazda yanma, görüş bozukluğu, beyin fonksiyonlarında azalma
400 ppm	3 saatlik maruziyette ölüm
800 ppm	Baş ağrısı, ayakta duramama, uzun sürede ölüm
1500 ppm	Kasılmalar, 1 saat içerisinde ölüm
3000 ppm	30 dk içinde ölüm
6000 ppm	10-15 dk içinde ölüm
12000 ppm	Ani ölüm

2.6. NMVOC

Metan olmayan uçucu organik bileşikler etan, bütan ve propane gibi bileşiklerden meydana gelmektedir. Bu bileşikler, NO_X ile beraber, troposfer ozonunun ve diğer fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasında etkilidirler. NMVOC emisyonlarının başlıca kaynakları ulaştırma sektörü, bazı sanayi işleri, biyokütlelerin yakılması ve organik solventlerin endüstri dışı harcanmasıdır. NMVOC konsantrasyonları atmosferde çabuk dağılım gösterir ve kısa ömürlüdür (Pekin, 2006).

NMVOC, yer seviyesine yakın ozon oluşumunda etkilidir. Solunum miktarına ve süresine bağlı olarak insan sağlığı üzerinde solunum yollarında tahribat ve solunum yetersizliklerine neden olma gibi etkileri bulunmaktadır. NMVOC' lerin kansere, çocuklarda ve yeni doğanlarda gelişme bozukluğuna, düşüğe ve doğurganlıkta düşüşe neden olduğu ve merkezi sinir sitemi, göz, solunum yolları tahrişi (burun ve boğaz), baş ağrısı, koordinasyon kaybı, mide bulantısı, karaciğer ve böbrek üzerinde olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Yüksek derişimlerde mukoza tahrişine ve genel narkotik etkiye sahiptir. İklim krizine neden olan gazlar arasında yer almaktadır (Uçar, 2014).

3. HAVA KALİTESİ DAĞILIM MODELLERİ

Bir olayın ilişkili olduğu değişkenlerin de dikkate alınmasıyla matematiksel olarak ifade edilmesine modelleme denir. Kaynaktan atmosfere bırakılan kirleticiler havadaki dikey karışım, rüzgar hızı, sıcaklık, ve rüzgar yönü gibi birçok meteorolojik faktörlerin de etkisiyle dağılırlar. Hava kalitesinin ölçümlerle direkt belirlenmesinin uzun zaman alması ve yüksek maliyet gerektirmesi sebepleriyle, ucuz ve hızlı bir yöntemle sonuç veren modellemelerin kullanımı önem arz etmektedir. Üstelik kirleticilerin birbirleriyle göstereceği reaksiyonları tahmin edememesinden dolayı direkt ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilir. Kaynaktan salınan emisyonların nereye, nasıl dağılacağı ve alıcı ortamdaki konsantrasyon seviyeleri bölgenin fiziki özellikleri, meteorolojik şartları ve kirleticinin karakteri ve çıkış hızı gibi parametreler bilinerek hesaplanabilmektedir (Erdoğan, 2012).

Modellemeler, meteorolojik şartlarla ilgili önceden bilgi edinmek, hava kakitesine tesirleri olan farklı parametrelerin etkilerini anlamak, emisyon envanterlemesinin çıkarılması ve hava kirliliğinin kontrol altına alınması için proaktif programlar geliştirilmesi için gerekli çalışmaların yapılmasına olanak sağlar.

Model uygulamaları çevresel etki değerlendirme raporlarında, minimum baca yüksekliğinin belirlenmesinde, endüstriyel tesisler için yer tayini ve planlaması için gerekli şartların belirlenmesinde, hava kalitesi politikaları geliştirilmesinde kullanılır ve bu bilgilerin kamu ile paylaşılmasına olanak sağlar.

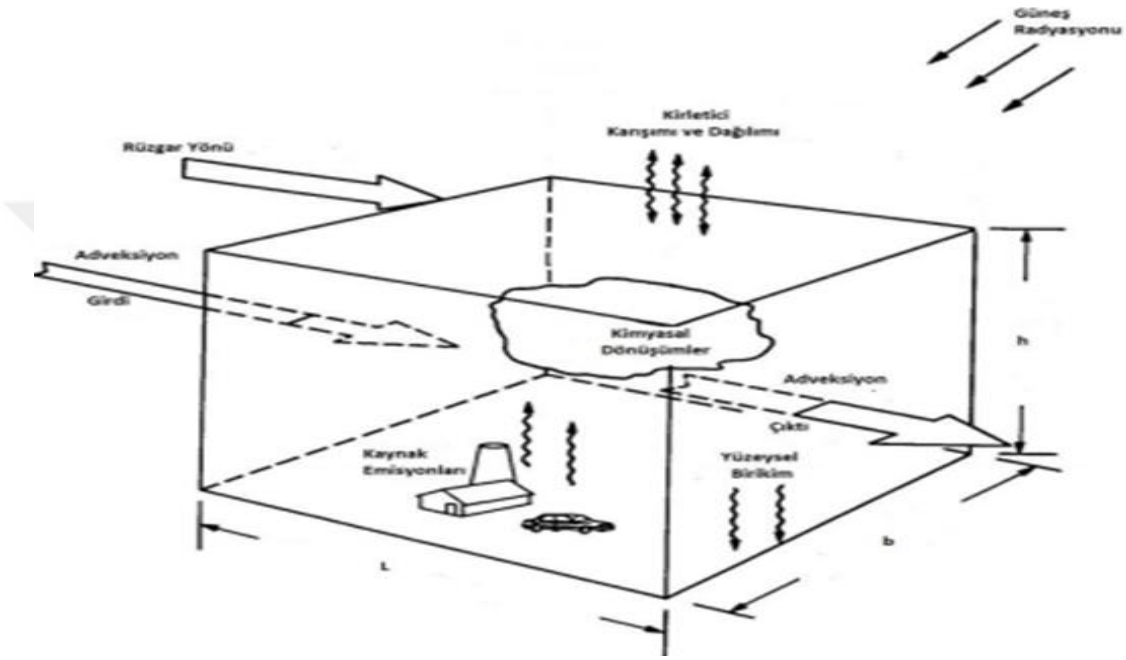
3.1. Modelleme Yöntemleri

Başlıca modelleme yöntemleri 4 başlık altında toplanabilir.

3.1.1. Kutu (Box) modellemesi

Lettau'nun 1970 yılında geliştirdiği kutu model, en basit matematiksel hava kirliği modelidir. Kirleticilerin homojen karışım halinde, bir kutu şeklinde düşünülen ve birden fazla noktasal kaynaktan oluşan alan içinde kütlenin korunumu ilkesine bağlı

kalarak, zamanın bir fonksiyonu olan hacimsel ortalama kirletici konsantrasyonu hesaplanır. Genelde keşif amaçlı kullanılır. Noktasal kaynaklardan dolayı oluşan difüzyonu dikkate alınmaz. Rüzgâr yönündeki adveksiyona(ısının yatay taşınımı) bağlı olarak taşınan kirleticileri dikkate alınır. Genelde düz bir topografya olduğu varsayımı yapılır ve taşınımın olduğu yöndeki ortalama rüzgâr hızı ve karışım yüksekliği modelde etkilidir. Prototip olarak Şekil 3.1'de de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Basit kutu modellemesi (Çelebi, 2014)

Kararlı şartlarda rüzgar hızının değişmediği düşünülürse konsantrasyon Denklem (3.1)' de verilmiştir;

$$X = \frac{\Delta x.qa}{zi.U} \qquad (3.1)$$

Burada;

(Δx) : Emisyonun aldığı mesafe,

qa : emisyon miktarı,

zi:karışım yüksekliği,

u:düşey yöndeki ortalama rüzgar hızını verir.

Bir kutu içerisindeki kütlenin değişim miktarı, kütlenin korunumu yasasına göre kutudaki bütün emisyon kaynaklarından oluşan kirleticilerin toplam miktarına eşit olup, yatay adveksiyon değişimi, karışım derinliği, dağılım yönünde alınan mesafe ve rüzgarın şiddeti gibi parametrelerden etkilenmektedir. Temel olarak bir kutu modelinde kütle denkliği aşağıdaki şekilde ifade edilir;

Girdi Miktarı=Çıktı Miktarı+Dönüşüm Miktarı+Birikim Miktarı

Bunun matematiksel olarak ifade edilişi Denklem (3.2)' de verilmiştir ;

$$Lh\frac{dC}{dt} = LQ_a + uh(Cb - C) + L\frac{\delta h}{\delta t}(C_a - C) \quad (3.2)$$

Burada;

L : Dağılım yönünde alınan mesafe

h : Karışım yüksekliği

u : Ortalama rüzgar hızı

C : Kutu içerisindeki ortalama kirletici konsantrasyonu

Ca : Şehir merkezinde z>h yüksekliğindeki ortalama kirletici konsantrasyonu

Cb : Rüzgârın geldiği yönde zemindeki ortalama kirletici konsantrasyonu

Qa : Hacimsel kirletici miktarı

Denklem (3.2) sadeleştirilirse;

$$\frac{dC}{dt} + \left(\frac{U}{L} + \frac{1}{h}\frac{\delta h}{\delta t}\right)C = \frac{Qa}{h} + \frac{uCb}{L} + \frac{1}{h}\frac{\delta h}{\delta t}Ca \quad (3.3)$$

Zemin seviyesindeki Ca ve Cb değerleri ihmal edilirse (Ca=0 ve Cb=0) ve kararlı hal şartlarının olduğu varsayımı ile ($\delta C/\delta t = 0, \delta h/\delta t = 0$) denge konsantrasyonu;

$$C_e = \frac{L}{h} \times \frac{Qa}{u} \quad (3.4)$$

Sonuç olarak Lettau' e göre; zamandaki artış ile konsantrasyon üstel olarak azalmaktadır;

$$C = C_e + (C_0 + C_e)e^{-\frac{t \times u}{L}} \quad (3.5)$$

Burada;

Co : t=0 anındaki başlangıç kirletici konsantrasyon.

Basit kutu modeli fotokimyasal kirleticilerin (ozon vs. gibi) kentsel alanlardaki dağılımını açıklamak için kullanılmaktadır. Kütlenin korunumu yasasına dayanan kutu modellerde basit meteoroloji ve emisyon girişine, kirletici hareketinin giriş ve çıkışına izin verilir. Kutunun içi tanımlanmamış ve değişmeyen konsantrasyon boyunca hava kütlesi çok iyi karıştırılmış gibi kabul edilmektedir. Kutu modellerinin bir avantajı, basitleştirilmiş meteorolojik kutu modellerinin daha fazla kimyasal reaksiyon şemaları ve aerosol dinamiği detaylı tedavisini içermektedir. Bu atmosferin doğasını ve kanununu daha iyi temsil eder. Böylece kirleticilerin yerel hareketine bakmaksızın kirleticinin formasyonları tahmin edilebilmektedir. Ancak başlangıç koşulları bir kutu modeline girerek kirleticilerin yerel konsantrasyonları hakkında herhangi bir bilgi vermeden kutunun içindeki kirleticilerin oluşumunu simüle eder. Bu sebeple kutu modellemesi meteorlojik şartların lokal olarak farklılık göstermesinden etkilenmeksizin kirletici hareketleri ile ilgilenir ve bu konu hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır (Çelebi, 2014).

3.1.2. Lagrangian modellemesi

Lagrangian Modelleri kirleticinin temel konsantrasyonunu yine bir kutu içinde kabul ederek hesaplaması sebebiyle kutu modelleriyle benzerlik içermektedir. Lagrangian Modeli daha sonra rüzgâr hareket ederken kutunun yörüngesini izler. Konsantrasyon kaynak teriminin bir ürünüdür ve yoğunluğunun fonksiyonunun x den x1 e hareketi hava kirleticisinin olasılığıdır.

Bu yöntem kirleticilerin yoğunluk farklarından dolayı oluşan konsantrasyon farklarını, rüzgara bağlı türbülansları ve moleküler difüzyonu hesaplayabildiği gibi kararlı olmayan meteorolojik şartlar ve dalgalanma özelliği gösteren rüzgar hızları ve yönlerini çözebilmektedir (Çelebi, 2014).

3.1.3. Eularian modelleme

Eularian modellemenin mantığı Lagrangian modelline benzemekle birlikte daha fazla kutu içermektedir. Eularian modellenin hesaplamaları üç boyutlu olarak yapması Lagrangian modeline göre en önemli anatajıdır. Kirleticilerin, yer yüzüne sabitlenmiş özel hacimli bir kutuda üniform olarak dağılması varsayımıyla çalışmaktadır. Eularian kutu modellemesi tek kutu ve çoklu kutu modelleme tipleri içermektedir. Tek kutu modellemede belirli bir bölgedeki emisyon kaynağı bütün kutuyu kaplamaktadır. Dikey yönde, yerden inversiyonun görüldüğü katmana göre sınırlandırılmıştır. Çoklu kutu modellemede, modelleme alanı kutu matriksi tarafından kaplanmıştır. Bu durum konsantrasyonların uzamsal dağılımını gözlemeye izin vermektedir. Tipik bir çoklu modelde kutu ölçekleri yatay düzleme eşitlenmiştir. Konsantrasyonlar her bir kutuda üniform olarak dağılmışlardır. Kutular arasındaki taşınım adveksiyonla oluşmakta, dikey taşınım ve difüzyon ihmal edilmektedir (Çelebi, 2014).

3.1.4. Gauss modellemesi

Gauss tipi modeller yaygın olarak atmosferik dağılım modellemesinde kullanılır ve özellikle Lagrangian ve Eularian modelleriyle iç içedir. Gauss modelleri gauss dağılımı duman bulutuna bağlı olarak yatay ve dikey yönlerde sabit konumdadırlar. Duman bulutunun genel dağılımı daha geniş mesafelere bağlı olarak türbülansın etkisine dayalı olarak ve karışım yüksekliğinin az olduğu sınır katmanlarına modifiye edilmiştir.

Gaussian Dağılımı dört temel varsayım üzerine kurulmuştur;

- Sürekli emisyon şartları,
- Kütlenin korunumu,
- Kararlı hal şartları,
- Düşey ve rüzgar yönünde dağılım

Bu dört varsayım detaylı olarak aşağıda belirtilmiştir.

1. Noktasal kaynak emisyonu (Q) sürekli kütle-akım debisine sahiptir.

2. Kirletici konsantrasyonunun noktasal kaynaktan çıkış anında zamana göre değişmediği, $\delta C/\delta t = 0$ olduğu varsayılır.

3. Yatay rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr yönü sabit olup değişmez.

4. Düşey ve rüzgâr yönünde difüzyon meydana gelir.

5. Rüzgâr yönünde dağılım (difüzyon) rüzgâr yönündeki taşınım ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir.

6. Çökelme, yıkanma, emisyonların kimyasal dönüşümü, zeminden emisyon difüzyonu ve emisyonun zeminde absorblanması, zeminden plume'ın yansımasının olmadığı kabul edilir.

7. Düşey dağılım için üst sınır olmadığı gibi yatay rüzgâr dağılımı olmadığı kabul edilir.

8. Kirleticinin dağılımı genişleyen bir konik plume olarak kabul edilir ve değişmez.
9. Reaktif olmayan kirleticiler için kullanılır (SO_2, PM, CO. gibi)

10. Model çok ince aerosol emisyonları (<20 μm) için başarılı olup, iri toz tanecikleri için modifikasyon gerekir.

11. 25 km'yi aşmayan mesafeler için uygundur.

12. Model Pasquill-Gifford kararlılık sınıflandırmasını kullanır.

13. Rüzgâr yönü mesafesini veren efektif difüzyon katsayılarının (σ y ,σ z) sabit olduğu kabul edilir.

Gaussian dağılım Modelinin C kirletici konsantrasyonu, Q kaynak şiddeti, yatay ve düşey dispersiyon katsayıları, 10 metredeki rüzgâr hızı, efektif baca yüksekliği dikkate alınarak 25 km'yi aşmayan mesafeler için reaktif olmayan kirleticilerin dispersiyonunu hesaplamak için başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir(Çelebi, 2014).

3.2. Çeşitli Hava Kalitesi Dağılım Modelleri

Hava kirliliği çalışmalarında kullanılan en yaygın modelleme yöntemleri 4 grup halinde sınıflandırılır. Bunlar;

Meteorolojik modeller: Lokal, bölgesel ve global meteorolojik olayları anlamak ve hava kirliliği difüzyon modelleri için gerekli meteorolojik verileri sağlamak amacıyla kullanılır.

Matematiksel modeller: Bu modeller ile atmosferik mekanizmanın matematiksel tanımlanması yapılarak emisyonların oluşturduğu etkiler belirlenmeye çalışılır.

Dispersiyon modelleri: Dispersiyon mekanizmasının tanımının en detaylı şekilde yapıldığı ve en karmaşık yaklaşıma sahip model tipidir. Ayrıca uzaysal ve zamansal uyuşmazlıkları tanımlamaları bakımından avantajlıdırlar. EPA tarafından onaylanan ve önerilen dispersiyon modelleri tercih edilerek hava kalitesi çalışmaları yapılmaktadır. EPA, yarıçapı 50 km'den az olan bir bölgenin modellemesinde SCREEN3, ISCT3, ISC-PRIME ve AERMOD gibi kararlı hal Gauss dispersiyon modellerini, yarıçapı 50 km'den fazla olan bir bölgenin modellemesinde ise kararsız hal Langrangien kabarık duman (PUFF) dispersiyon modeli olan CALPUFF'u önermektedir (US-EPA, 1995).

İstatistiksel modeller: Bu modeller hava kirleticiler, bu kirleticilere etkisi olan parametreler, meteorolojik değişkenler arasındaki ilişkileri belirleyen basitleştirilmiş fiziksel ve kimyasal kabuller ile atmosferde ölçülen veriler kullanılarak hava kirliliği çalışmalarında sıklıkla tercih edilen modellerdir. Mevcut istatistiksel modeller veriler arasındaki tekli veya çoklu ilişkiyi ampirik formüller ile ortaya koyar (Erdoğan, 2012).

3.2.1. AERMOD

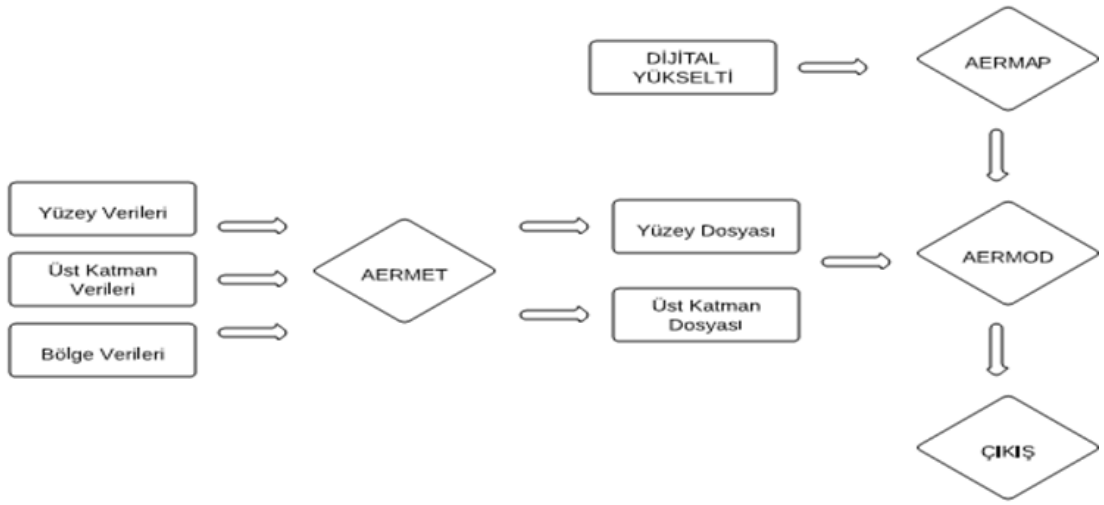
AERMOD modeli 1991 yılında geliştirilmeye başlanmış 2005 yılında da EPA tarafından kabul görmüş ve resmi olarak önerilmiştir. AERMOD modeli sanayi tesislerinden salınan kirleticilerin en fazla 50 km'ye kadar olan mesafelerdeki dağılımını inceleyen kararlı hal dağılım modelidir.

AERMOD atmosferik dağılım modellemesi 3 modülden oluşmaktadır. Bunlar; kirleticilerin atmosferdeki davranışları ile bölgenin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi sağlayan alıcı ortam için konum ve yükseklik datası oluşturan alan ön işlemcisi olan AERMAP, atmosfer tabakası çevresinin atmosferik türbülans karakteristikleri, sürtünme hızı ve yükseklikler gibi dağılım modeli için gerekli atmosferik parametreleri hesaplayan meteorolojik veri ön işlemcisi AERMET ve emisyon kaynakları ile onların karakteristiklerini barındıran model girdi dosyasıdır. AERMOD modelinin; yüzey pürüzlülük, rüzgar yönü ve rüzgar hızı değişkenlerine karşı yüksek hassasiyet gösterdiği daha önce yapılan çalışmalardan bilinmektedir (Erdoğan, 2012).

3.2.1.1. AERMOD giriş verileri

AERMOD modelleme programında, kentsel ve kırsal alan seçenekleri, düz ve karmaşık olan algoritmaları ve çoklu kaynak (noktasala, alansal, çizgisel, hacimsel) özellikleri mevcuttur. AERMOD modelleme programının meteorolojik ön işlemcisi olan AERMET programı ise, gezegensel sınır katmanı parametreleri, sürtünme hızı, monin-obukhov uzunlukları, sıcaklık ölçekleri, karışım yükseklikleri, yüzeysel ısı akısı gibi yöresel yüzey karakteristiklerini hesaplayabilmekte ayrıca yüzey pürüzlülüğü, öğle vakti albedosu ve bowen oranını da işleyebilmektedir. AERMET programı tüm bu hesaplamaları yapabilmesi için saatlik bazda hazırlanmış yüzeysel ve üst hava katmanı meteorolojik verilerine ihtiyaç duymaktadır.

Atmosferik sınır katmanının, yapısı ve yükselmesi, ısı akısına ve yeryüzü etkisine bağlı olarak değişen momentuma bağlıdır. Bu da, katmanın kalınlığına ve kirleticilerin buradaki dağılımına, yüzey pürüzlülüğü, yörenin albedosu, yeryüzünün nemliliği gibi yöreye özgü karakteristiklere bağlıdır. AERMOD programının akış diyagramı Şekil 3.2’ de verilmektedir (Demirarslan, 2012).



Şekil 3.2. AERMOD modelleme programının akış diyagramı (Demirarslan, 2012)

AERMET ön işlemci programı için gerekli meteorolojik veriler şunlardır;

1 - Saatlik yüzeysel meteorolojik verileri

-Rüzgar hızı ve yönü,

-Sıcaklık,

-Bulut geçirgenliği,

-Kuru hava yoğunluğu,

-Günlük bulut yükseklikleri,

-Yağış oranı.

2 – Üst hava katmanı meteorolojik verileri

-Atmosferik basınç,

-Verilerin alındığı noktanın yer seviyesinden yüksekliği,

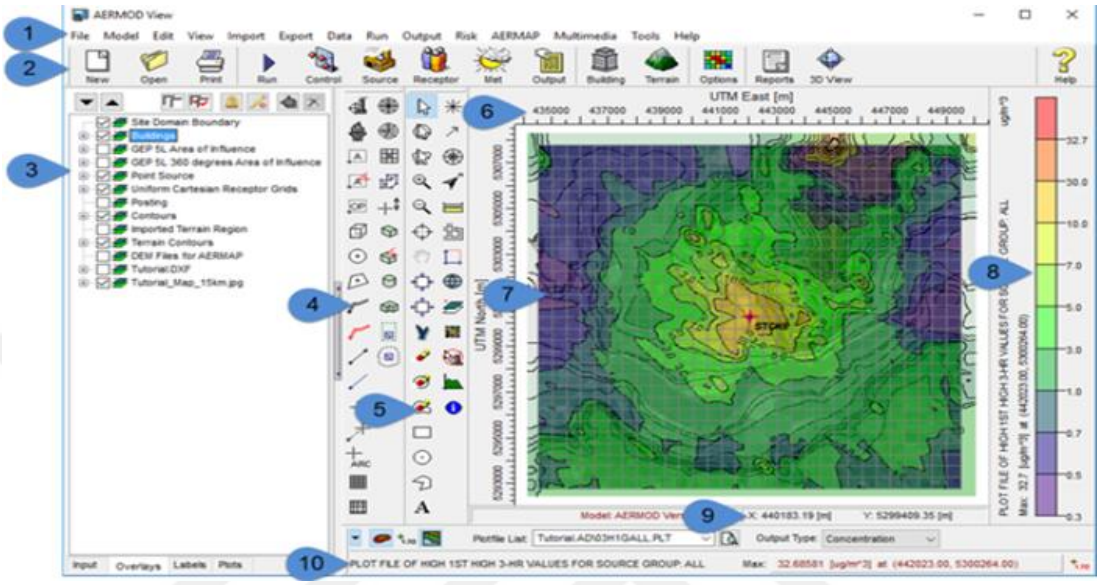
-Kuru termometre sıcaklığı,

-Rüzgar yönü(kuzey yönünden derece olarak),

-Rüzgar hızı (Demirarslan, 2012).

3.2.1.2. AERMOD view ana ekran ve buton açılımları

Şekil 3.3'de gösterilen AERMOD View arayüzünün bileşenleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 3.3. AERMOD kullanıcı arayüzü ekranı

1. Menü Çubuğu: Menü adlarını görüntüler. Bir menüyü açmak için fareyi menü adının üzerine getirin ve ardından farenin sol tuşuna tıklayın. İlgili komutların listesini görüntüleyen bir açılır menü görüntülenir.

2. Araç Çubuğu Düğmeleri: Bunlar, bazı menü komutlarını seçmek için hızlı bir yöntem sağlayan bir dizi düğmedir.

3. Ağaç Görünümü: Bu ekran seçeneği herhangi bir zamanda açılabilir veya kapatılabilir. Ağaç Görünümü'nde 5 sekme var.

o Giriş sekmesi: mevcut proje için belirtilen AERMOD giriş seçeneklerini gösterir.

o Etiketler sekmesi: katman etiketlerini açmanızı veya kapatmanızı sağlar.

o Bindirmeler sekmesi: çizim alanında hangi katmanların görülebileceğini belirlemenizi sağlar.

o Araziler sekmesi: geçerli proje çalışması için mevcut çıktı grafiği dosyalarını görüntüler. Bu sekme yalnızca projenizi başarıyla çalıştırdıktan sonra görüntülenir.

o Plume animasyon sekmesi: mevcut proje için plume animasyonunu görüntüler. Bu sekme, ancak çıkış yolundaki küme animasyonu özelliğini etkinleştirdikten sonra görüntülenir.

4. Uygulama Araç Çubuğu: Uygulama Araç Çubuğundaki araçlar, kaynaklarınızın, binalarınızın, ızgaralarınızın ve diğer nesnelerin konumunu grafiksel olarak tanımlamanıza izin verir. Uygulama Araç Çubuğu sabitlenebilir veya yüzebilir.

5. Ek Açıklama Araç Çubuğu: Ek Açıklama Araç Çubuğunda bulunan araçlar, çizim alanının içeriğini yönetmenizi ve modelleme projenizin sunumunu geliştirmenizi sağlar. Bu araçlarla nesneleri seçebilir, silebilir, çizim alanının bir bölümünü yakınlaştırıp uzaklaştırabilir, kaplamaların görüntüsünü kontrol edebilir ve temel haritaları içe aktarabilirsiniz. Ek Açıklama Araç Çubuğu kenetlenebilir veya yüzebilir.

6. Çizim Alanı: Projelerinizin kaynaklar, binalar ve ızgaralar gibi grafiksel olarak gösterildiği ana arayüzün büyük beyaz alanıdır. Burada haritaları görselleştirebilir, nesneleri grafiksel olarak belirleyebilir ve model sonuçlarını görüntüleyebilirsiniz.

7. Eksen Etiketleri: X ve Y ekseni etiketleri, çizim alanının üst ve sol tarafına yerleştirilir. Bu etiketler, modelleme alanı için gerçek koordinat değerlerini gösterir. Eksen Cetvel Seçenekleri sayfasında değiştirilebilir.

8. Renk Rampası: Renk Rampası, konturlarınız için seçtiğiniz renkleri Grafik Seçenekleri iletişim kutusundan görüntüler. Renk rampasını görüntüleme veya gizleme ve ana pencerede konumunu seçme seçeneğiniz vardır

9. Koordinatlar Paneli: Bu alan, fare imlecinin işaret ettiği konumun X ve Y koordinatlarını görüntüler.

10. Grafiksel Çıkış Araç Çubuğu: Grafiksel Çıkış Araç Çubuğundaki araçlar, şekillendirme, sonuçların kaydedilmesi ve çizim alanında görüntülenecek çizim dosyasını seçmenizi kolayca açıp kapatmanıza olanak sağlar.

4. MATERYAL METOD

4.1. Çalışma Alanı

Adını 1320 yılında İzmit yöresini fetheden Akça Koca'dan alan Kocaeli İli 2018 itibarıyla 1.906.391 kişilik nüfusa sahiptir. 3.505 km^2 yüzölçümüne sahip olan il, Asya ile Avrupa arasında önemli bir kavşakta yer almaktadır. Km^2'ye düşen nüfus miktarının 398 kişi olması ile İstanbul'dan sonra ülkenin en yoğun ili olmuştur (Url-5).

2016 yılının Temmuz ayında Gebze – İzmir Otoyolu Projesi dahilinde Marmara Denizi'nin doğusunda İzmit Körfezi'nin Dilovası Dil Burnu ile Altınova'nın Hersek Burnu'nu bağlayan, orta açıklığı 1550 metre ve toplam uzunluğu ise 2682 metre olan Osman Gazi Köprüsü, Kocaeli İli Dilovası İlçesi ile Yalova İli Altınova İlçesi istikametinde Körfez geçişini 6 dakikada mümkün hale getirmesiyle deniz yoluna yeni bir alternatif oluşturmuştur (Url-6).

Kocaeli İli'nin ana trafiğini oluşturan Devlet Yolları (D-100), Otoyollar ve Osmangazi Köprüsü verileri çalışmaya dahil edilmiş ve çalışma alanına ait harita Şekil 4.1'de verilmiştir. Çalışmaya dahil olan yolara ait uzunluk ve kategorilerine göre taşıt geçiş sayıları Tablo 4.1-4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışma alanı (Url-7)

Tablo 4.1. 2015 ve 2017 yılları için Otoyollardan geçen günlük taşıt sayıları ve yol uzunlukları (Url-8)

			2015		2017	
	Güzergah	Uzunluk (km)	Hafif Taşıt	Ağır Taşıt	Hafif Taşıt	Ağır Taşıt
			(taşıt/gün)			
OTOYOL	Orhanlı-Şekerpınarı	4,3	76.452	34.540	73.713	27.689
	Şekerpınarı-Gebze	10,2	52.552	26.354	57.536	24.723
	Gebze-Dilovası	6,2	53.718	25.451	58.232	22.143
	Dilovası-Batı Hereke	6,1	53.042	25.619	54.176	21.492
	Batı Hereke-Doğu Hereke	2,4	51.719	24.318	52.681	20.292
	Doğu Hereke-Körfez	13,4	52.316	24.831	53.243	20.820
	Körfez-Batı İzmit	7,2	49.853	25.709	50.743	21.581
	Batı İzmit-Doğu İzmit	30,5	34823	18944	35289	16389

Tablo 4.2.a. 2015 Yılı D-100 yolları uzunlukları ve taşıt sayıları (Url-8)

	Güzergah	Uzunluk (km)	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon	Tır
DEVLET YOLU (D-100)	Çayırova-Gebze	6	61686	4271	1061	7594	4135
	Gebze-Dilovası	14	35346	2515	212	5664	5886
	Dilovası	1	17586	1243	223	2662	3688
	Dilovası-Körfez	20	21241	1498	308	3294	3796
	Körfez-Derince	10	42089	2363	255	3907	2529
	İzmit	11	44000	3154	208	5155	3020
	İzmit-Başiskele	10	47526	2503	693	5104	4667
	Başiskele-Gölcük	8	18813	887	556	2325	3329
	Gölcük-Karamürsel	18	21936	1520	525	2741	2406
	Karamürsel-Altınova	10	*	*	*	*	*
	Altınova-Yalova	21	21905	1520	524	2718	2675

***** Karamürsel-Altınova Yolu 2015 yılında henüz aktif olmadığından verileri yoktur.

Tablo 4.2.b. 2017 Yılı D-100 yolları uzunlukları ve taşıt sayıları (Url-8)

	Güzergah	Uzunluk (km)	Otomobil	Orta Yüklü Ticari Taşıt	Otobüs (taşıt/gün)	Kamyon	Tır
DEVLET YOLU (D-100)	Çayırova-Gebze	6	76793	7572	643	6442	4861
	Gebze-Dilovası	14	44002	4459	128	5141	6919
	Dilovası	1	22027	2484	317	2880	4081
	Dilovası-Körfez	20	26149	2632	348	3089	4186
	Körfez-Derince	10	50830	3816	411	3699	3198
	İzmit	11	52961	4682	338	5120	3724
	İzmit-Başiskele	10	51503	3516	715	3912	4118
	Başiskele-Gölcük	8	18098	1171	518	1617	2495
	Gölcük-Karamürsel	18	21103	2007	489	1738	1803
	Karamürsel-Altınova	10	16286	1945	335	2079	2327
	Altınova-Yalova	21	23865	2341	318	3175	3211

Tablo 4.3. 2017 Yılı Osmangazi Köprüsü uzunluk ve taşıt sayıları (Url-8)

OSMANGAZİ KÖPRÜSÜ	Uzunluk (km)	1.Sınıf	2.Sınıf	3.Sınıf	4.Sınıf	5.Sınıf	6.Sınıf
	2682	5683333*	643082*	139465*	222740*	3476*	13049*

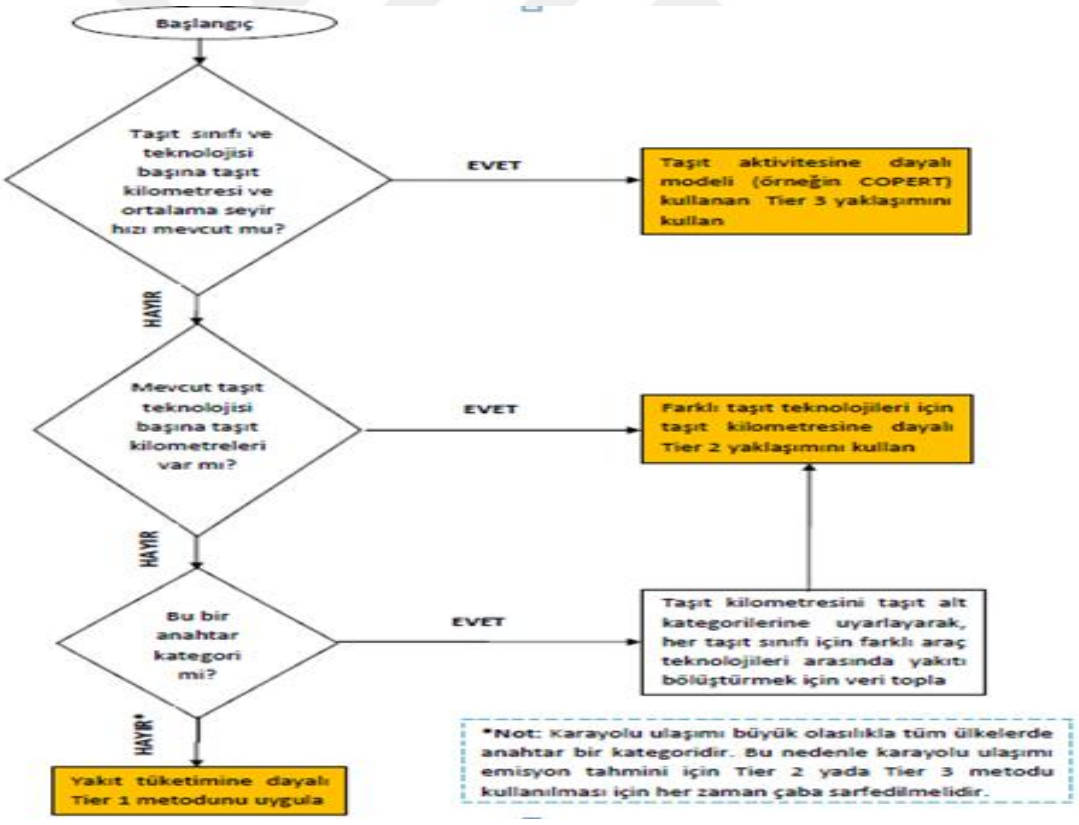
* Yıllık toplam taşıt geçişlerini göstermektedir.

4.2. Yöntem

4.2.1. Tier yaklaşımları

Emisyonları hesaplama metodları "Tier" şeklinde ifade edilen çeşitli kademelere ayrılmıştır. Kademeyi belirleyen faaliyet ve teknolojik özelliklerdir. Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntemken, Tier 3 metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Daha yüksek kademe denilebilen Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri temel olarak benzer mantıkla kullanılmaktadır. Kullanılacak veri girdileri daha detaylı hale getirildikçe yeni bir Tier aşamasına geçiliyor denilebilir (Pekin, 2006).

Egzoz emisyonları hesaplamalarında metodoloji tercihi için Şekil 4.2' de verilen yönlendirmeler takip edilerek karar verilebilir.



Şekil 4.2. Karayolu taşımacılığından kaynaklanan egzoz emisyonları için karar ağacı (Yıldırım, 2010)

Bu çalışmada, elde edilebilecek veriler de göz önünde bulundurulup Tier 1 yaklaşımı kullanılarak emisyon hesaplamaları yapılmıştır.

4.2.1.1. Tier 1 metodu

Ulaştırma sektöründen kaynaklanan bütün emisyon değerlerinin hesabı, kullanılan yanma teknolojosi hesaba katılmadan yakıtın yanması üzerine kurulmuş durumdadır. Basitçe ifade edilecek olursa, sarfedilen yakıtla orantılı olarak emisyon oluşacağı kabulü ile hesaplama yapılır. Özellikle CO_2 emisyonu hesabı için bu yöntem iyi bir şekilde düzenlenebilmiştir. CO_2 dışındaki gazlar için basit bir metod geliştirilmiştir.

Gerçekte, bu gazların emisyonları için kullanılan yakıt tipi, yanma teknolojisi, çalışma koşulları, kontrol teknolojisi, araç yaşı ve özellikleri gibi veriler kullanılmalıdır. Fakat çoğu ülkenin bu tip detaylı verilere sahip olmadığı gerçeği göz önünde bulundurulduğunda bu iyileştirmeler yapılmaksızın, yaklaşık bir sonuç vermesi planlanan bir hesaplama yöntemi izlenecektir (Pekin, 2006).

Egzoz emisyonlarının hesabında Tier 1 yaklaşımı için aşağıdaki Denklem (4.1) kullanılır:

$$E_i = \sum_j (\sum_m (FC\,j, m \times EFi, j, m) \quad (4.1)$$

E_i : i kirletici maddesinin emisyonu (g)

$FC_{j,m}$: m yakıtını kullanan j araç kategorisi için yakıt tüketimi (kg)

$EF_{i,j,m}$: j araç kategorisi ve m yakıt için i kirletici maddesinin yakıt tüketimi (g/kg)

Binek otomobiller, hafif ticari taşıtlar, ağır ticari taşıtlar, motosikletler ve mopedler bu metodolojide ele alınan taşıt kategorileridir. Ele alınan yakıtlar benzin, diesel, LPG ve doğal gazı içermektedir. Ulusal istatistikler taşıt kategorileri detaylarını içermediğinden, bu denklem yakıt tüketimi istatistiklerinin araç kategorilerine göre ayrılmasını gerektirir (EEA, 2017).

Bazı kirletici türleri için geçerli emisyon faktörleri Tablo 4.4-4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.4. CO ve NMVOC'ler için Tier 1 emisyon faktörleri (EEA, 2017)

Kategori	Yakıt	CO (g/kg yakıt)			NMVOC (g/kg yakıt)		
		Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
Binek Otomobil	Benzin	84.7	49.0	269.5	10.05	5.55	34.42
	Dizel	3.33	2.05	8.19	0.7	0.41	1.88
	LPG	84.7	38.7	117.0	13.64	6.10	25.66
Hafif Ticari Taşıt	Benzin	152.3	68.7	238.3	14.59	3.91	26.08
	Dizel	7.40	6.37	11.71	1.54	1.29	1.96
Ağır Ticari Taşıt	Dizel	7.58	5.73	10.57	1.92	1.33	3.77
	CNG	5.70	2.20	15.00	0.26	0.10	0.67
İki Tekerli	Benzin	497.7	331.2	664.5	131.4	30.0	364.8

Tablo 4.5. NO_X ve PM'ler için Tier 1 emisyon faktörleri (EEA, 2017)

Kategori	Yakıt	NO_X (g/kg yakıt)			PM (g/kg yakıt)		
		Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
Binek Otomobil	Benzin	8.73	4.48	29.89	0.03	0.02	0.04
	Dizel	12.96	11.20	13.88	1.10	0.80	2.64
	LPG	15.20	4.18	34.30	0.00	0.00	0.00
Hafif Ticari Taşıt	Benzin	13.22	3.24	25.46	0.02	0.02	0.03
	Dizel	14.91	13.36	18.43	1.52	1.10	2.99
Ağır Ticari Taşıt	Dizel	33.37	28.34	38.29	0.94	0.61	1.57
	CNG	13.00	5.50	30.00	0.02	0.01	0.04
İki Tekerli	Benzin	6.64	1.99	10.73	2.20	0.55	6.02

Tablo 4.6. Farklı karayolu ulaşımı fosil yakıtları için Tier 1 CO_2 emisyon faktörleri (EEA, 2017)

Taşıt Sınıfı	Yakıt Türü	kg yakıt başına Kg CO_2*
Tüm Taşıt Türleri	Benzin	3.180
Tüm Taşıt Türleri	Dizel	3.140
Tüm Taşıt Türleri	LPG**	3.017
Tüm Taşıt Türleri	CNG(veya LNG)***	2.750
Tüm Taşıt Türleri	E5****	3.125
Tüm Taşıt Türleri	E10****	3.061
Tüm Taşıt Türleri	E85****	2.104

* CO_2 emisyon faktörlerinde yakıtın karbon içeriği temel alınmıştır ve yakıttaki karbonun %100'nün oksitlendiği varsayılmıştır (maksimum CO2).

** LPG'nin %50'sinin bütan, %50'sinin ise propan olduğu kabul edilmiştir.

*** CNG ve LNG'nin tamamının metan olduğu kabul edilmiştir.

**** E5, E10 ve E85 karışımlarının sırasıyla %5, %10 ve %85 hacimde etanol (biyo-etanol veya sentetik atanol) ve %95, %90 e %15 benzin içeridiği varsayılmıştır.

Her m tipi yakıt için SO_2 emisyonları, yaktın içindeki tüm kükürdün tamamen SO_2'ye dönüştüğü kabul edilerek aşağıdaki Denklem (4.2)'den hesaplanmıştır.

$$E_{SO2,m} = 2 \times k_{S,m} \times FC_m \quad (4.2)$$

$E_{SO2,m}$ = m yakıtı başına SO2 emisyonları (g)

$k_{S,m}$ = m yakıtı içindeki kükürdün kütlesel oranı (g/g yakıt)

FC_m = m tipi yakıtın yakıt tüketimi (g)

Yakıt kükürt içeriği için tipik değerler, yakıt özelliklerindeki zorunlu iyileştirmeler sayesinde değişkenlik göstermiştir. 2009 yılından itibaren kükürt en fazla 10 ppm olacak şekilde düzenlenmiştir.

Tablo 4.7. Tier 1 için yakıtın tipik kükürt oranı (1 ppm = 10^{-6} g/g yakıt)(EEA, 2017)

Yakıt Türü	Temel Yakıt 1996	Yakıt 200	Yakıt 2005	Yakıt 2009
Benzin	165 ppm	130 ppm	40 ppm	40 ppm
Dizel	400 ppm	300 ppm	40 ppm	8 ppm

Tier 1 yaklaşımının kullanılması için ilgili yakıt istatistikleri ve kullanılan her yakıt türü için istatistiklerin bilinmesi gerekmektedir. Yakıtların çoğu için (benzin, diesel, LPG) bu istatistiklere ulusal seviyede ulaşmak mümkündür. Bununla birlikte yavaş dolan CNG taşıtları için (genellikle doğal gaz şebekesinden doldurulur) veri toplamak daha zor olabilir ve tahminlerin yapılması gerekebilmektedir. Ayrıca çoğu ülke için şu anki emisyonlar ve karayolu ulaşımı yakıt tüketimine bunun katkısı genellikle ihmal edilebilmektedir. Tier 1 metodolojisi 4 taşıt kategorisine göre yakıt satışlarının detaylandırılmasını istemektedir. Bu nedenle envanter çalışmasını gerçekleştirecek kişi Tier 1 algoritmasını kullanırken satılan her yakıt türünün toplam miktarının farklı taşıt kategorilerince harcanan yakıt toplamına eşit olduğundan emin olmalıdır. Bu durum Denklem (4.3) ile ifade edilir (EEA, 2017):

$$FC_m = \sum_j (FCj, m) \quad (4.3)$$

Tablo 4.8 kullanılan taşıt kategorisine göre harcanan yakıt tüketimini göstermektedir. Bu tablonun amacı hangi taşıt kategorilerinde, kullanılan yakıt türüne göre tüketilen yakıtı g/km cinsinden belirtmesidir.

Tablo 4.8. Her bir taşıt kategorisi için km başına Tier 1 tipik yakıt tüketimi EEA, 2017)

Taşıt Kategorisi	Yakıt	Karakteristik Yakıt Tüketimi (g/km)
Binek Otomobiller	Benzin	70
	Dizel	60
	LPG	57.5
	E85	86.5
	CNG	62.6
Hafif Ticari Taşıtlar	Benzin	100
	Dizel	80
Ağır Ticari Taşıtlar	Dizel	240
	CNG (otobüsler)	500
İki Tekerlekli Taşıtlar	Benzin	35

4.2.1.2. Tier 2 metodu

Tier 2 yaklaşımı farklı taşıt kategorileri tarafından kullanılan yakıt ve emisyon standartlarını ele almaktadır. Bu nedenle Tier 1 yaklaşımında kullanılan 4 geniş taşıt kategorisi, emisyon kontrol yasalarına göre farklı k teknolojileri alt sınıflarına bölünmüştür. Bu nedenle kullanıcı teknoloji başına gidilen yıllık yolu ve taşıt sayısını girmelidir (ya da teknoloji başına taşıt kilometresi sayısını girmelidir). Bu taşıt kilometresi verileri Tier 2 emisyon faktörleri ile çarpılır. Hesaplamada aşağıdaki Denklem (4.4) kullanılır;

$$E_{i,j} = \sum_k (< Mj, k > \times EFi, j, k) \quad (4.4)$$

veya

$$E_{i,j} = \sum_k (Nj, k \times Mj, k \times EFi, j, k) \quad (4.5)$$

<Mj,k> = k teknolojisi ve j kategorisindeki tüm araçların toplam yıllık gidilen mesafesi (taşıt-km)

EFi,j,k = k teknolojisi ve j taşıt kategorisi için i kirleticisinin teknolojiye özgü emisyon faktörü (g/ taşıt-km)

Mj,k = k teknolojisi ve j kategorisindeki her bir araç için ortalama yıllık gidilen mesafe (km/taşıt)

Nj,k = k teknolojisi ve j kategorisi için ülke filosundaki taşıt sayısı (taşıt) (Yıldırım, 2010)

4.2.1.3. Tier 3 metodu

Tier 3 metodunda egzoz emisyonları kesin bir teknik data (emisyon faktörleri gibi) ile aktivite datasının (toplam taşıt km'si gibi) kombinasyonu kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu yöntem 'Detaylı Metodoloji' olarak da adlandırılır ve Copert 4 simülasyon programında kullanılan metodolojidir.

Tier 3 metodunda karayolu ulaşımından kaynaklanan toplam egzoz emisyonları, sıcak emisyonlar (motor normal çalışma sıcaklığındayken) ile geçici termal motor çalışması boyunca ortaya çıkan emisyonların (terminolojide 'ilk çalıştırma (motorun soğuk iken çalıştırılması) emisyonları olarak geçer) toplamıyla hesaplanabilmektedir. Sıcak stabil faz ile geçici ısınma fazı sırasında ortaya çıkan emisyonlar arasındaki fark, bu iki durum boyunca taşıtın emisyon performansındaki gözle görülür farktan dolayı şarttır. Isınma periyodu boyunca ortaya çıkan bazı emisyonların konsantrasyonu sıcak çalışma esnasında çıkanlara göre çok daha fazladır ve bu periyot boyunca ek emisyonları kestirebilmek için farklı bir metodolojik yaklaşım gereklidir.

Özetlemek gerekirse; toplam emisyonlar aşağıdaki Denklem (4.6) ile hesaplanabilir:

$$E_{TOPLAM} = E_{SICAK} + E_{SOĞUK} \quad (4.6)$$

E_{TOPLAM} = Herhangi bir kirleticinin toplam emisyonu (g)

E_{SICAK} = Stabilize (sıcak) motor çalışması boyunca ortaya çıkan emisyonlar (g)

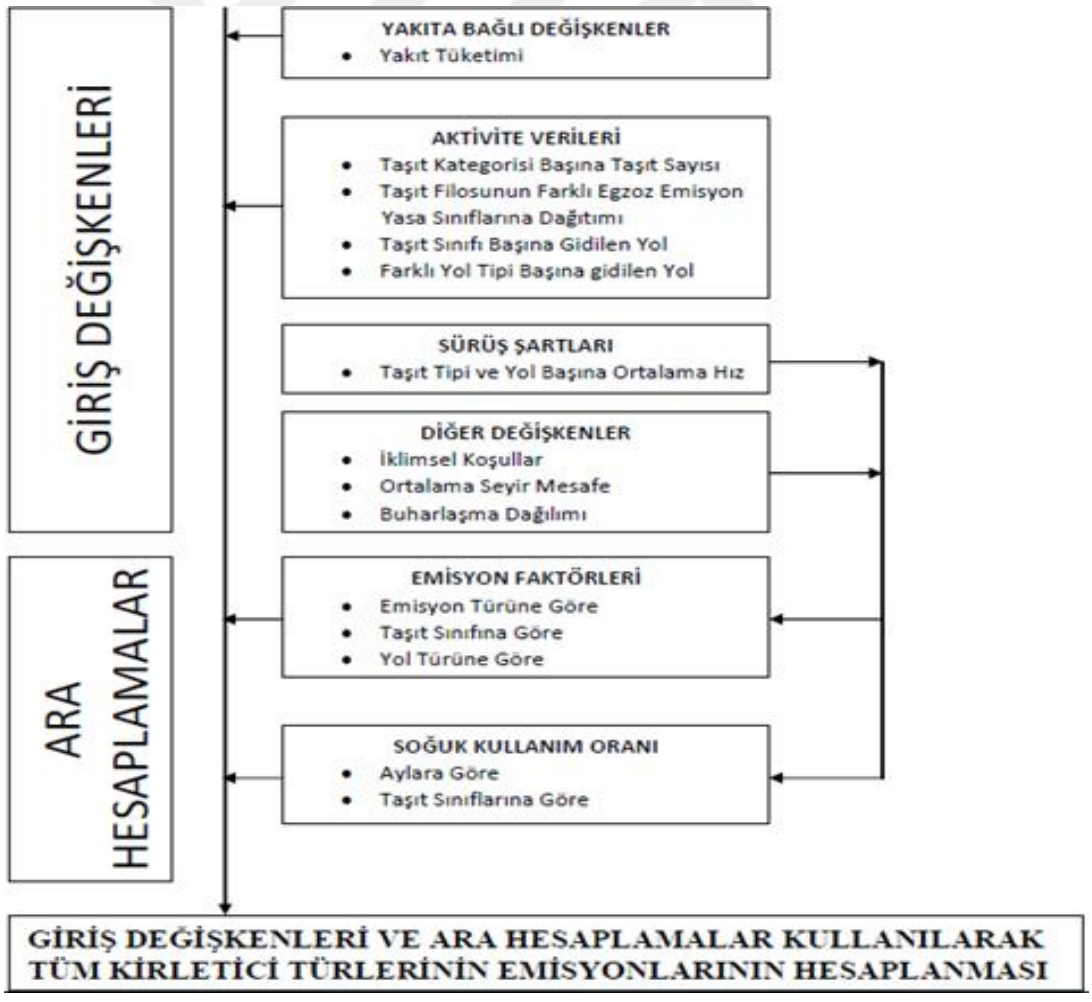
$E_{SOĞUK}$ = Geçici termal motor çalışması (ilk çalıştırma) boyunca ortaya çıkan emisyonlar (g)

Taşıt emisyonları çoğunlukla motorun çalışma şartlarına bağlıdır. Farklı sürüş durumları, farklı motor çalışma şartları oluşturmakta ve böylece farklı bir emisyon performansına neden olmaktadır. Bu sebepten ötürü kentsel, kırsal ve otoyol sürüşleri arasında bir farklılık oluşturulur. Her bir sürüş şartı (kentsel, kırsal, otoyol) için farklı aktivite dataları ve emisyon faktörleri kullanılmaktadır. Soğuk çalışma (ilk

çalıştırma) sırasında ortaya çıkan emisyonlar çoğunlukla kentsel sürüşe mal edilmektedir (nadiren kırsal sürüşe). Böylece sürüş koşulları göz önünde olduğu sürece toplam emisyonlar aşağıdaki Denklem (4.7) ile hesaplanabilir.

$$E_{TOPLAM} = E_{KENTSEL} + E_{KIRSAL} + E_{OTOYOL} \quad (4.7)$$

Bu formülde, $E_{KENTSEL}$, E_{KIRSAL}, E_{OTOYOL}, sırasıyla her bir sürüş şartı için herhangi bir kirleticinin toplam emisyonudur (g). Toplam emisyonlar, uygun emisyon faktörlerine sahip her bir taşıt kategorisi için aktivite dataları birleştirilerek hesaplanmaktadır. Emisyon faktörleri girilen dataya (sürüş durumları, hava şartları) göre değişmektedir. Ayrıca kullanıcı ve hesaplamalar tarafından sağlanan değerler arasında bir yakıt dengesi sağlamak için yakıt tüketimi ve yakıt özellikleri hakkında bilgi gereklidir. Giriş değişkenleri ve ara hesaplamaların bir özeti Şekil 4.3'de akış şemasında verilmiştir (Yıldırım, 2010).

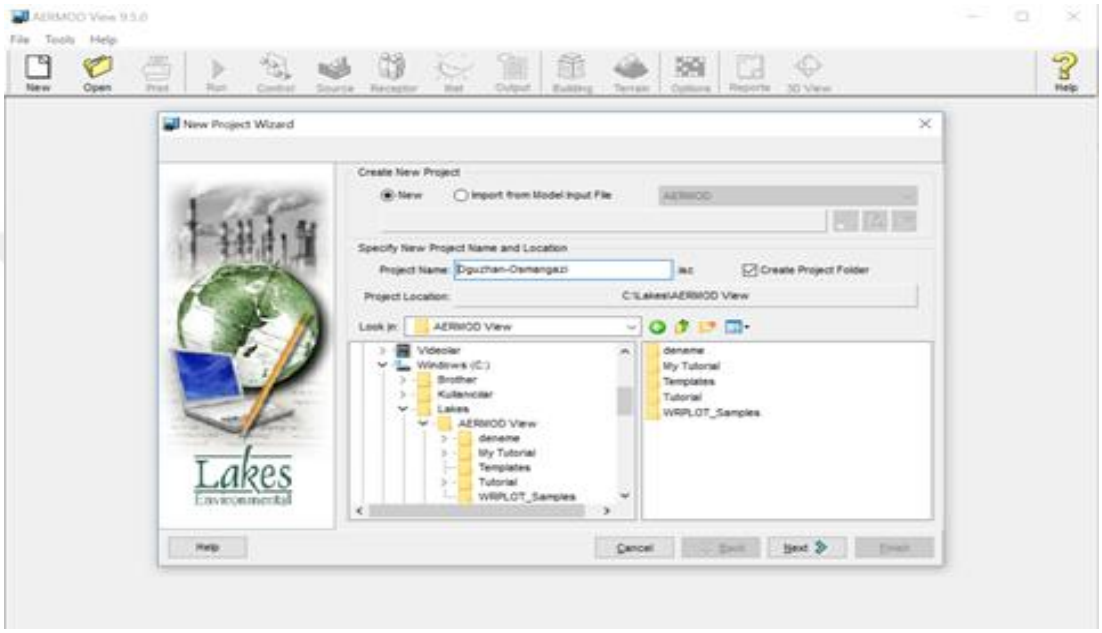


Şekil 4.3. Tier 3 metodolojisinin akış şeması (Yıldırım, 2010)

4.2.2. Modelleme kullanımı

Elde edilen verilerin atmosferik dağılımını incelemek için AERMOD Modelleme Programı kullanılmıştır. Verilerin modele girişi ve model kullanım adımları ekran görüntüleri ile beraber Şekil 4.4-4.15'de gösterilmiştir.

-Yeni proje oluşturulur:



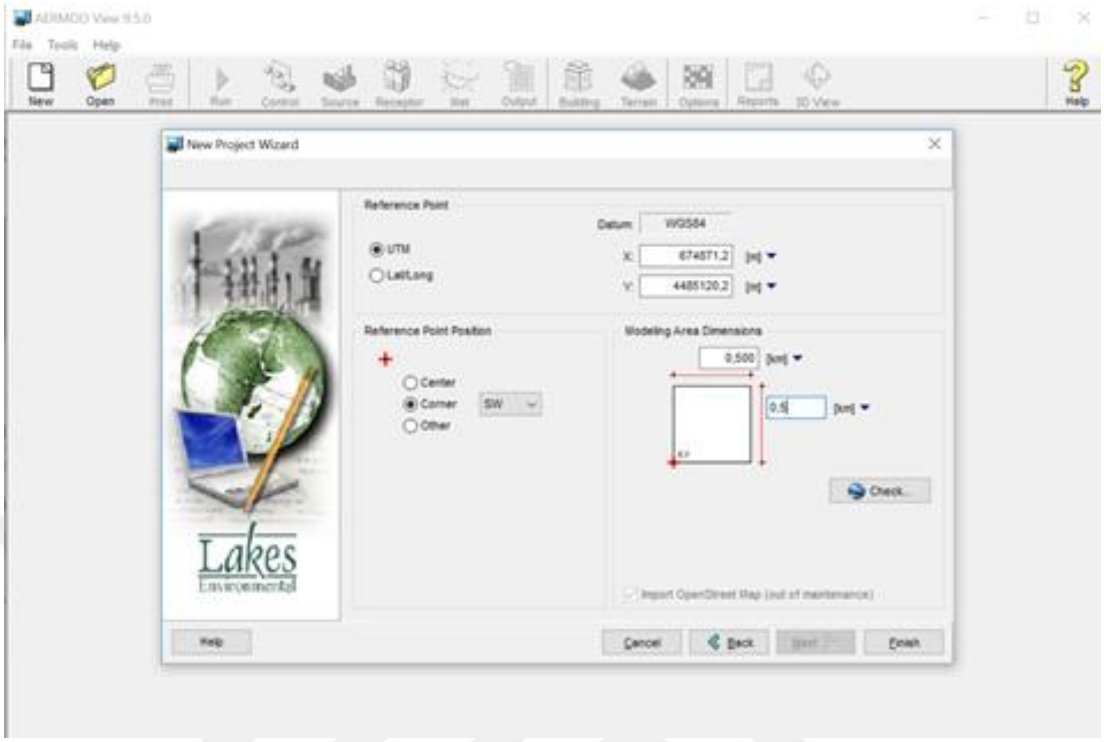
Şekil 4.4. Yeni proje oluşturulması

-Koordinat sistemi seçilir:

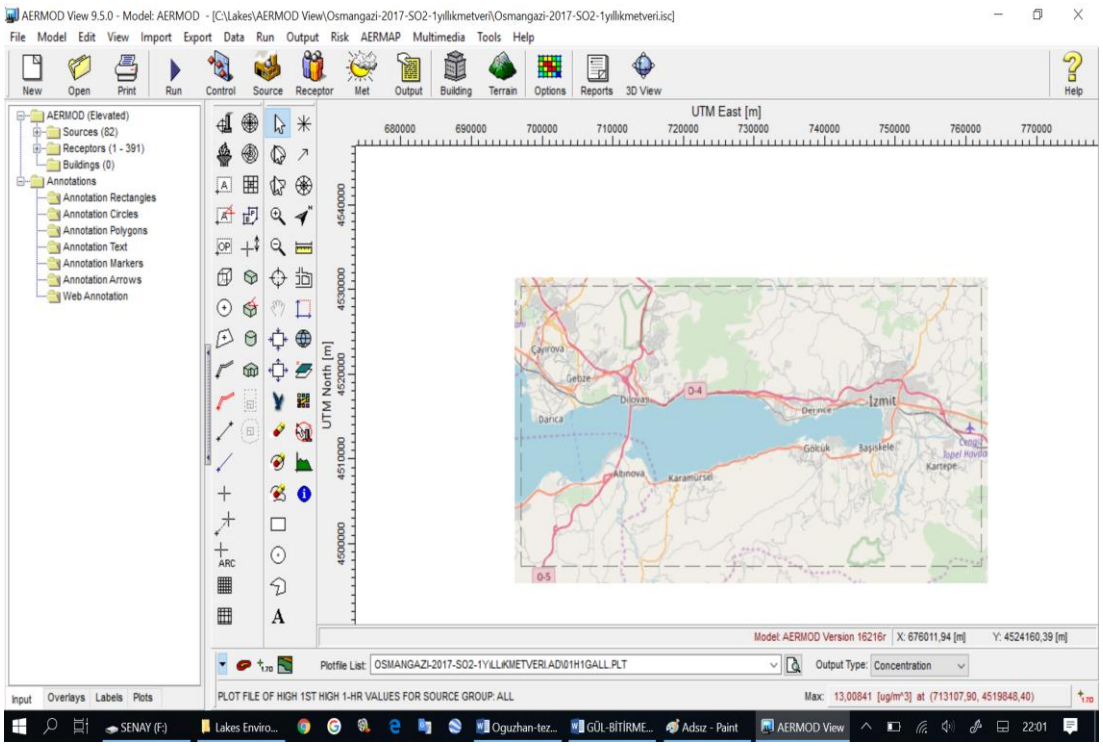


Şekil 4.5. Koordinat sistemi tercih ekranı

-Modelleme alanının koordinat bilgisi girilerek google earthden harita çekilir:

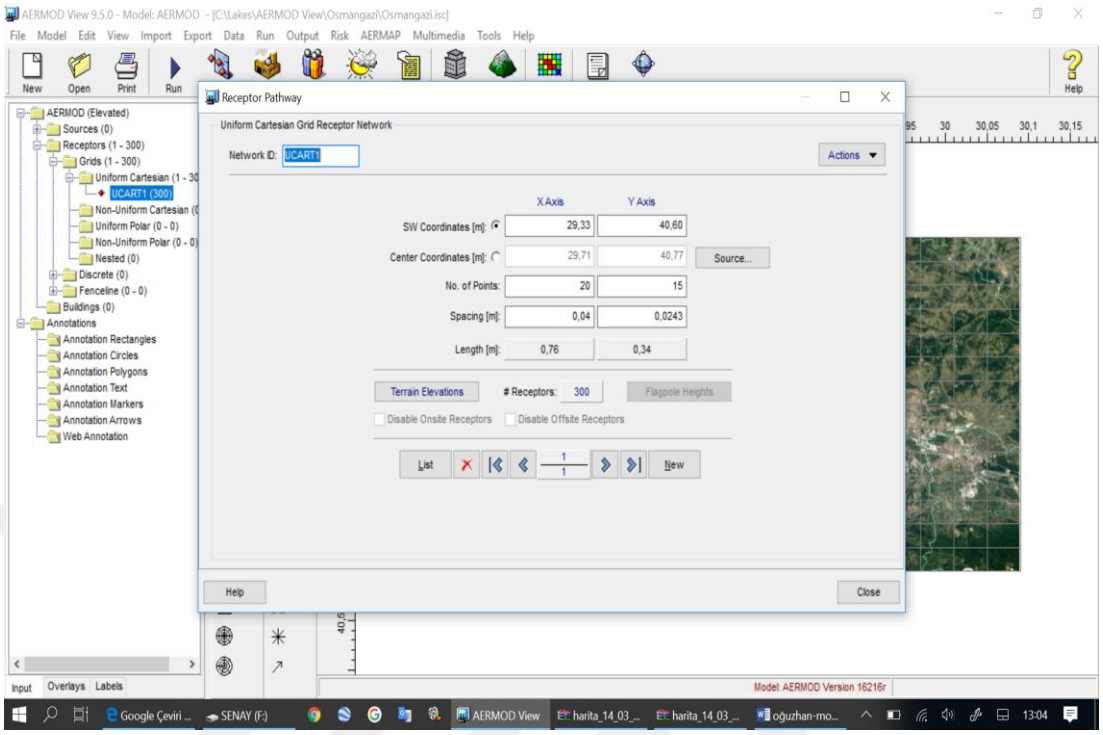


Şekil 4.6. Manuel koordinat girme ekranı



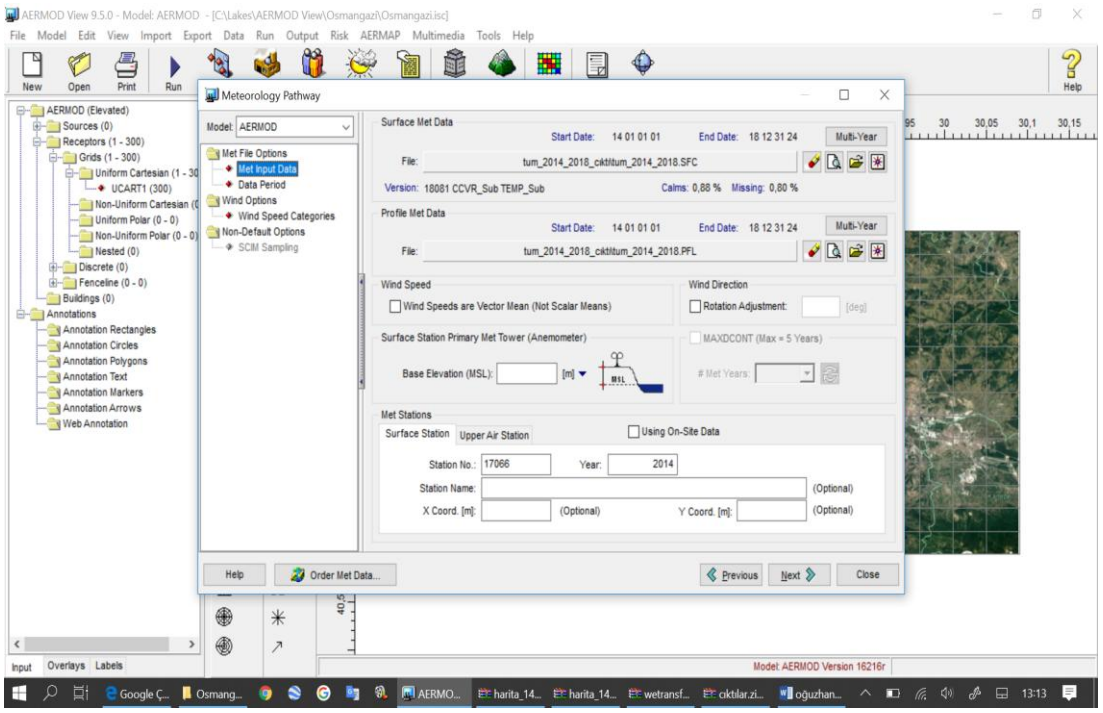
Şekil 4.7. Haritanın oluşturulması

-Alıcı noktaları girilir: Bu çalışma için 300 alıcı noktası seçilmiştir.

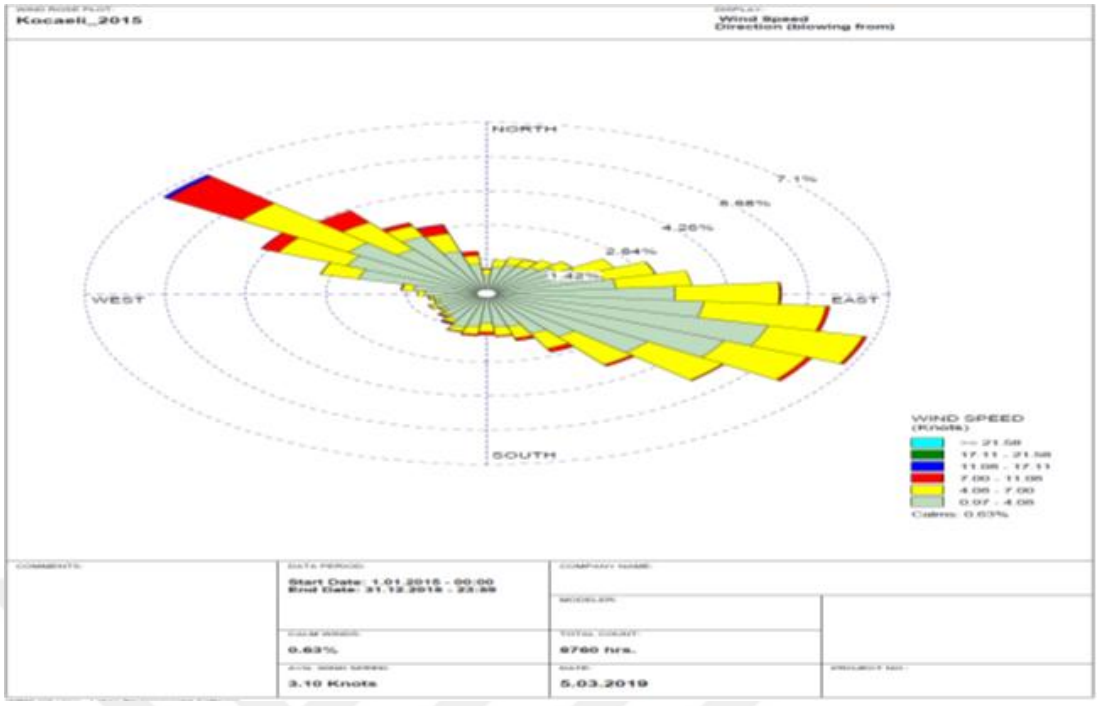


Şekil 4.8. Alıcı noktalarının belirlenmesi ekranı

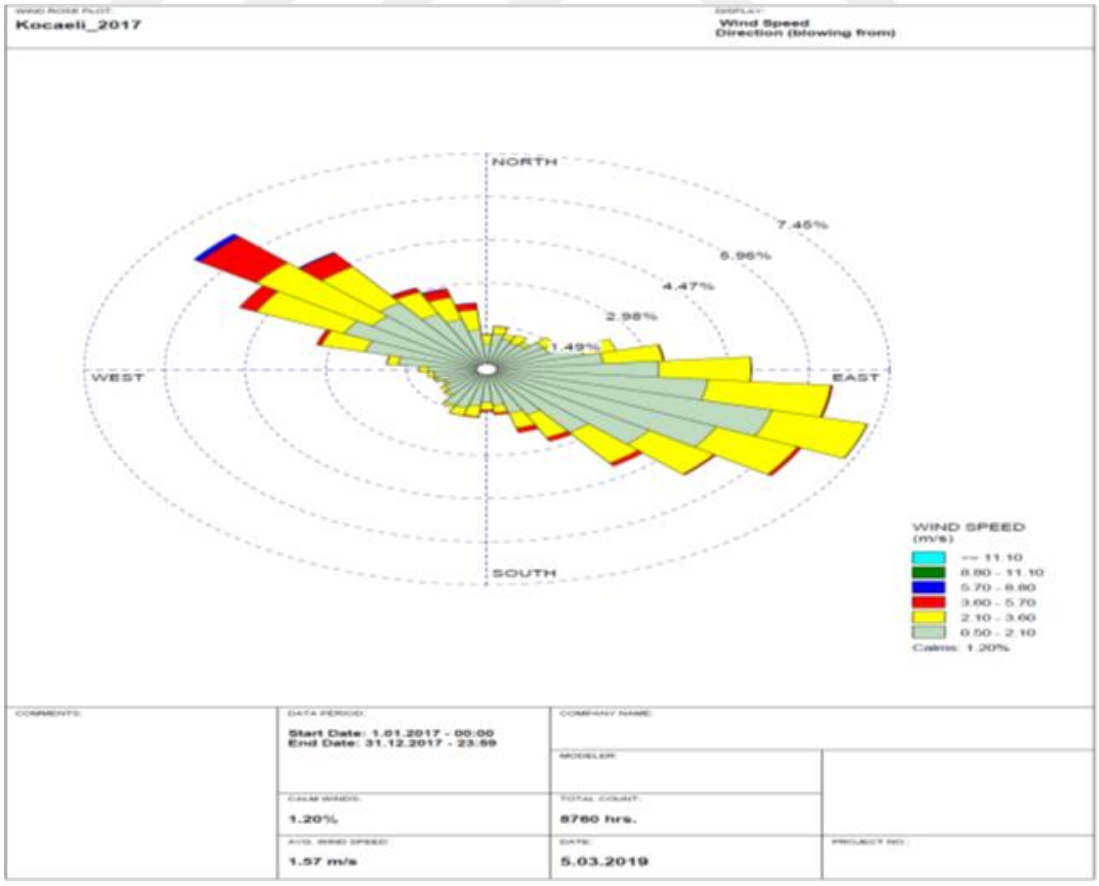
-Meteorolojik dosya girilir:



Şekil 4.9. Meteorolojik veri girdisi ekranı

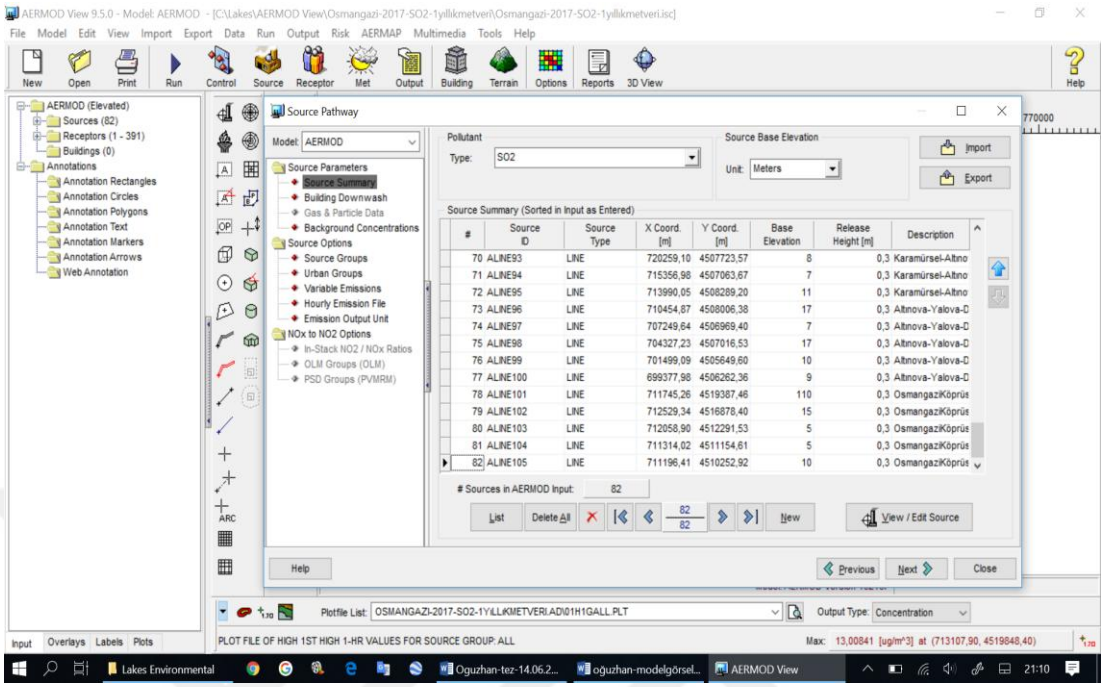


Şekil 4.10. 2015 yılı için rüzgar gülü



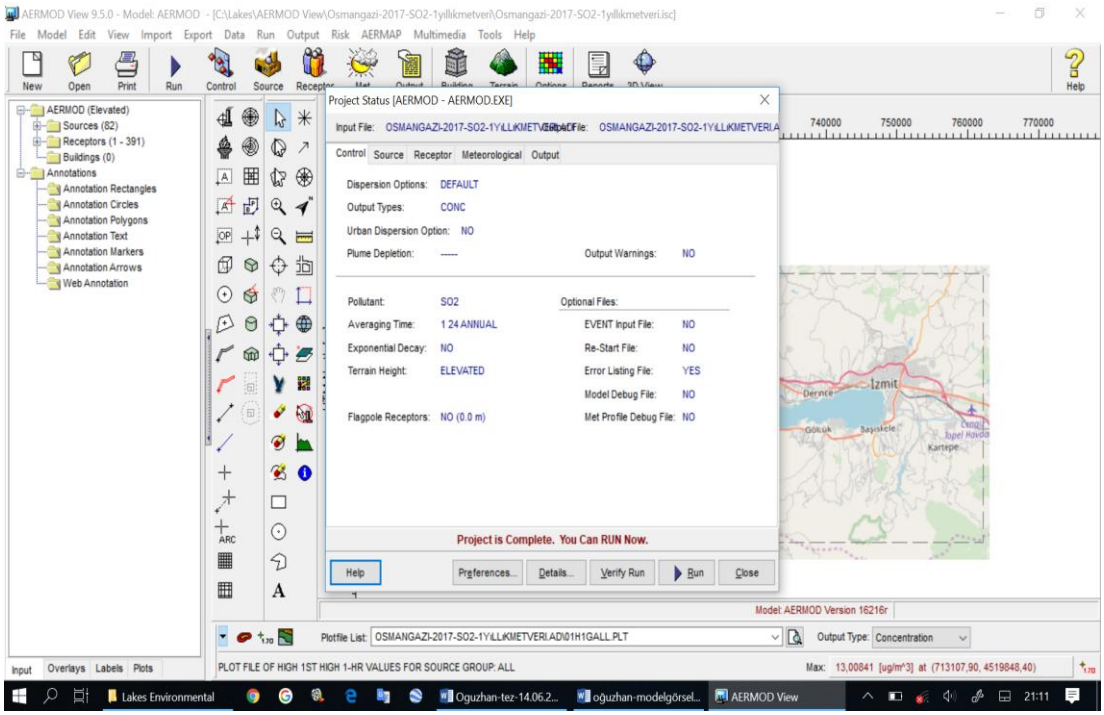
Şekil 4.11. 2017 yılı için rüzgar gülü

-Emisyon kaynakları girilir



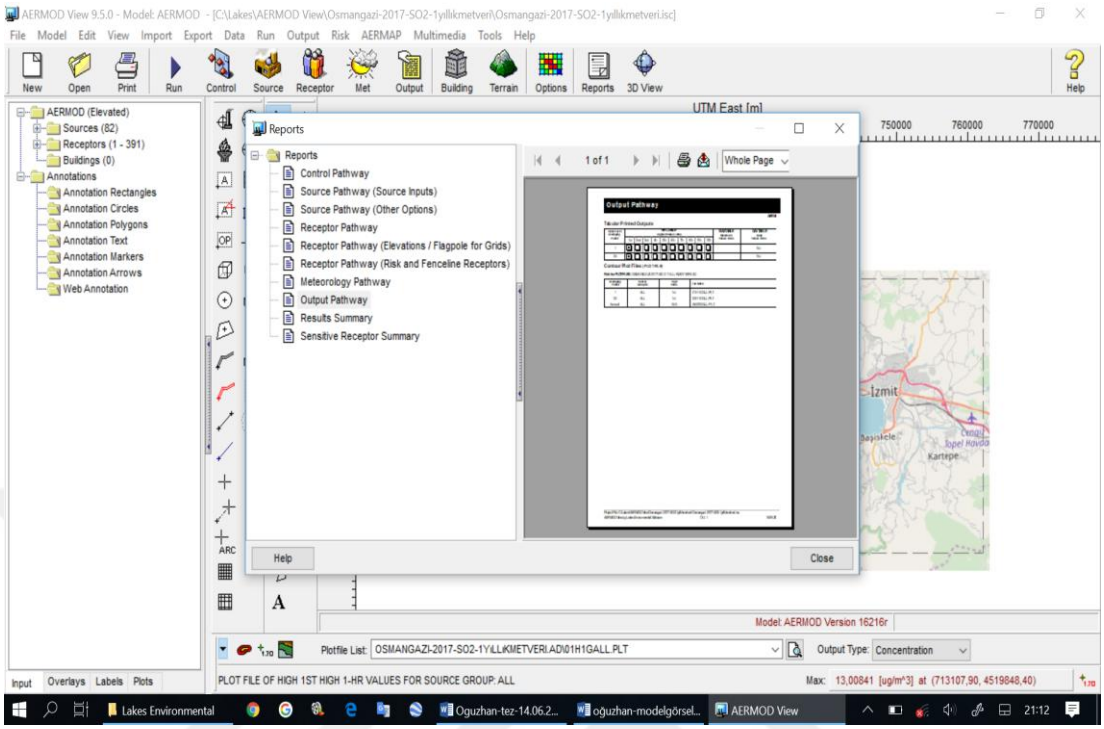
Şekil 4.12. Emisyon kaynakları girdisi ekranı

-Kontrol panelinden girilen verilerde eksiklik olup olmadığı denetlenerek, model çalıştırılır:

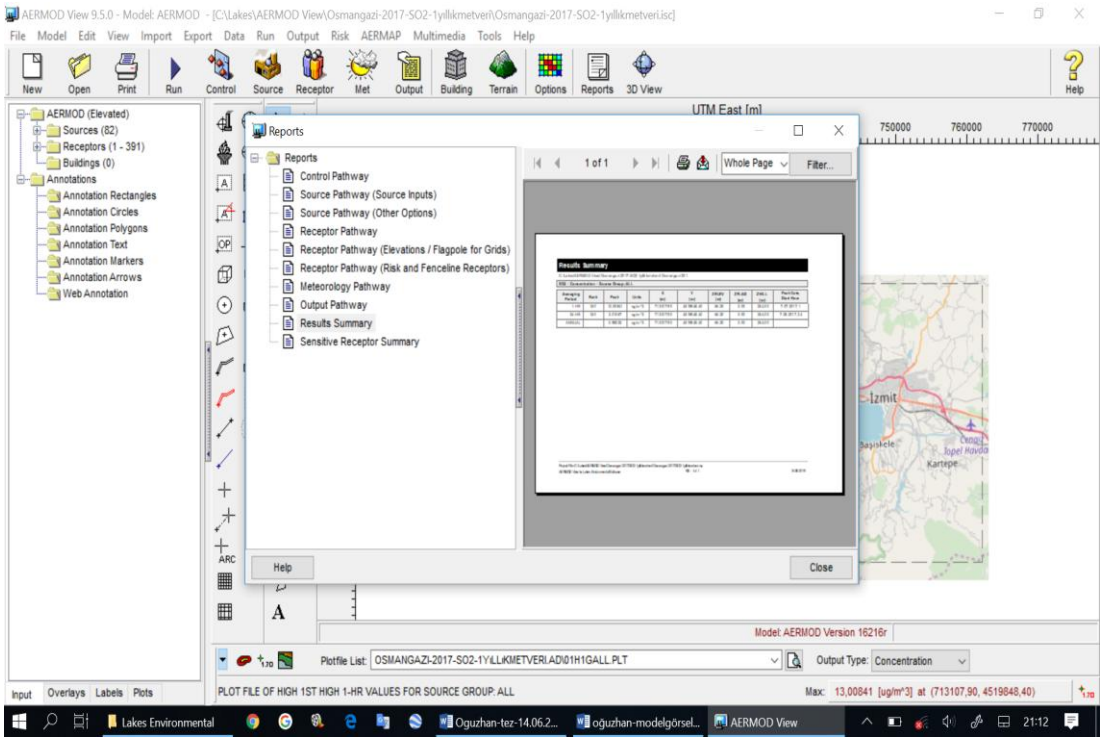


Şekil 4.13. Model çalıştırma ekranı

-Output dosyaları değerlendirilir:



Şekil 4.14. Çıktı dosyaları oluşturma ekranı 1



Şekil 4.15. Çıktı dosyları oluşturma ekranı 2

5. BULGULAR

5.1. Envanter Çalışması Bulguları

SO_2, CO_2, PM_{10}, NO_X, CO ve NMVOC emisyonlarının 2015 ve 2017 yılları için yollara göre ve toplamdaki miktarları Tablo 5.1' de gösterilmiştir.

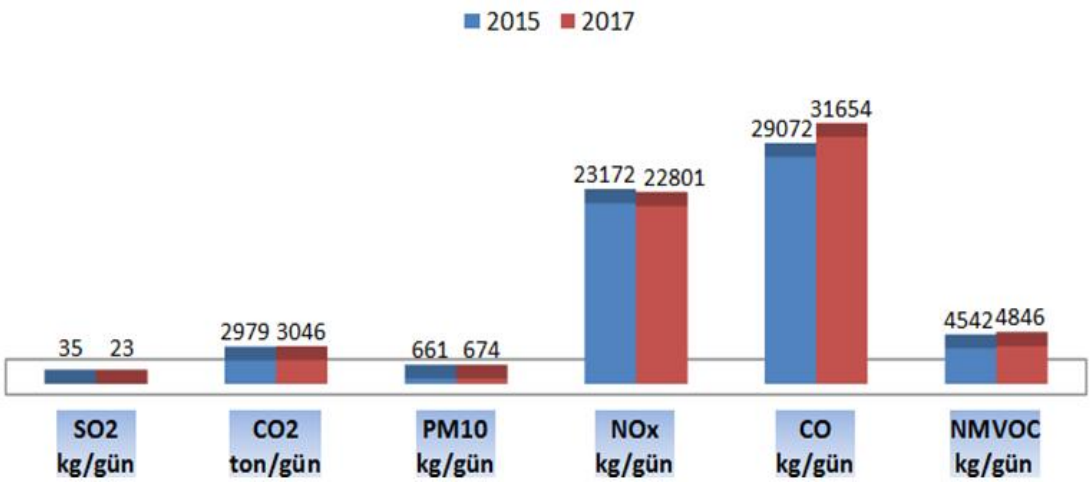
Tablo 5.1. 2015 ve 2017 Yılı toplam emisyon miktarları

Kirletici	2015 Yılı			2017 Yılı			
	D-100	Otoyol	Toplam*	D-100	Otoyol	Osmangazi Köprüsü	Toplam**
SO_2 (kg/gün)	25	10	35	13	9	0	23
CO_2 (ton/gün)	1477	1502	2979	1655	1381	10	3046
PM_{10} (kg/gün)	308	353	661	352	320	2	674
NO_X (kg/gün)	10626	12546	23172	11596	11146	60	22801
CO (kg/gün)	16785	12287	29072	19693	11779	182	31654
NMVOC (kg/gün)	2523	2019	4542	2908	1913	26	4846

*D-100 ile Otoyol değerlerinin toplamını ifade eder

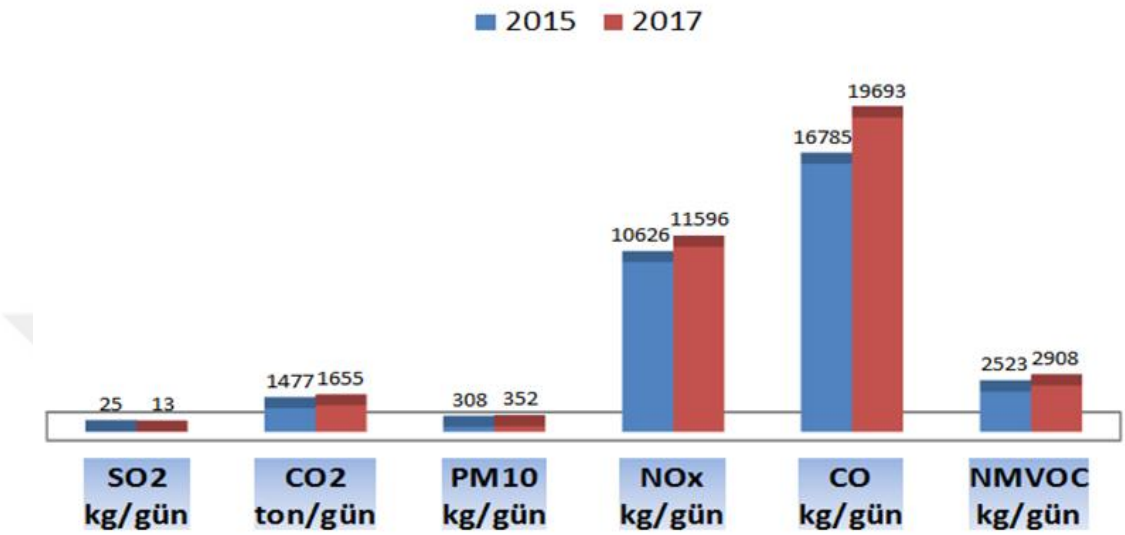
**D-100,Otoyol ve Osmangazi Köprüsü değerlerinin toplamını ifade eder

2017 yılı çalışmaya dahil edilen yolların toplamında motorlu kara taşıtları kaynaklı emisyon miktarları 2015 yılı miktarlarına göre kıyaslandığında CO_2' de %2,25, PM_{10}' de %1,97, CO' de %8,88, NMVOC'de %6,69 artış; SO_2' de %34,29, NO_X' de %1,6 azalma olduğu görülmüş ve Şekil 5.1'de grafik olarak gösterilmiştir.



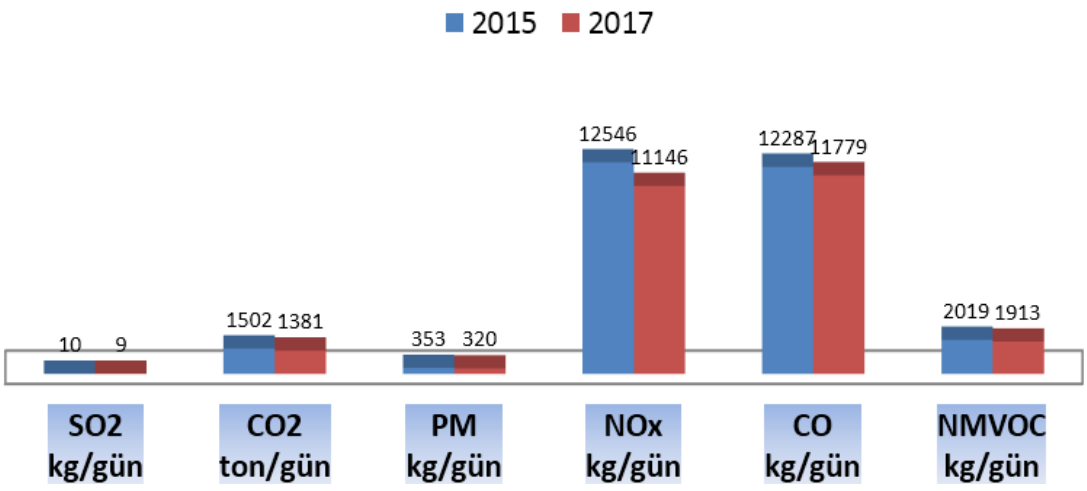
Şekil 5.1. 2015 ve 2017 yılı toplam emisyon miktarlarının karşılaştırılması

2017 yılı D-100 toplamında motorlu kara taşıtları kaynaklı emisyon miktarları 2015 yılı miktarlarına göre kıyaslandığında CO_2' de %12,05, PM_{10}' de %14,29, NO_X' de %9,13, CO' de %17,32, NMVOC' de %15,26 artış; SO_2' de %48 azalma olduğu görülmüş ve Şekil 5.2'de grafik olarak verilmiştir.



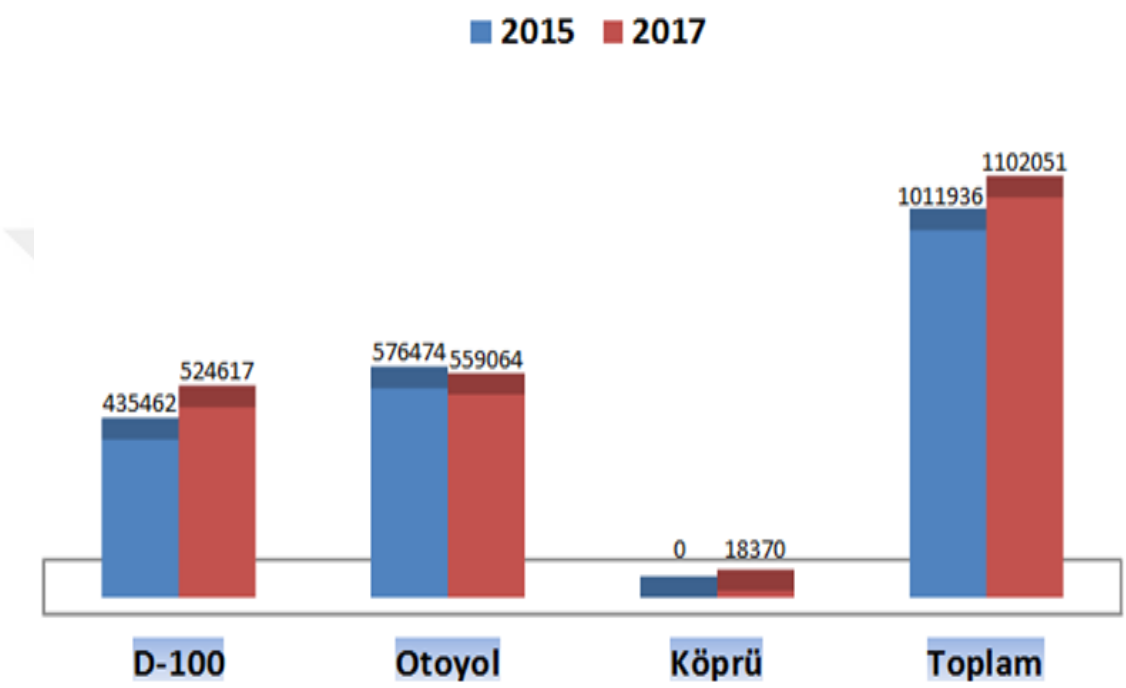
Şekil 5.2. 2015 ve 2017 yılı D-100 emisyon miktarları karşılaştırması

2017 yılı Otoyol toplamında motorlu kara taşıtları kaynaklı emisyon miktarları 2015 yılı miktarlarına göre kıyaslandığında SO_2' de %10, CO_2' de %8,06, PM_{10}' de %9,35, NO_X' de %11,16, CO' de %4,13, NMVOC' de %5,25 azalma olduğu görülmüş ve Şekil 5.3'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.3. 2015 ve 2017 yılı Otoyol emisyon miktarlarının karşılaştırması

2017 yılı taşıt sayıları 2015 yılı sayılarına göre kıyaslandığında toplam günlük ortalama taşıt sayısında 90115 taşıt arttığı görülmüştür. D-100' de 89155 taşıt artışı olmuşken, Otoyolda 17410 taşıt azalması olduğu görülmüştür. Yollara göre taşıt sayılarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4. 2015 ve 2017 taşıt sayılarının karşılaştırılması

5.2. Modelleme Bulguları

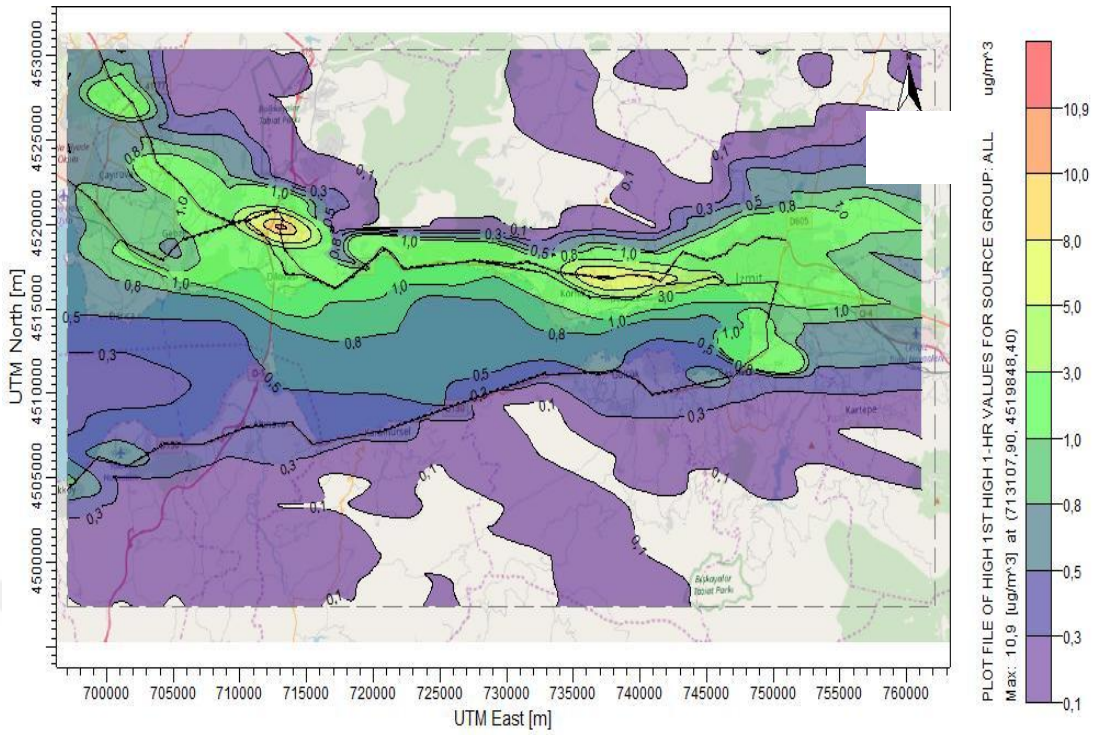
Köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için yapılan kirlilik dağılım çalışmasının saatlik, 24 saatlik ve yıllık sonuçları Tablo 5.2'de, dağılım haritaları ise Şekil 5.5-6.22'de verilmiştir. Tablo 5.2'de görülen yıllık max. konsantrasyon değerleri Tablo 5.3'de verilen sınır değerlerle karşılaştırılmış ve dağılım haritalarının ardından yorumlanmıştır.

Tablo 5.2. 2015 Yılı ve 2017 yılları için max. konsantrasyonlar

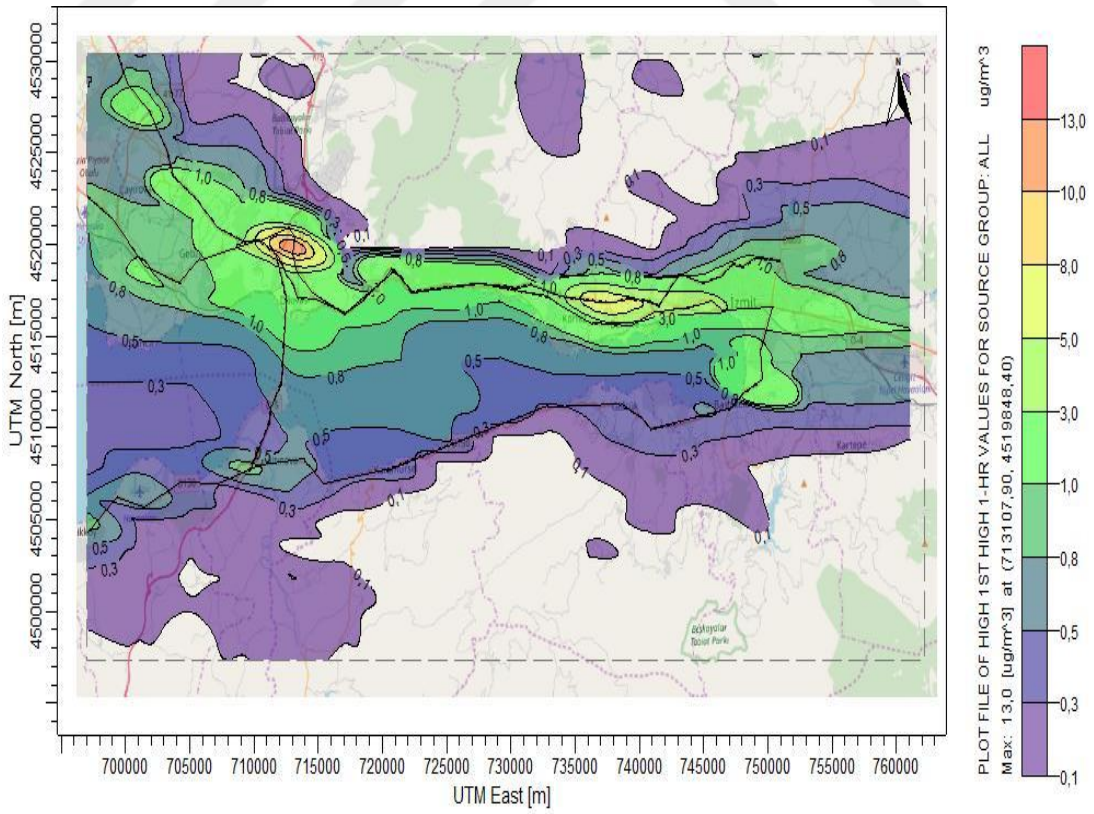
Kirletici	Zaman Periyodu	2015			2017		
		Max. Konsantrasyon ($\mu g/m^3$)	Alıcı Noktası UTM Koordinatları		Max. Konsantrasyon ($\mu g/m^3$)	Alıcı Noktası UTM Koordinatları	
			X (m)	Y (m)		X (m)	Y (m)
SO_2	saatlik	10,9	713107.90	4519848.40	13,0	713107.90	4519848.40
	24 saatlik	3,5	713107.90	4519848.40	3,0	713107.90	4519848.40
	yıllık	0,8	713107.90	4519848.40	0,9	713107.90	4519848.40
CO_2	saatlik	1480907,7	713107.90	4519848.40	1703318,0	713107.90	4519848.40
	24 saatlik	478653,9	713107.90	4519848.40	395202,3	713107.90	4519848.40
	yıllık	112923,8	713107.90	4519848.40	129072,9	713107.90	4519848.40
PM_{10}	saatlik	326,6	713107.90	4519848.40	375,0	713107.90	4519848.40
	24 saatlik	105,7	713107.90	4519848.40	87,1	713107.90	4519848.40
	yıllık	25,1	737107.90	4516848.40	28,5	713107.90	4519848.40
NO_X	saatlik	11297,7	713107.90	4519848.40	12439,9	713107.90	4519848.40
	24 saatlik	3660,6	713107.90	4519848.40	2892,6	713107.90	4519848.40
	yıllık	891,1	737107.90	4516848.40	945,4	713107.90	4519848.40
CO	saatlik	15168,7	713107.90	4519848.40	18513,3	713107.90	4519848.40
	24 saatlik	4876,9	713107.90	4519848.40	4219,6	713107.90	4519848.40
	yıllık	1149,6	713107.90	4519848.40	1375,6	713107.90	4519848.40
NMVOC	saatlik	2322,4	713107.90	4519848.40	2766,8	713107.90	4519848.40
	24 saatlik	747,9	713107.90	4519848.40	640,0	713107.90	4519848.40
	yıllık	176,3	713107.90	4519848.40	208,9	713107.90	4519848.40

Tablo 5.3. Hesaplanan 2015 ve 2017 yılı konsantrasyonlarının ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması(Url-9;Url-10;Url-11;Url-12)

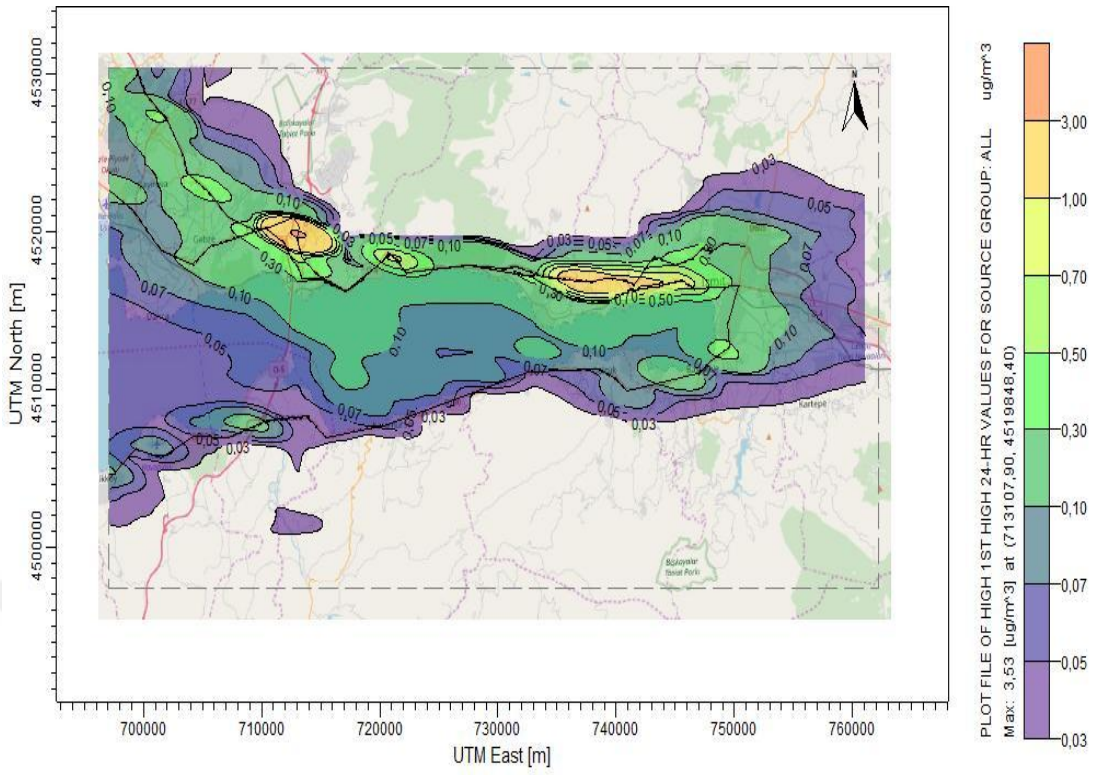
KİRLETİCİ	**TAHMİN EDİLEN (yıllık maksimum kons-µg/m³)**		**SINIR DEĞERLER**				
	AERMOD		**HKDYY**		**WHO**	**EU**	**USEPA**
	2015	**2017**	Limit Değer µg/m³	Geçiş Dönemi µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
CO	1149,6	1375,6	10000 (8 saat)	30000 (24 saat) 10000 (yıllık)	-	10000 (8 saat)	10000 (8 saat) 40000 (1 saat)
NO_X	891,1	945,4	200 (1 saat - NO_2) 40 (yıllık-NO_2) 30 (yıllık-NO_X)	300 (24 saat-NO_2) 100 (yıllık-NO_2)	200 (1 saat - NO_2) 40 (yıllık-NO_2)	200 (1saatlik - NO_2) 40 (yıllık-NO_2) 30 (yıllık-NO_X)	100 (yıllık-NO_2)
SO_2	0,8	0,9	350 (1 saat) 125 (24 saat) 20 (yıllık)	900 (1 saat) 400 (24 saat) 250 (Kış sezonu) 120 (Kış sezonu hedef) 60 (yıllık-hedef) 150 (yıllık-insan sağlığı)	20 (24 saat) 500 (10 dakika)	350 (1 saat) 125 (24 saat) 20 (yıllık)	80 (yıllık) 365 (24 saat) 1300 (3 saat)
PM_{10}	25,1	28,5	50 (24 saat) 40 (yıllık)	300 (24 saat) 200 (Kış sezonu) 150 (yıllık)	20 (yıllık) 50 (24 saat)	50 (24 saat) 40 (yıllık)	50 (yıllık) 150 (24 saat)
CO_2	112923,8	129072,9	-	-	-	9000 (8 saat)	540000 (15 dk) 9000 (8 saat)
NMVOC	176,3	208,9	-	-	-	-	-



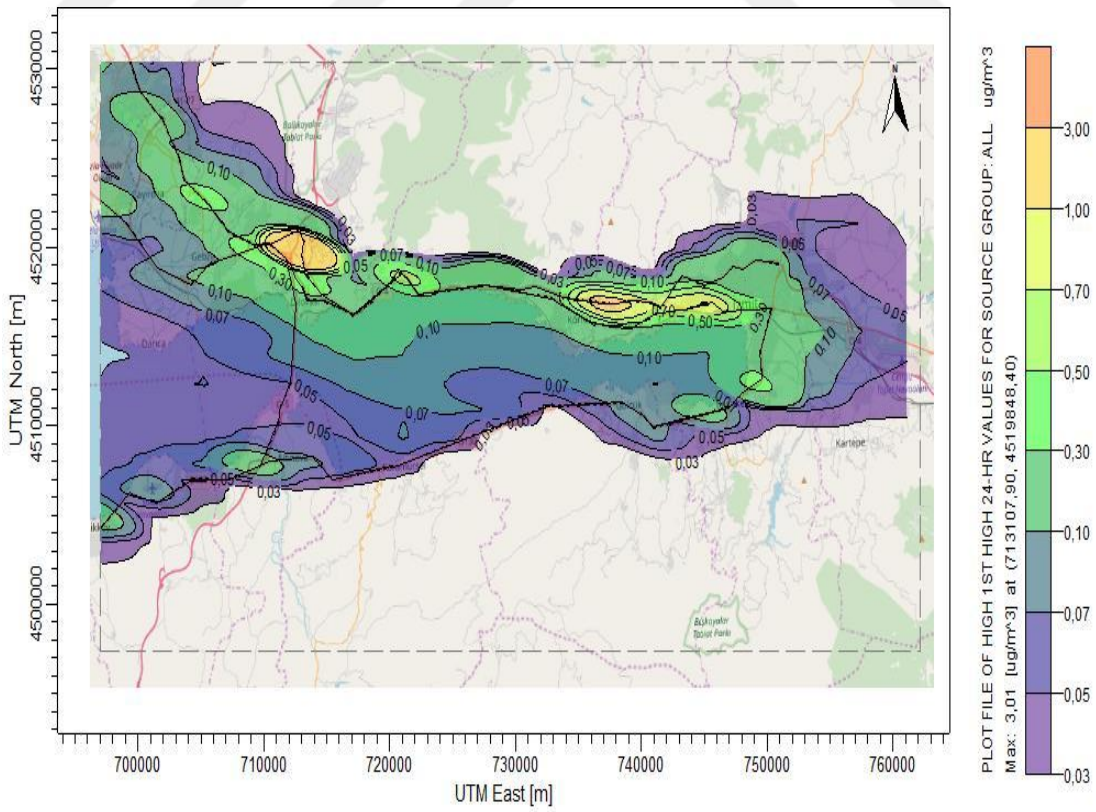
Şekil 5.5.a. 2015 yılı saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı



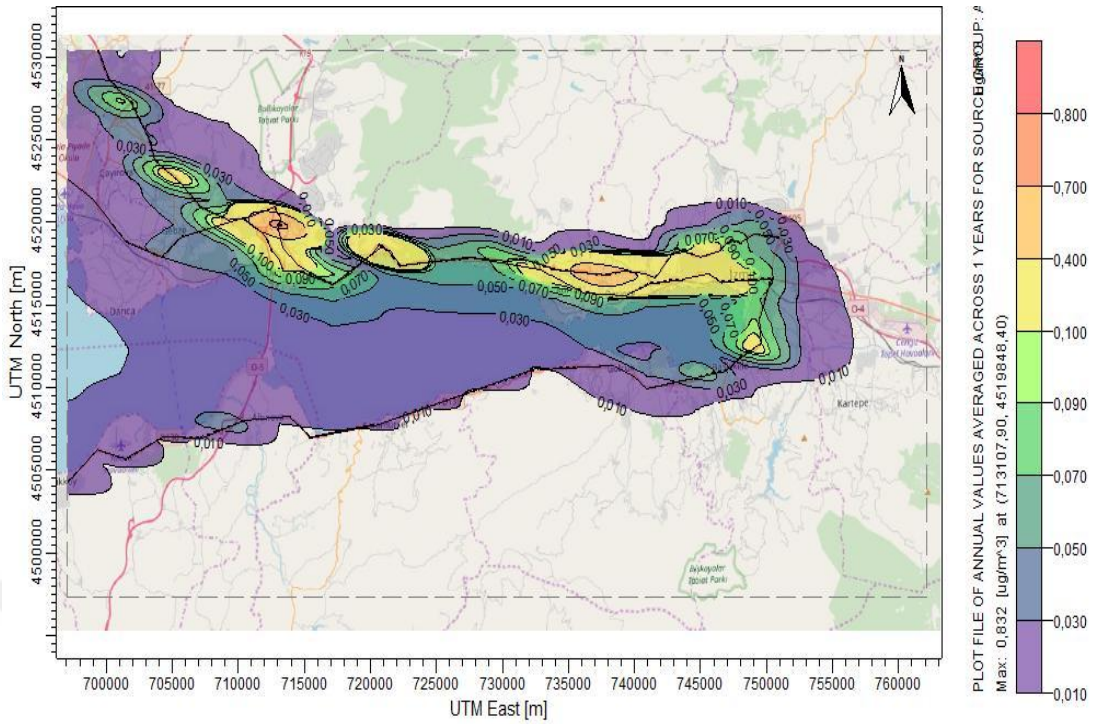
Şekil 5.5.b. 2017 yılı saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı



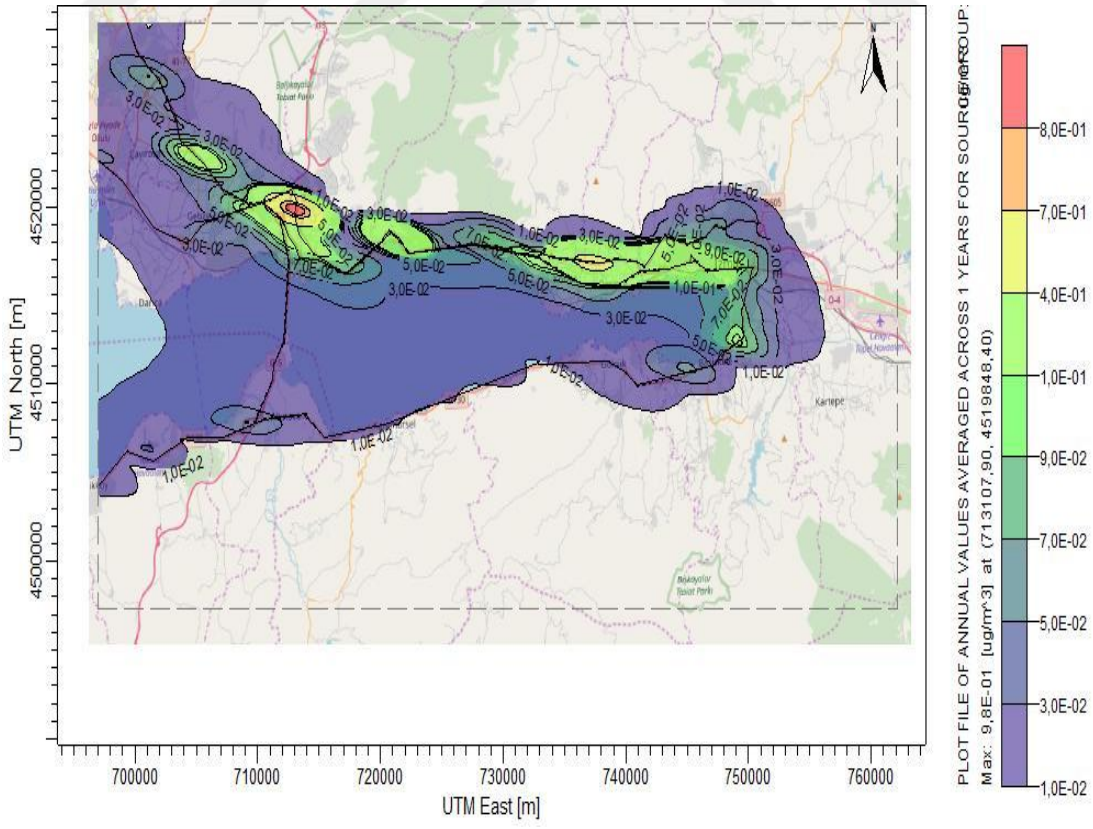
Şekil 5.6.a. 2015 yılı 24 saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.6.b. 2017 yılı 24 saatlik SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı

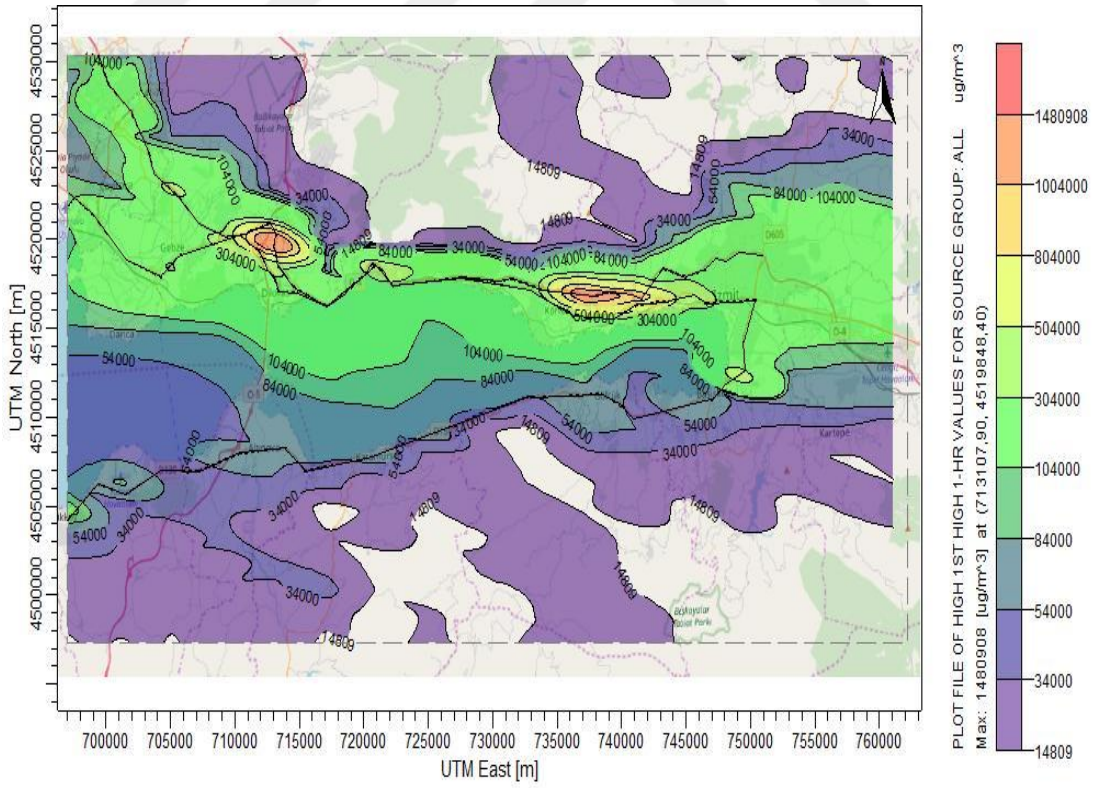


Şekil 5.7.a. 2015 yılı yıllık SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı

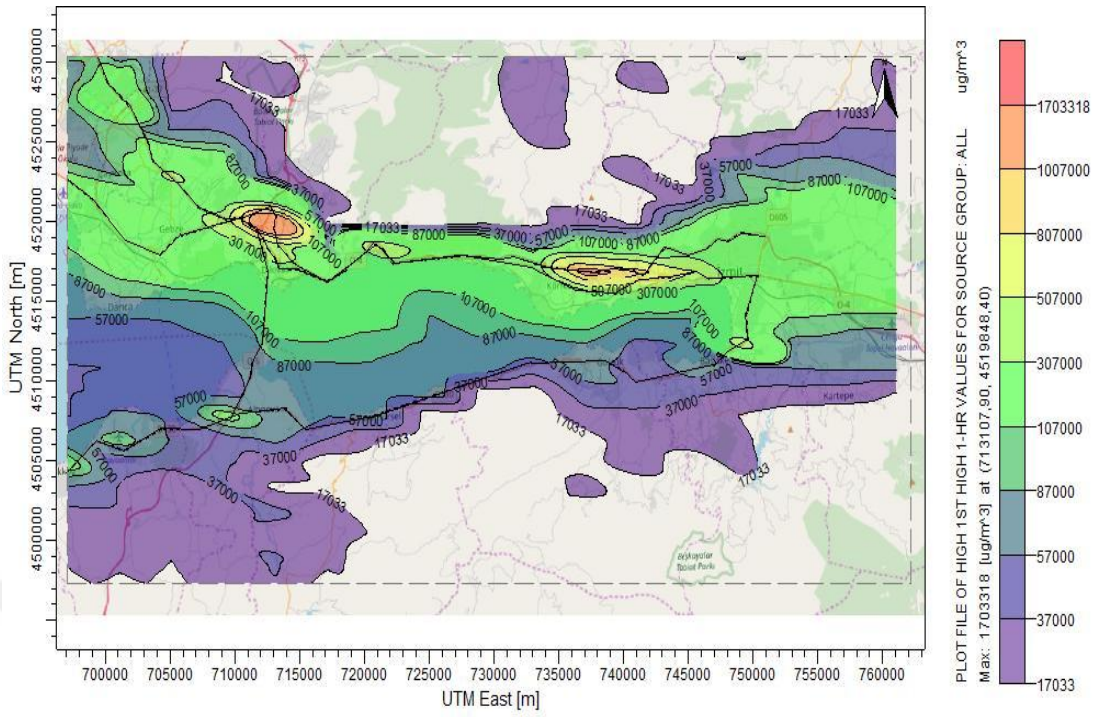


Şekil 5.7.b. 2017 yılı yıllık SO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı

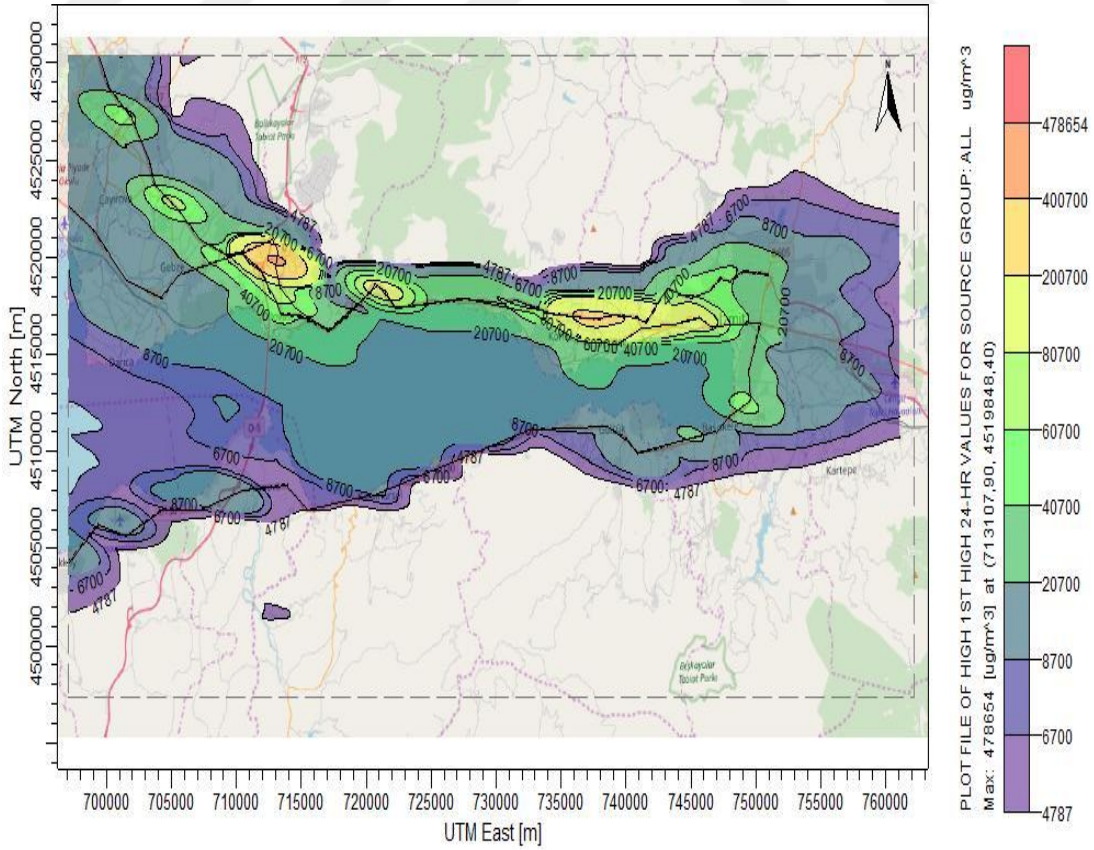
SO_2 emisyonunun atmosferik dağılım haritaları (Şekil 5.5.a/b – Şekil 5.7.a/b) incelendiğinde, köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için kirlilik dağılım haritalarının birbirine benzemekle birlikte Osmangazi Köprüsünün kullanılmasının İzmit Körfezi'nin uç kısımlarına doğru kirlilik dağılımında bir miktar da olsa azalmayı sağladığı gözlenmektedir. Her iki durumda da max. konsantrasyonun olduğu bölge Dilovası'dır. 2015 yılı için 0,8 µg/m^3 olan yıllık konsantrasyon değeri 2017 yılında 0,9 µg/m^3 seviyelerinde olup Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY)'nde verilen Limit Değerin (yıllık 20 µg/m^3) altındadır. WHO, EU ve USEPA 'ın ilgili standartlarıyla karşılaştırıldığında da ; sırasıyla 20 µg/m^3(24 saat) , 20 µg/m^3(yıllık) ve 80 µg/m^3 (yıllık) olan sınır değerlerinin altında kaldığı gözlemlenmektedir. Taşıtlarda kullanılan yakıtlar; benzin, dizel ve LPG'dir. Bu yakıtlardaki kükürt miktarı, kalitenin artışına bağlı olarak düşürülmüştür. Bu nedenle bu yakıtlardan yanma sırasında oluşacak SO_2 emisyon oranı da düşük çıkmaktadır.



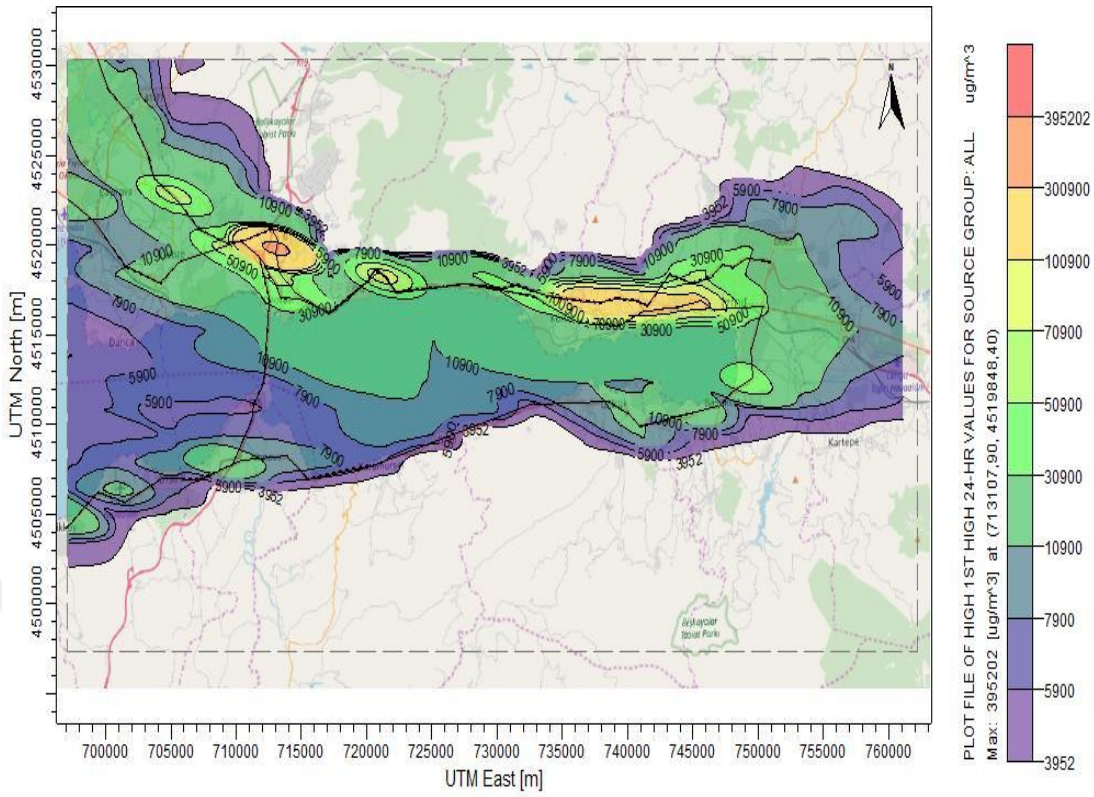
Şekil 5.8.a. 2015 yılı saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı



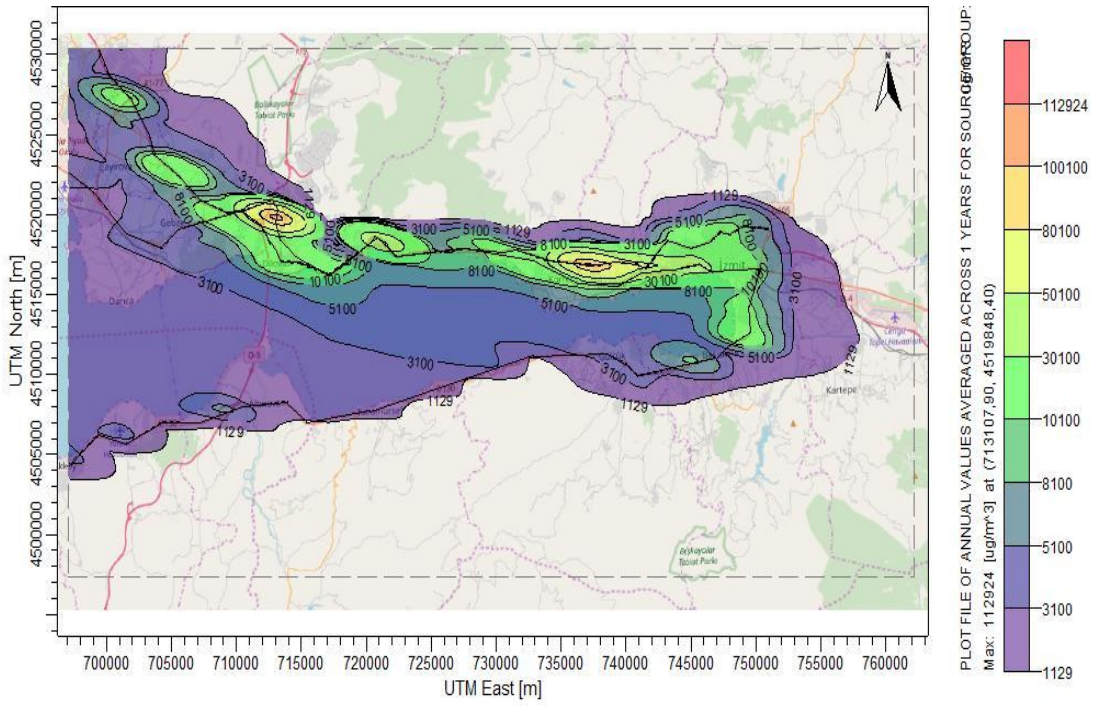
Şekil 5.8.b. 2017 yılı saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı



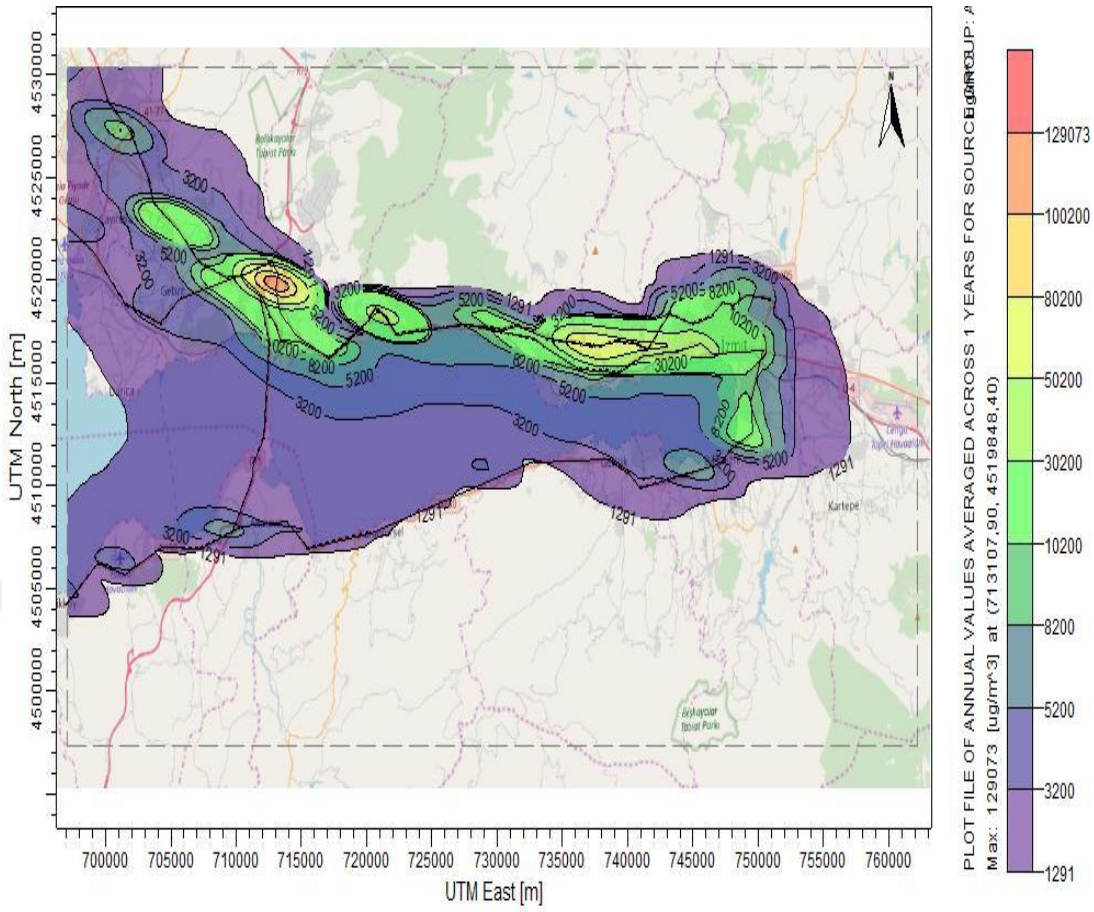
Şekil 5.9.a. 2015 yılı 24 saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.9.b. 2017 yılı 24 saatlik CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı

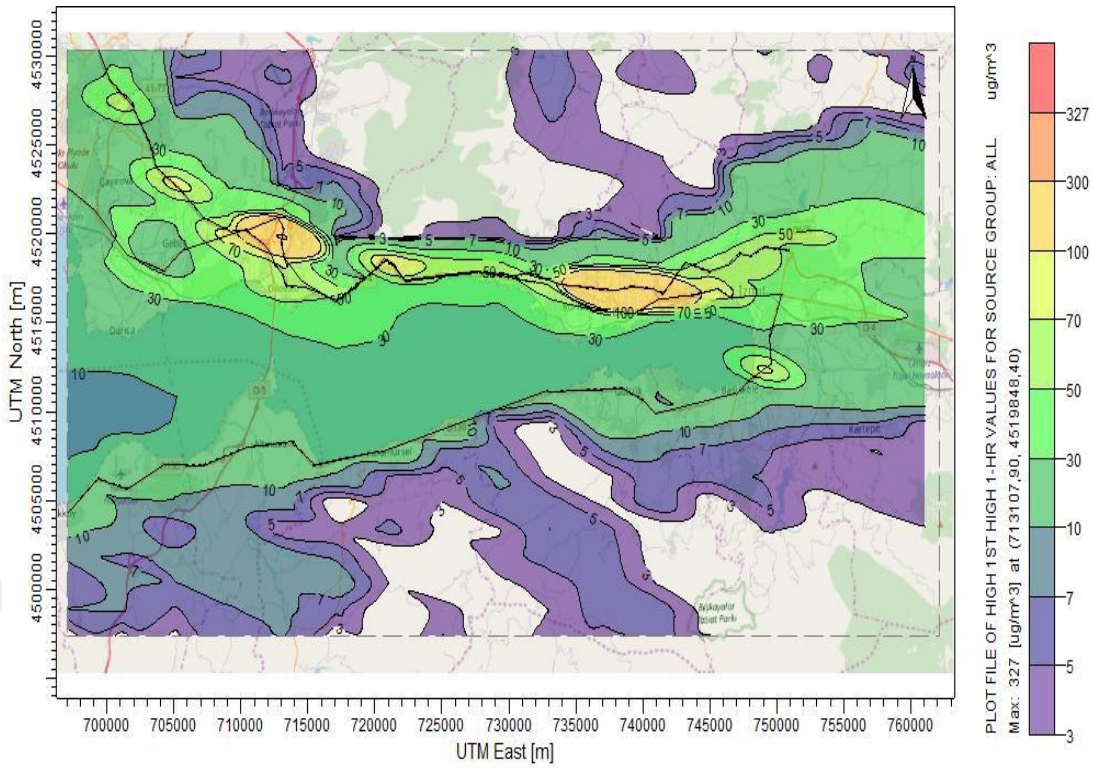


Şekil 5.10.a. 2015 yılı yıllık CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı

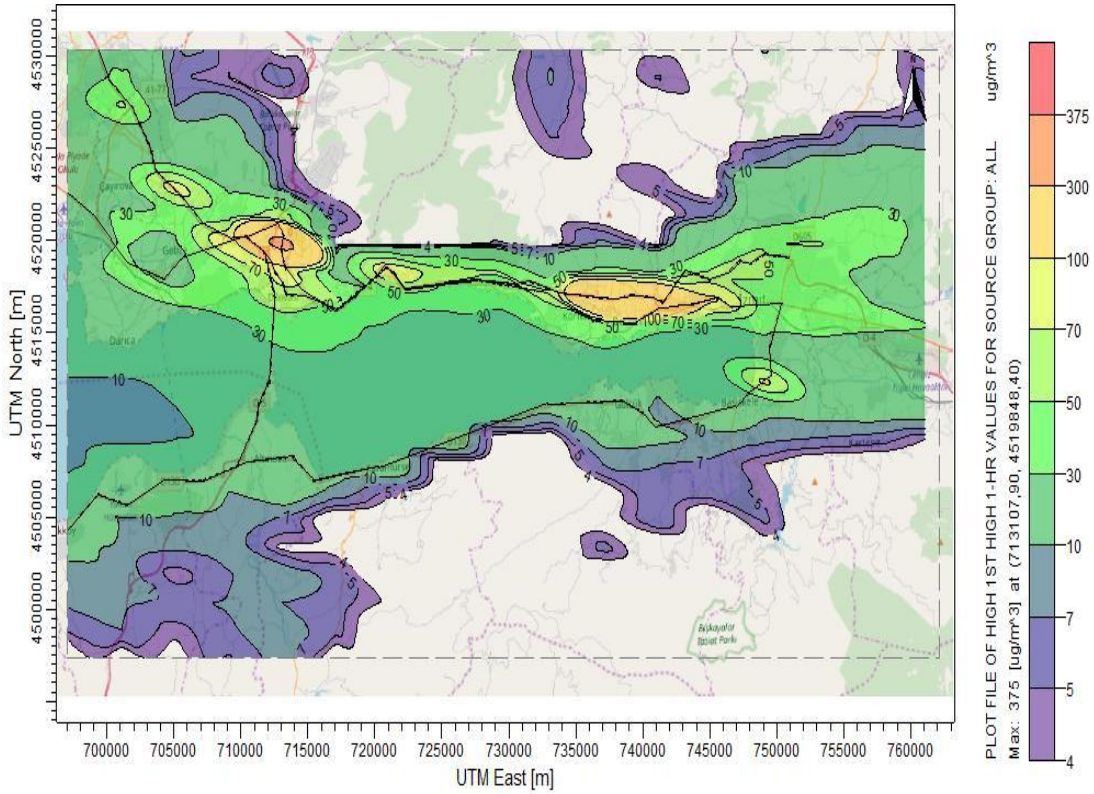


Şekil 5.10.b. 2017 yılı yıllık CO_2 emisyonunun atmosferik dağılımı

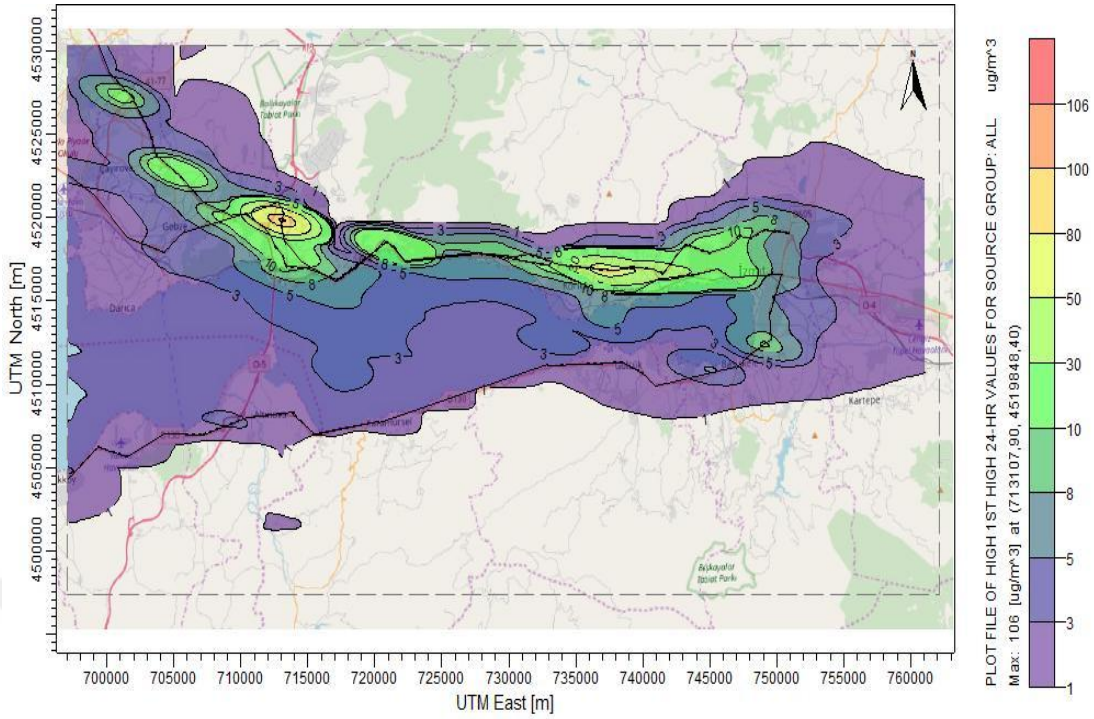
CO_2 emisyonunun atmosferik dağılım haritaları (Şekil 5.8.a/b – Şekil 5.10.a/b) incelendiğinde, SO_2 emisyonun da olduğu gibi her iki yıl için de max. konsantrasyonun olduğu bölgenin Dilovası olduğu gözlenmiştir. Köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için kirlilik dağılım haritalarının birbirine benzediği, ancak Osmangazi Köprüsünün kullanılmasının İzmit Körfezi'nin uç kısımlarına doğru kirlilik dağılımında bir miktar da olsa azalmayı sağladığı belirlenmiştir. 2015 yılı için 112924 µg/m^3 olan max. yıllık konsantrasyon değeri 2017 yılında 129073 µg/m^3 seviyelerinde olup USEPA ve EU'da verilen 8 saatlik Limit Değerin (8 saatlik 9000 µg/m^3) bile çok üstündedir. En zararsız egzoz gazı olarak görülmekte ise de global ölçekte atmosferde salınan karbondioksitin sürekli bir şekilde artması iklim krizine neden olmaktadır (Yıldırım, 2010). CO_2 için HKDYY'de sınır değerin olmaması eksiklik olup, diğer ülkelerin limit değerlerini aşan bu emisyonun max. konsantrasyonunun görüldüğü bölgeler için gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir.



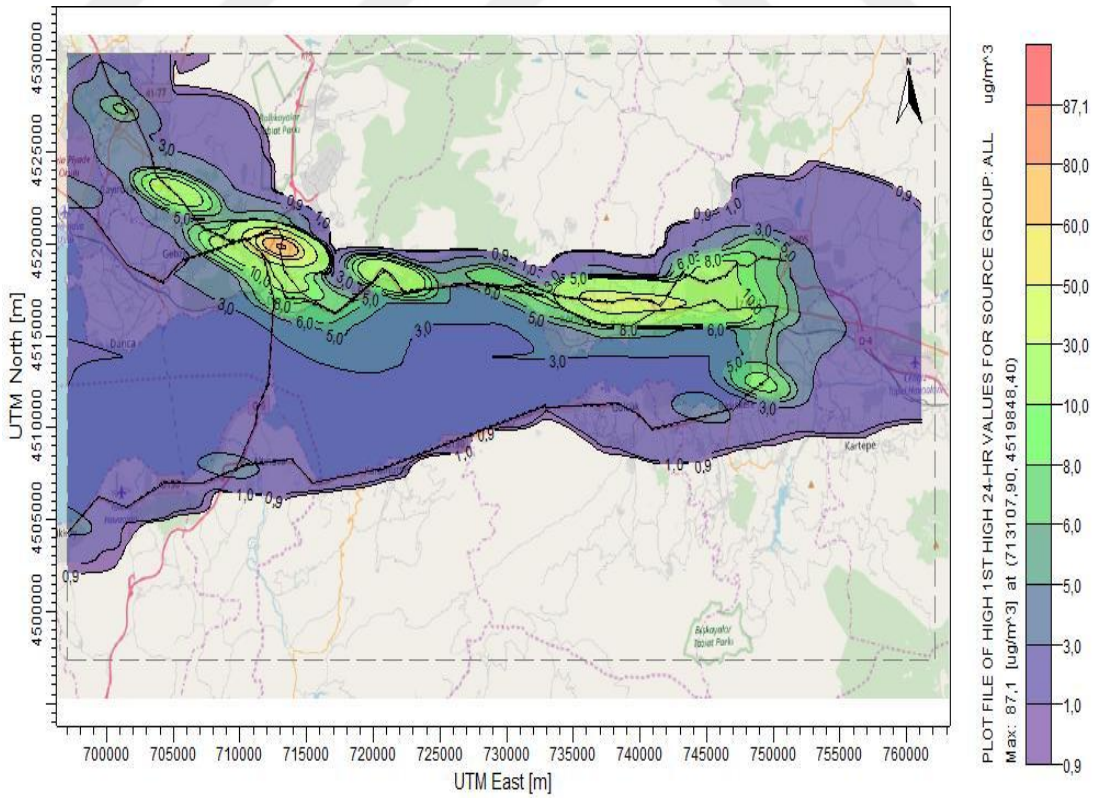
Şekil 5.11.a. 2015 yılı saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı



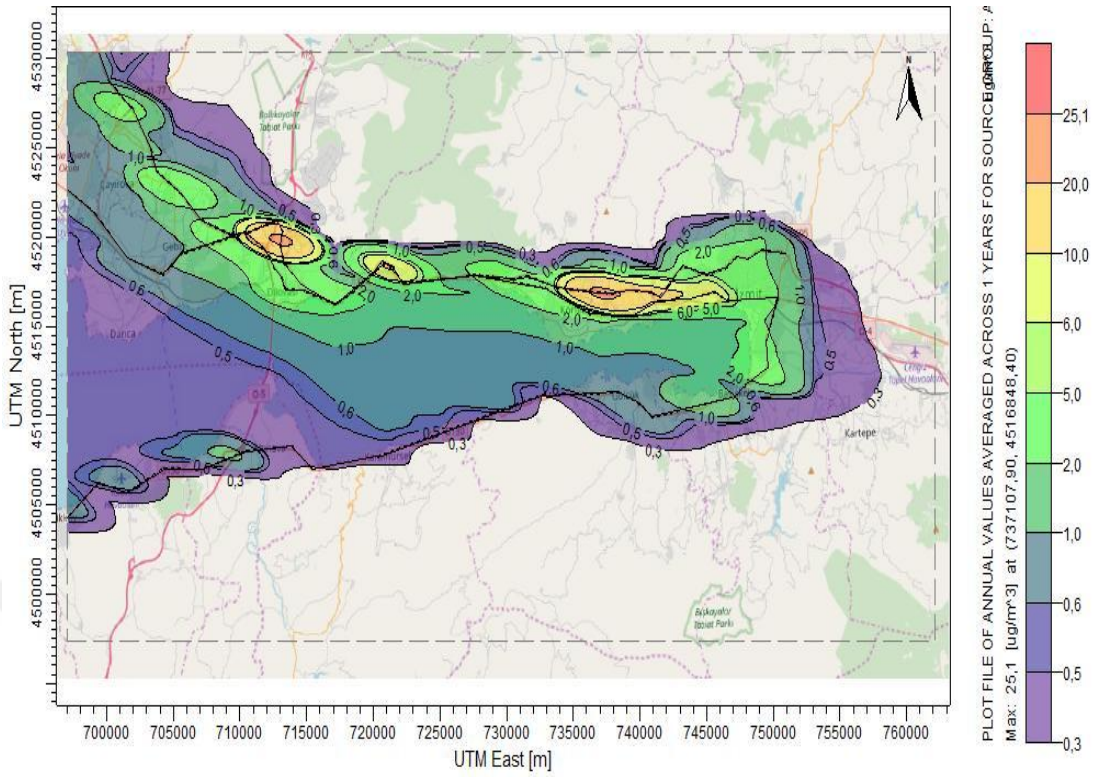
Şekil 5.11.b. 2017 yılı saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı



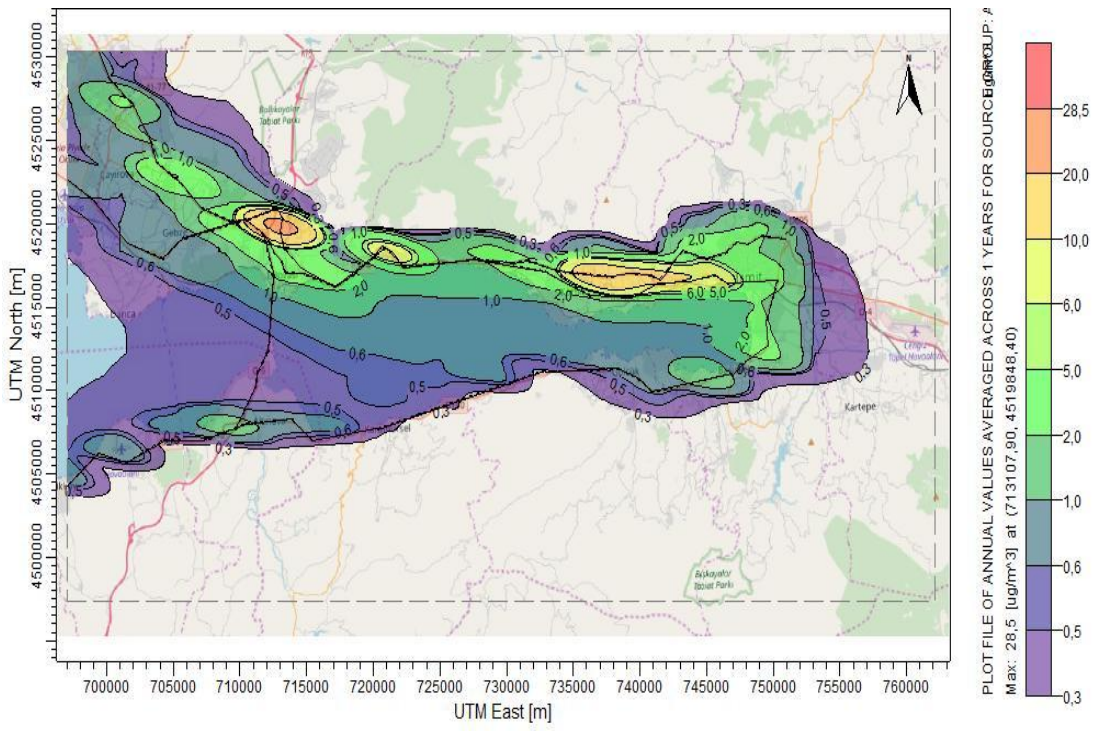
Şekil 5.12.a. 2015 yılı 24 saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.12.b. 2017 yılı 24 saatlik PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı

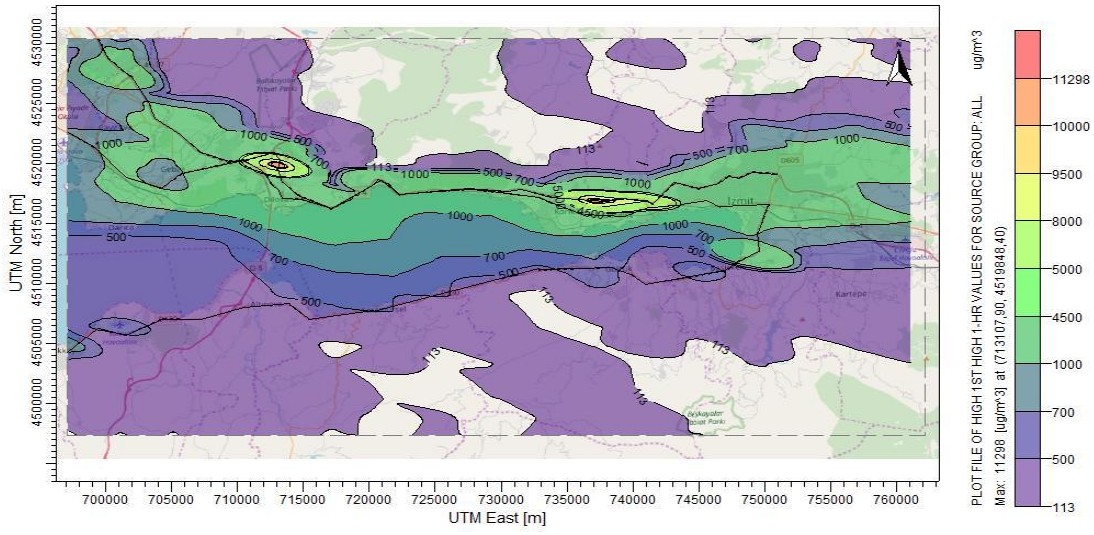


Şekil 5.13.a. 2015 yılı yıllık PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı

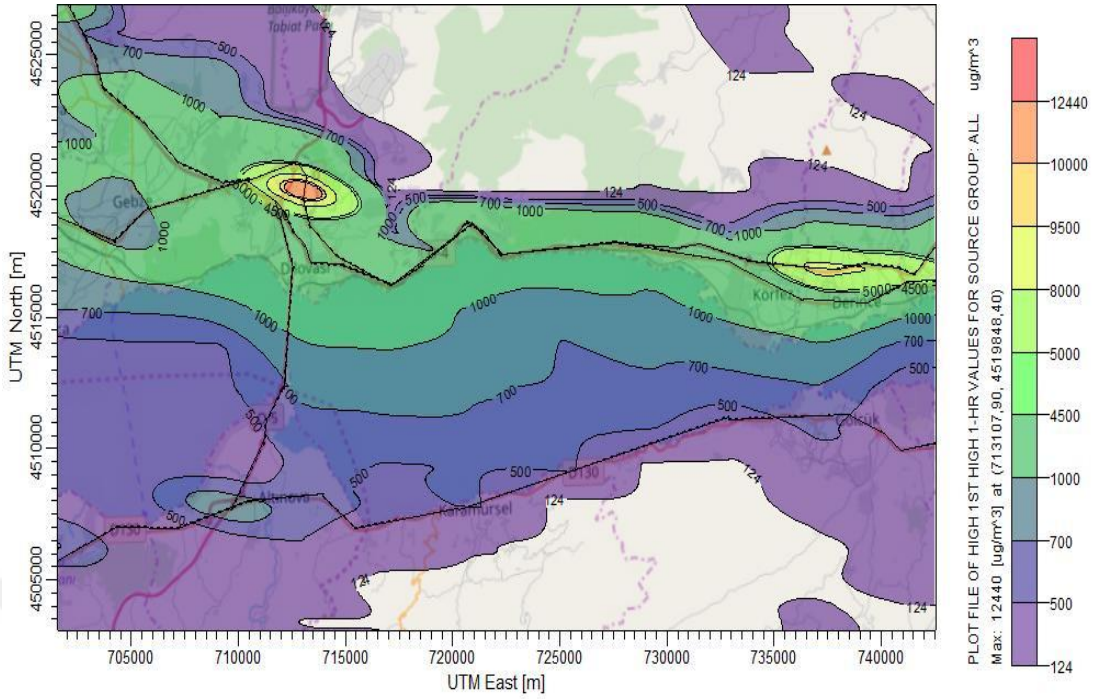


Şekil 5.13.b 2017 yılı yıllık PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılımı

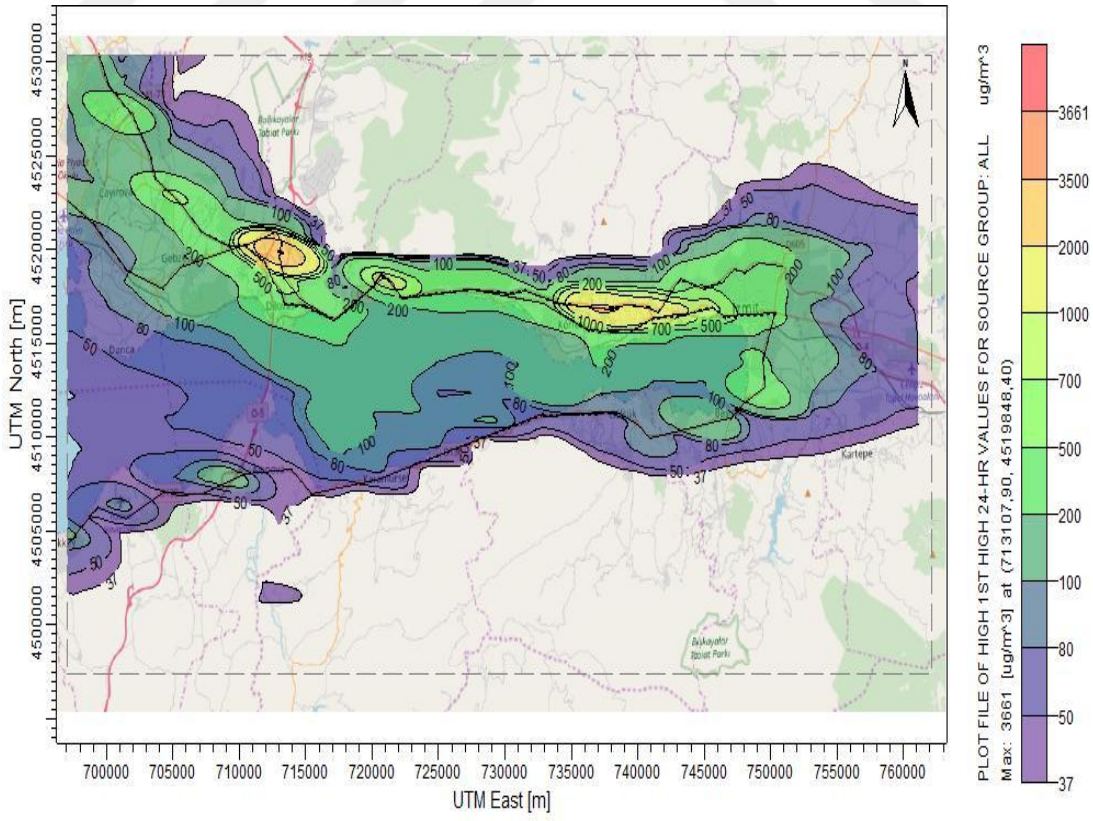
PM_{10} emisyonunun atmosferik dağılım haritaları (Şekil 5.11.a/b – Şekil 5.13.a/b) incelendiğinde, SO_2 ve CO_2 emisyonunun dağılımından farklı olarak yıllık max. konsantrasyonun olduğu bölgenin değiştiği, köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) için max. konsantrasyonun Derince taraflarında, sonrası (2017 yılı) için ise Dilovası taraflarında olduğu gözlenmiştir. 2015 yılı için 25,1 µg/m^3 olan max. yıllık konsantrasyon değeri 2017 yılında 28,5 µg/m^3 seviyelerinde olup HKDYY'de verilen Limit Değerin (yıllık 40 µg/m^3) altındadır. Ancak HKDYY'de verilen sınır değer ortam havası sınır değeri olup, noktasal, alansal, çizgisel tüm kaynaklardan yayılan kirletici içindir. Bu çalışma kapsamında bulunan max. konsantrasyon değeri 28,5 µg/m^3 sadece çizgisel kaynaktan yayılan PM_{10} için ortamdaki konsantrasyon değeridir. Dolayısıyla her ne kadar sınır değerin altında olsa da sınır değerin %71,25'lik kısmının çizgisel kaynağa karşılık gelmesi, PM_{10} için yıllık max. değerin fazla olduğunu düşündürmektedir. Uluslararsı diğer standartlarla mukayese edildiğinde sırasıyla 40 µg/m^3 (yıllık) ve 50 µg/m^3 (yıllık) olan EU ve USEPA sınır değerlerinin altında kaldığı fakat 20 µg/m^3 (yıllık)sınır değere sahip WHO limitlerinin de üstünde olduğu tespit edilmiştir. Solunduklarında ağır astım nöbetleri, akciğer veya kalp rahatsızlıkları, çocuklarda ve yetişkinlerde solunum güçlüğü, kronik bronşit, göz, deri, burun ve boğazda tahrişlere neden olan (Demiraslan, 2012) PM_{10} için konsantrasyonların daha zararsız seviye çekilmesi için gerekli politikalar geliştirilmelidir ve uygulanılması sağlanmalıdır.



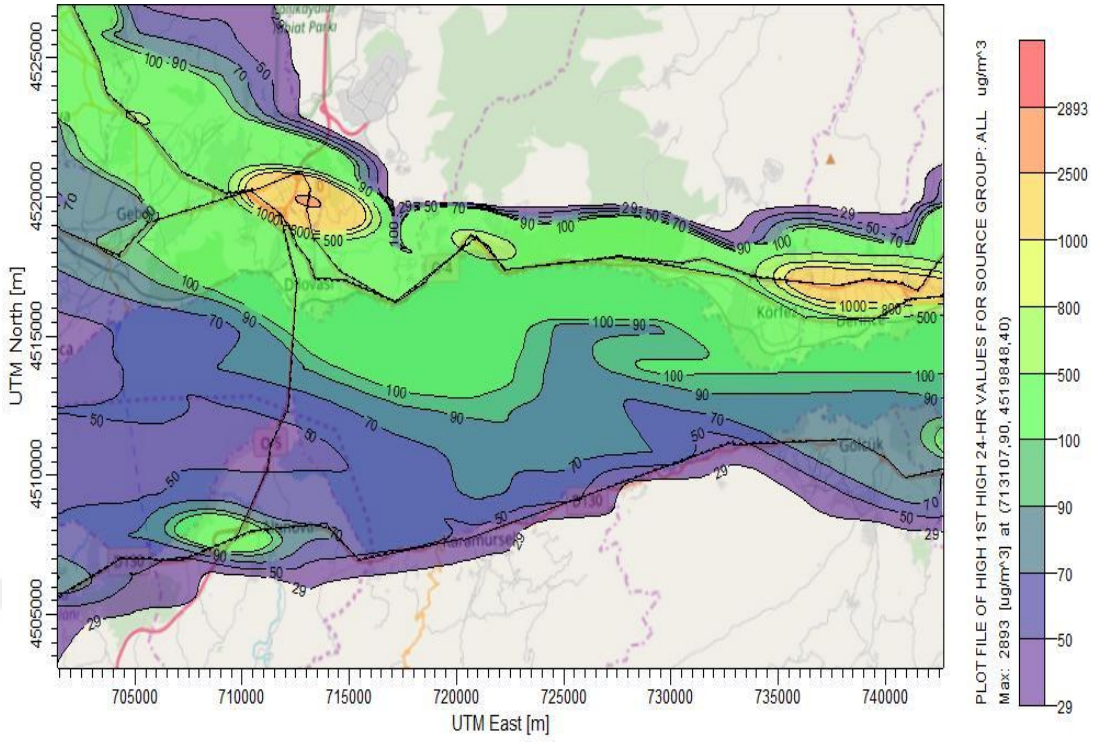
Şekil 5.14.a. 2015 yılı saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı



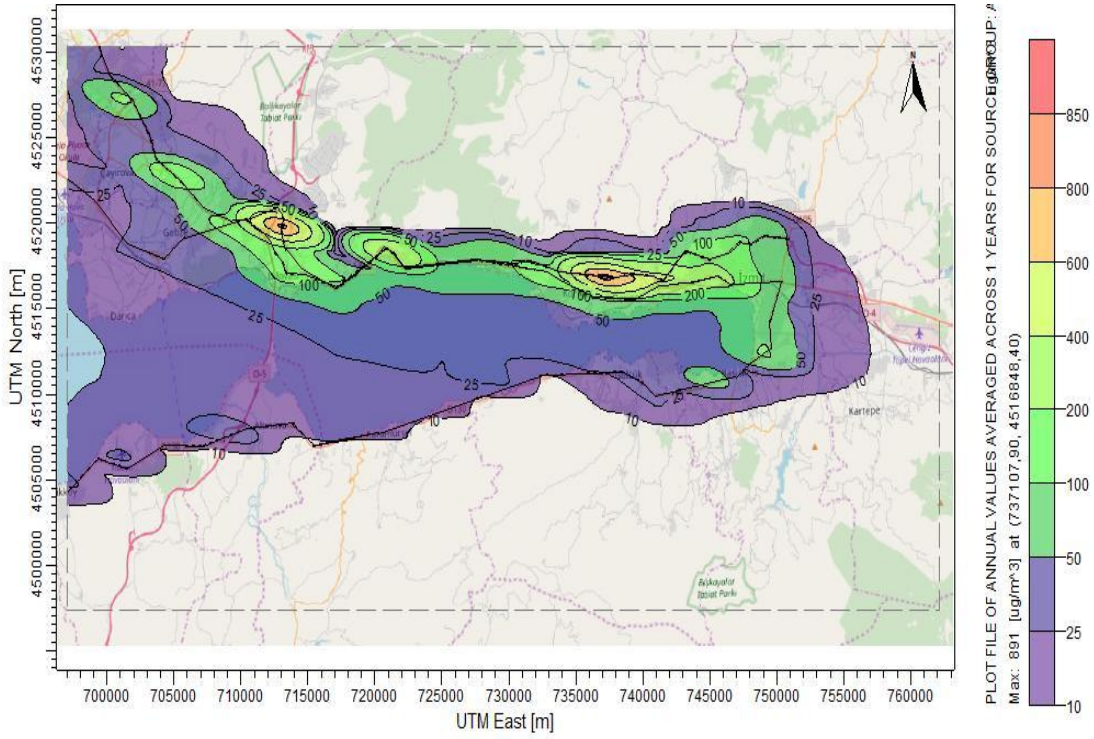
Şekil 5.14.b. 2017 yılı saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı



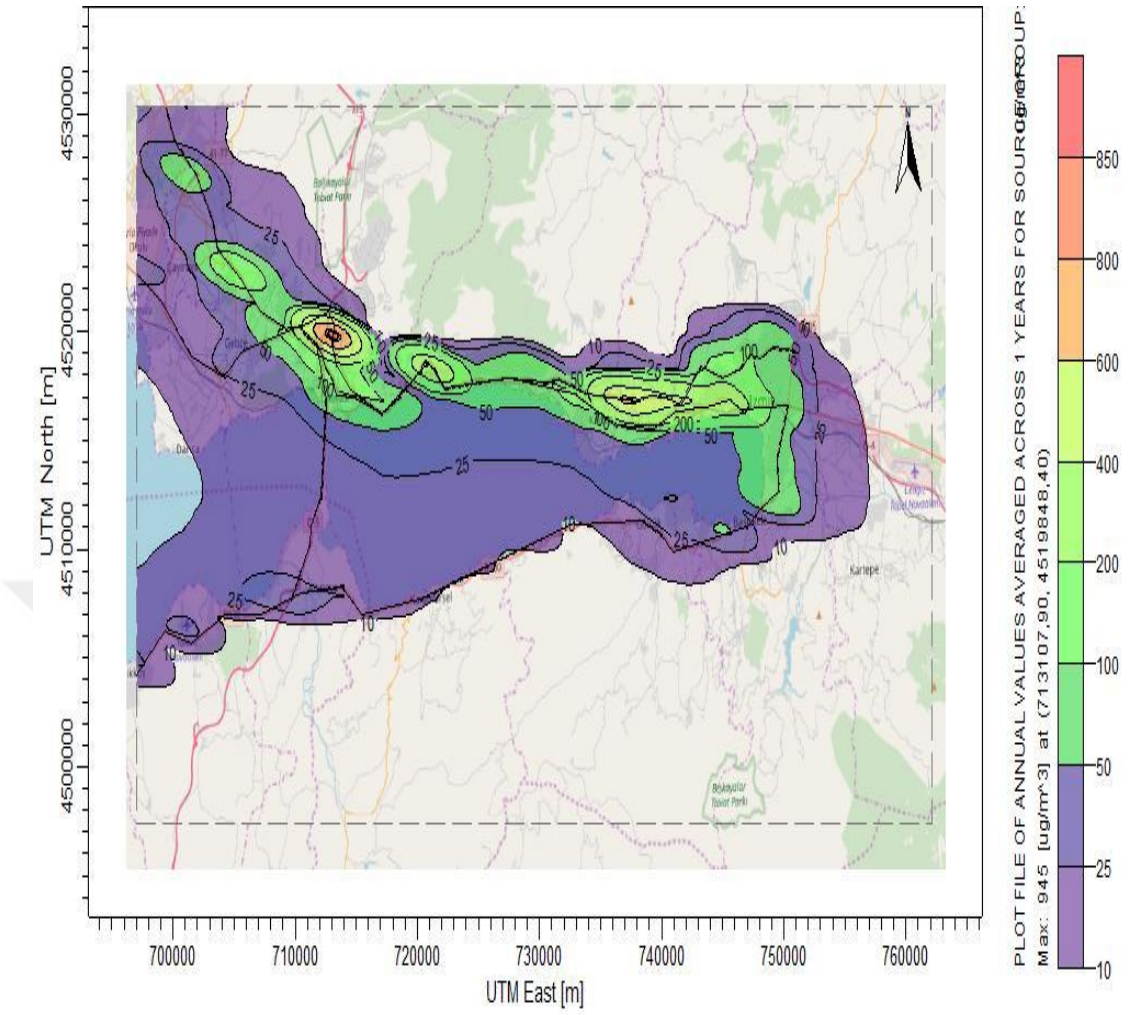
Şekil 5.15.a. 2015 yılı 24 saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.15.b. 2017 yılı 24 saatlik NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı

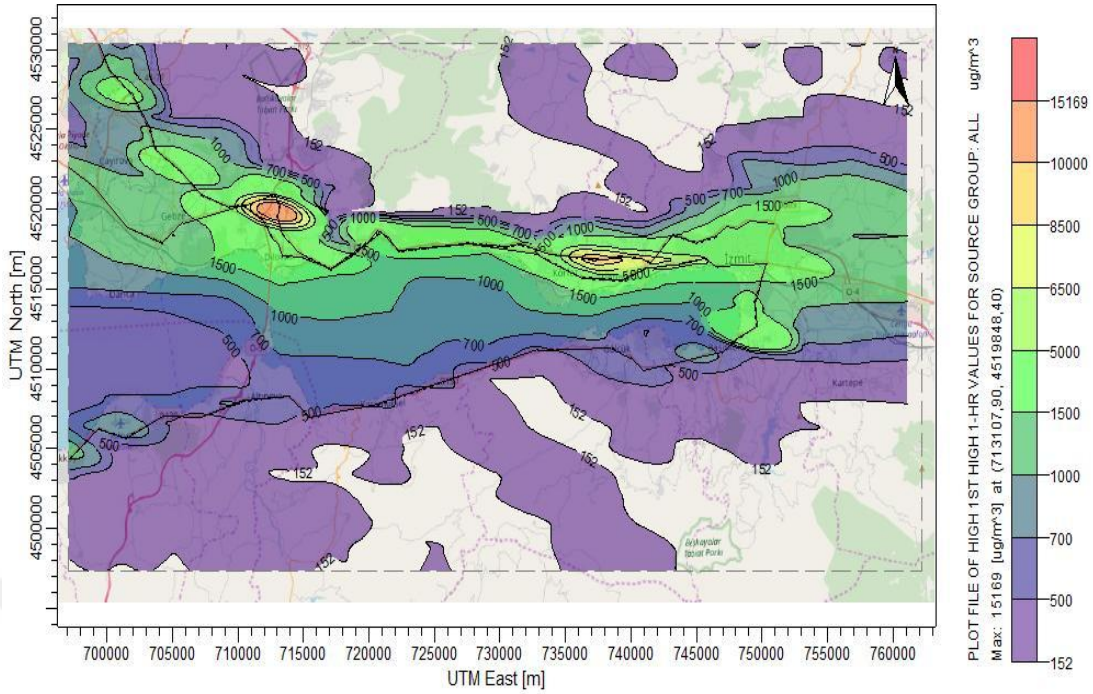


Şekil 5.16.a. 2015 yılı yıllık NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı

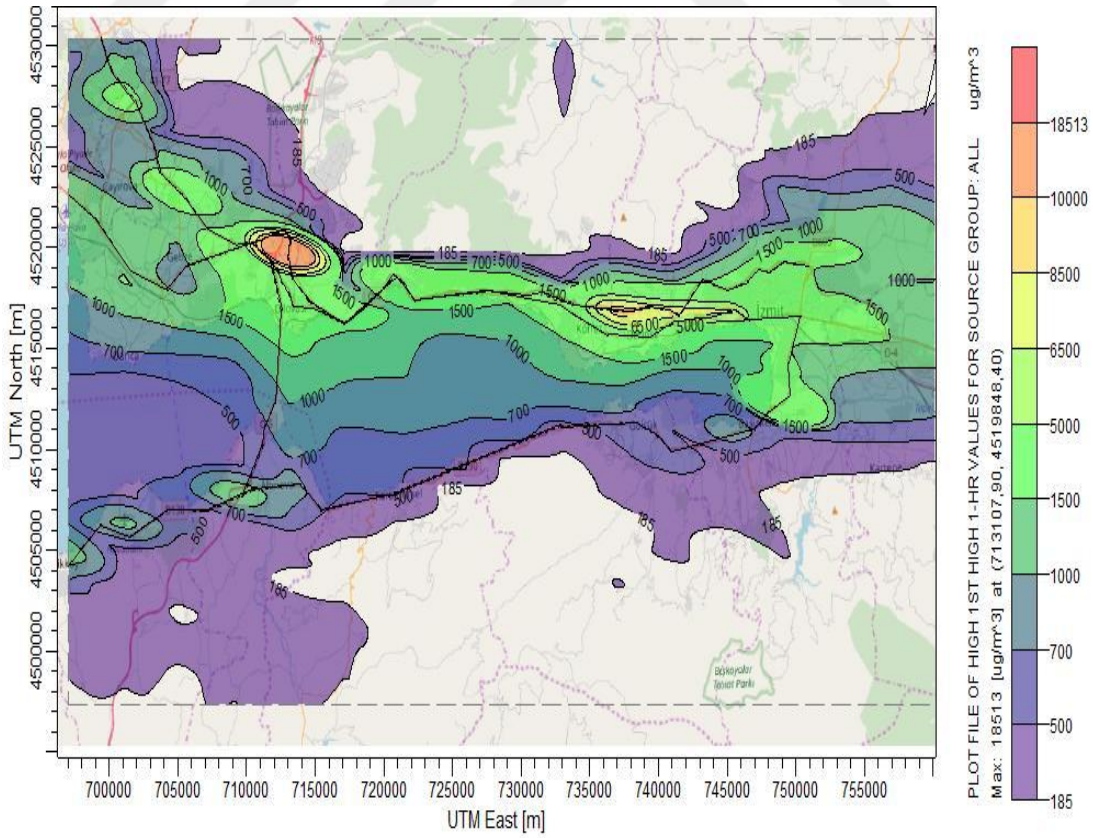


Şekil 5.16.b. 2017 yılı yıllık NO_X emisyonunun atmosferik dağılımı

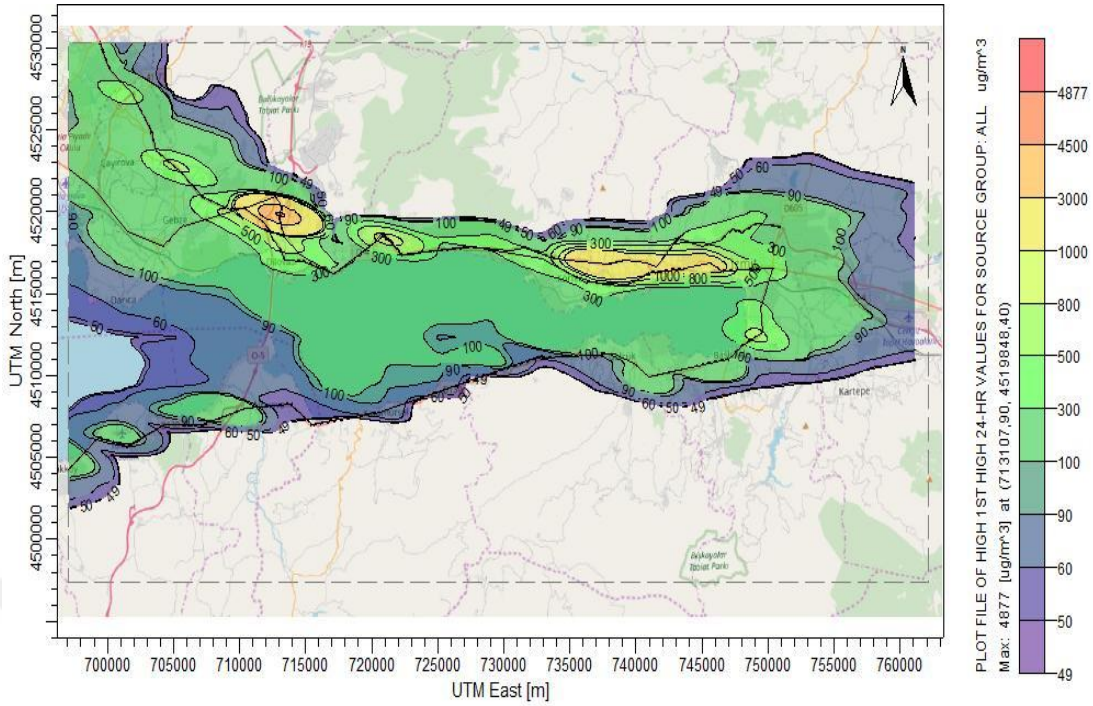
NO_X emisyonunun atmosferik dağılım haritaları (Şekil 5.14.a/b – Şekil 5.16.a/b) incelendiğinde, PM_{10} emisyonunun dağılımında olduğu gibi max. konsantrasyonun olduğu bölgenin değiştiği, köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) için max. konsantrasyonun Derince taraflarında, sonrası (2017 yılı) için ise Dilovası taraflarında olduğu gözlenmiştir. 2015 yılı için 891,1 µg/m^3 olan yıllık max. konsantrasyon değeri 2017 yılında 945,4 µg/m^3 seviyelerinde olup HKDYY'de ve EU standartlarında verilen Limit Değerin (yıllık 30 µg/m^3) çok üstündedir. NO_X, ciddi solunum problemleri başlatabilmekte, yer seviyesindeki ozonun ve asit yağmurlarının oluşumuna, suyun bozulmasına, atmosferik partiküllerin görülebilirliğinin azalmasına, toksik kimyasalların oluşumuna etki eder ve iklim krizine sebep olmaktadır (Sert, 2008). Bu etkilere sahip olduğundan emisyonun düşürülmesi için gerekli politikaların oluşturulması ve uygulamaya konulması gerekmektedir.



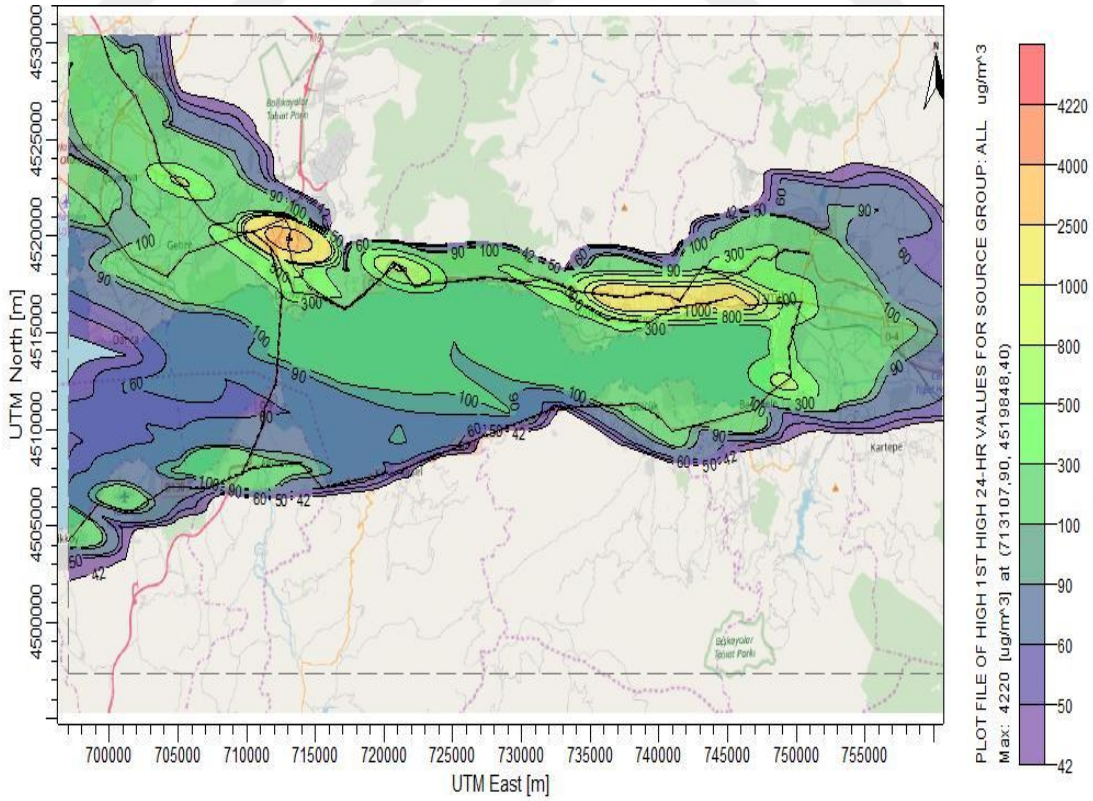
Şekil 5.17.a. 2015 yılı saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı



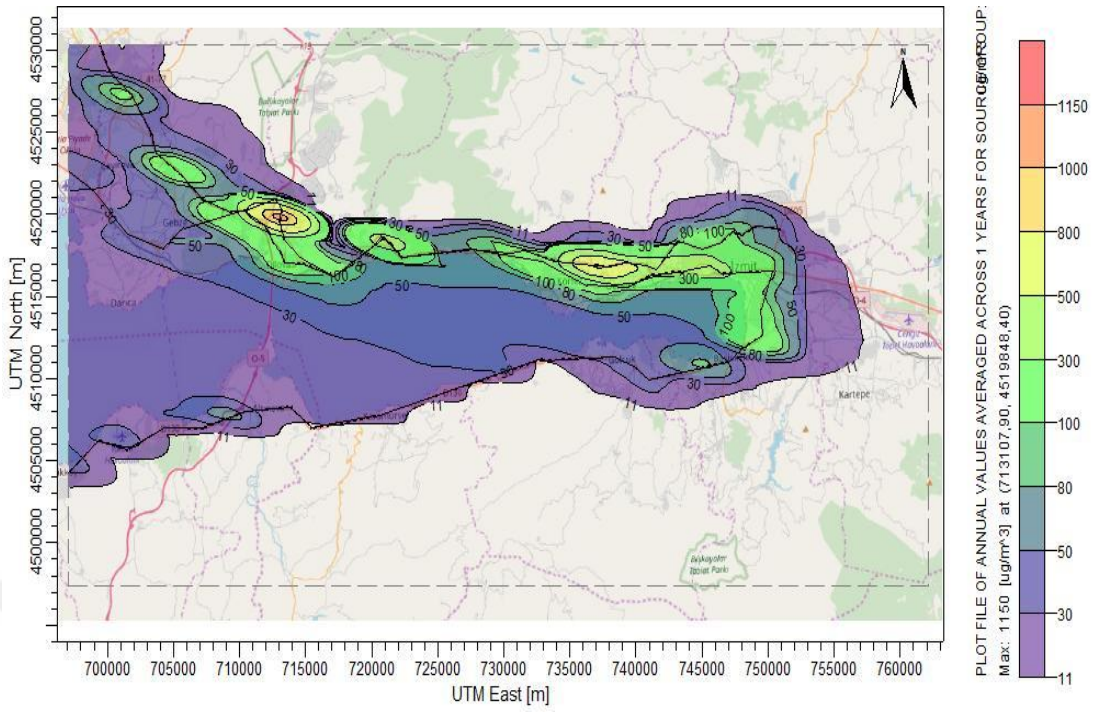
Şekil 5.17.b. 2017 yılı saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı



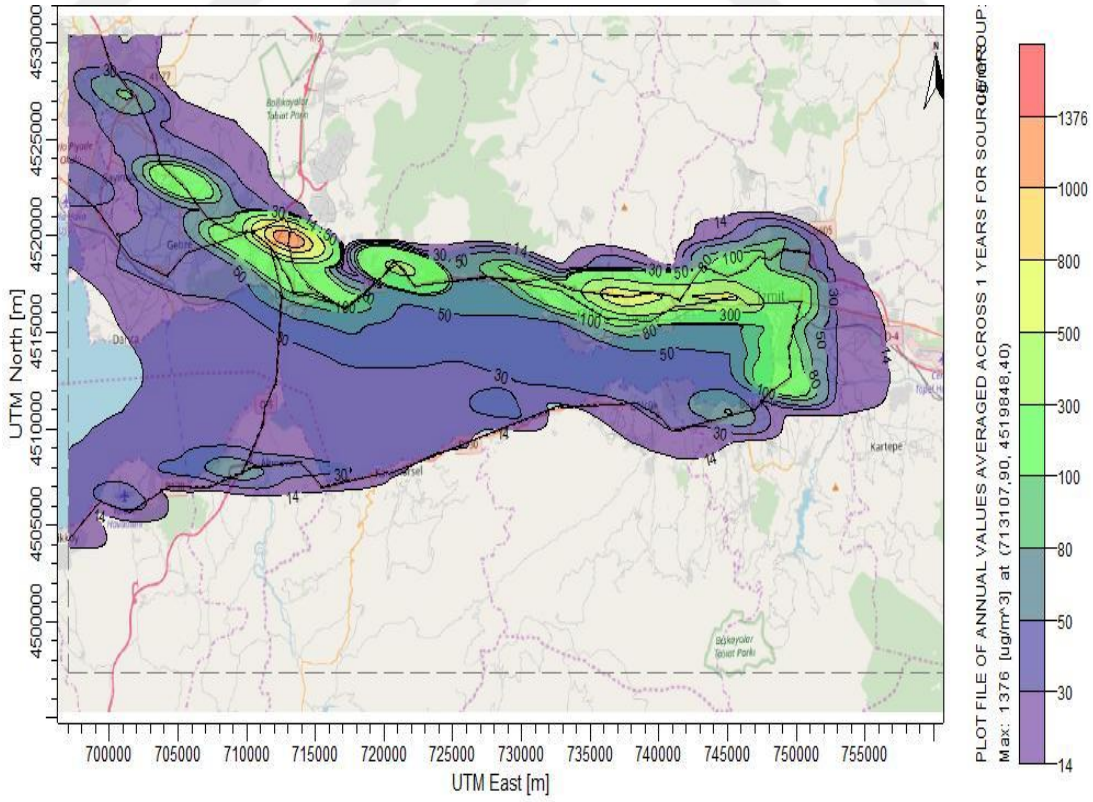
Şekil 5.18.a. 2015 yılı 24 saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.18.b. 2017 yılı 24 saatlik CO emisyonunun atmosferik dağılımı

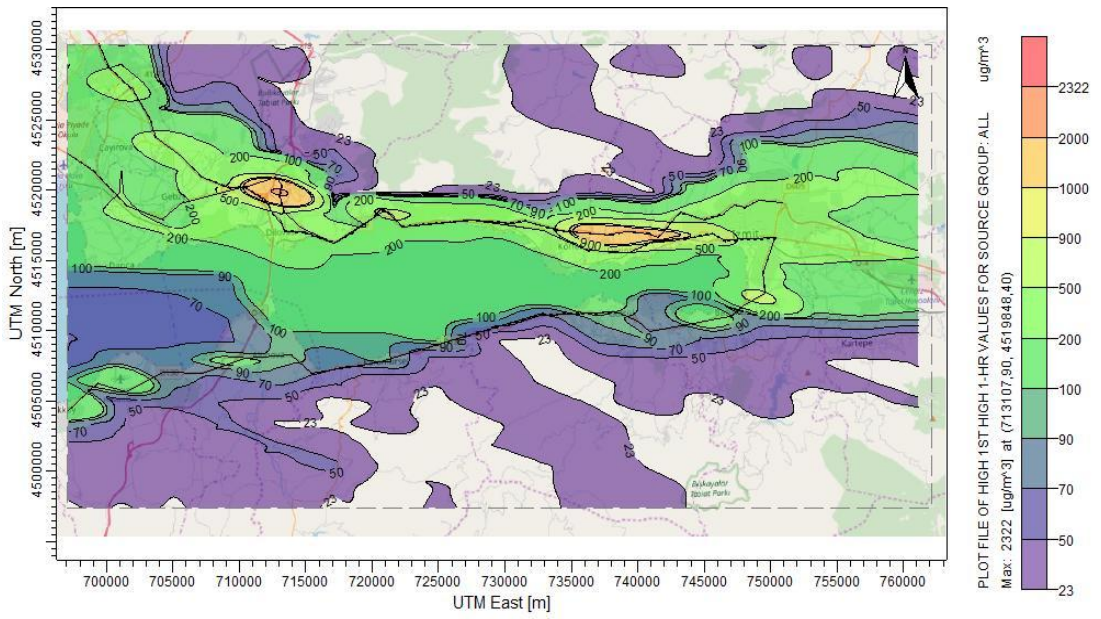


Şekil 5.19.a. 2015 yılı yıllık CO emisyonunun atmosferik dağılımı

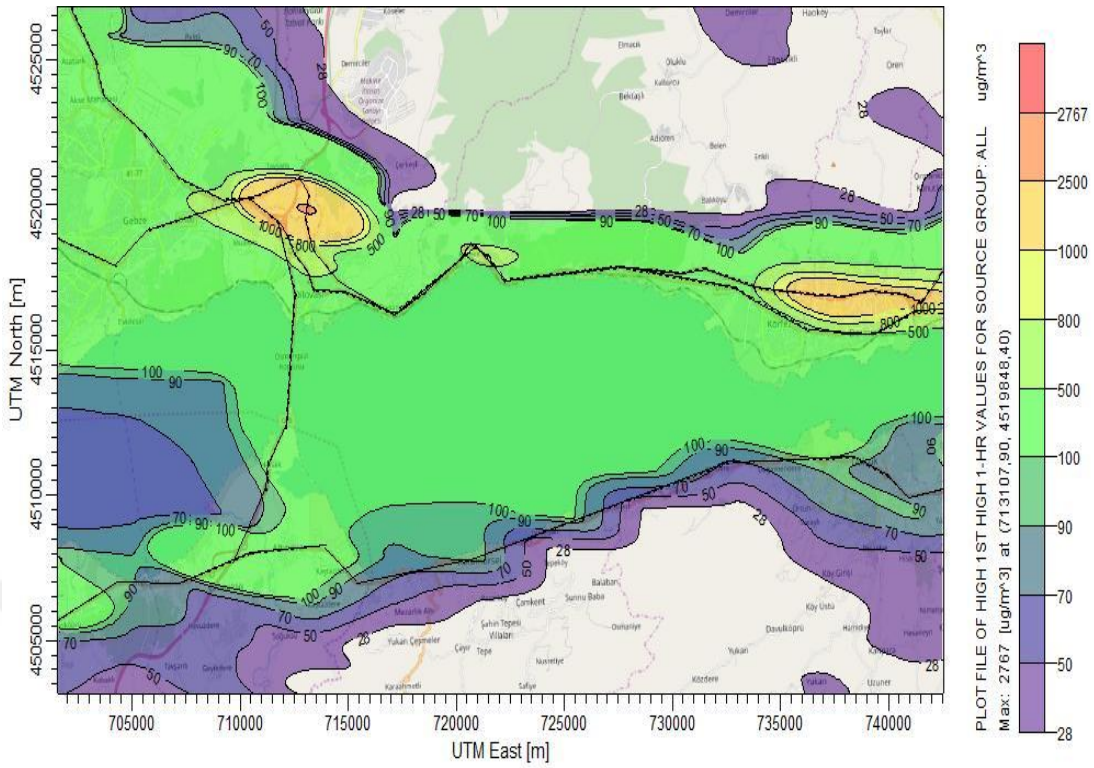


Şekil 5.19.b. 2017 yılı yıllık CO emisyonunun atmosferik dağılımı

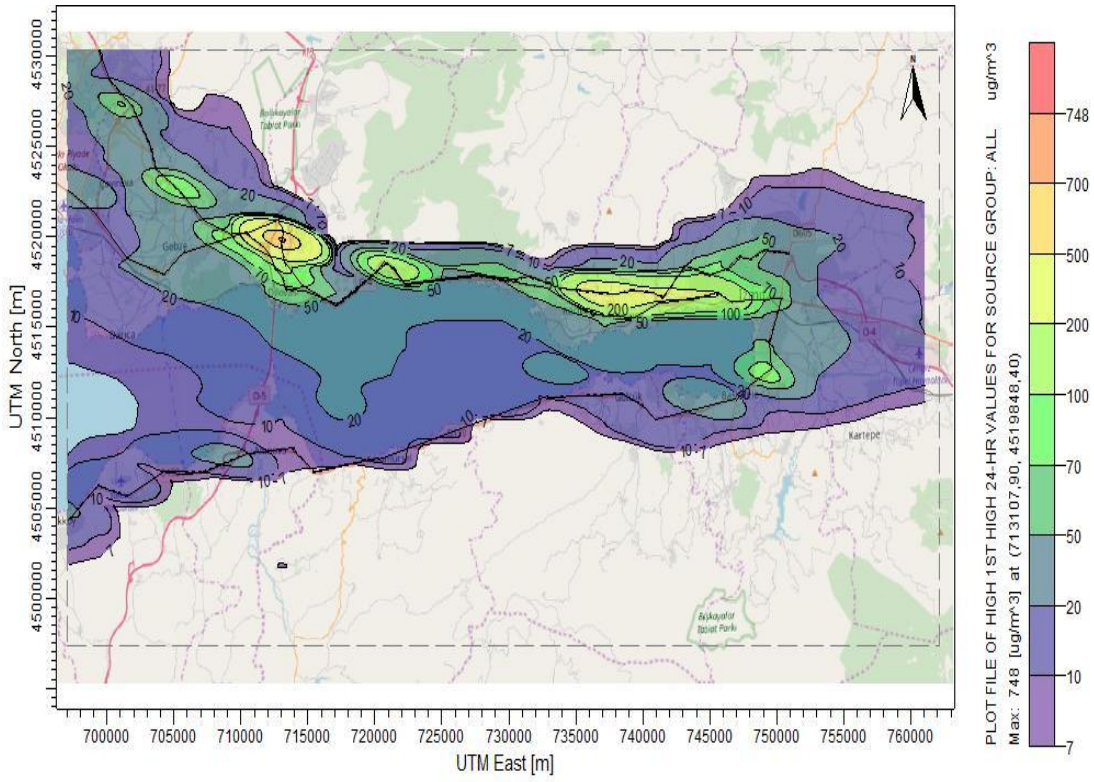
CO emisyonunun atmosferik dağılım haritaları (Şekil 5.17.a/b – Şekil 5.19.a/b) incelendiğinde, SO_2 ve CO_2 emisyonunda olduğu gibi her iki yıl için de max. konsantrasyonun olduğu bölgenin Dilovası olduğu gözlenmiştir. Köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için kirlilik dağılım haritalarının birbirine benzediği, ancak Osmangazi Köprüsünün kullanılmasının İzmit Körfezi'nin uç kısımlarına doğru kirlilik dağılımında bir miktar da olsa azalmayı sağladığı belirlenmiştir. 2015 yılı için 1150 µg/m^3 olan max. yıllık konsantrasyon değeri 2017 yılında 1376 µg/m^3 seviyelerinde olup HKDYY, EU ve USEPA standartlarında belirtilen 10000 (8 saat) µg/m^3 sınır değerinin altındadır. 2017 yılında saatlik max. konsantrasyon 18513 µg/m^3 olup bu değer de USEPA standartlarında belirtilen 40000 µg/m^3 (1 saat) sınır değerinden düşüktür. CO, kana geçerek vücudun organ ve dokularına O_2 dağıtımını azaltmaktadır. Yükseltilmiş CO seviyeleri görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir (Yıldırım, 2010). Böyle etkilere sahip emisyonun daha detaylı yorumlamalara da imkan vermesi sebebiyle CO konsantrasyonu sınır değerlerinin günlük ve yıllık bazda da belirlenmesi ve HKDYY'ne eklenmelidir.



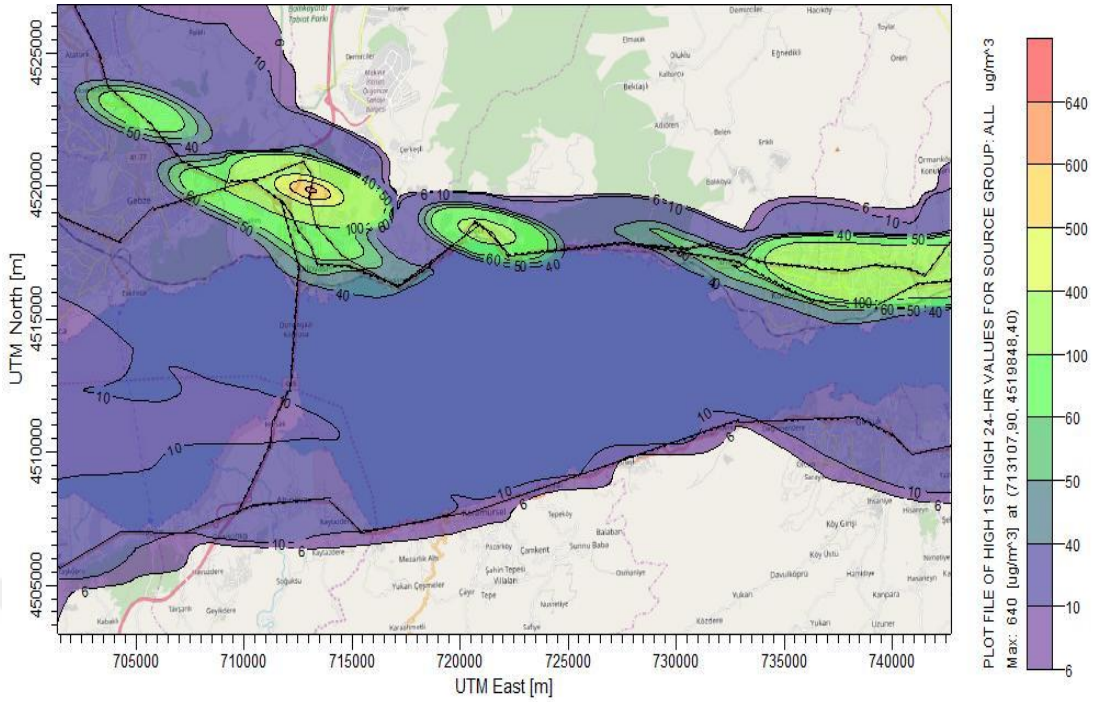
Şekil 5.20.a. 2015 yılı saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı



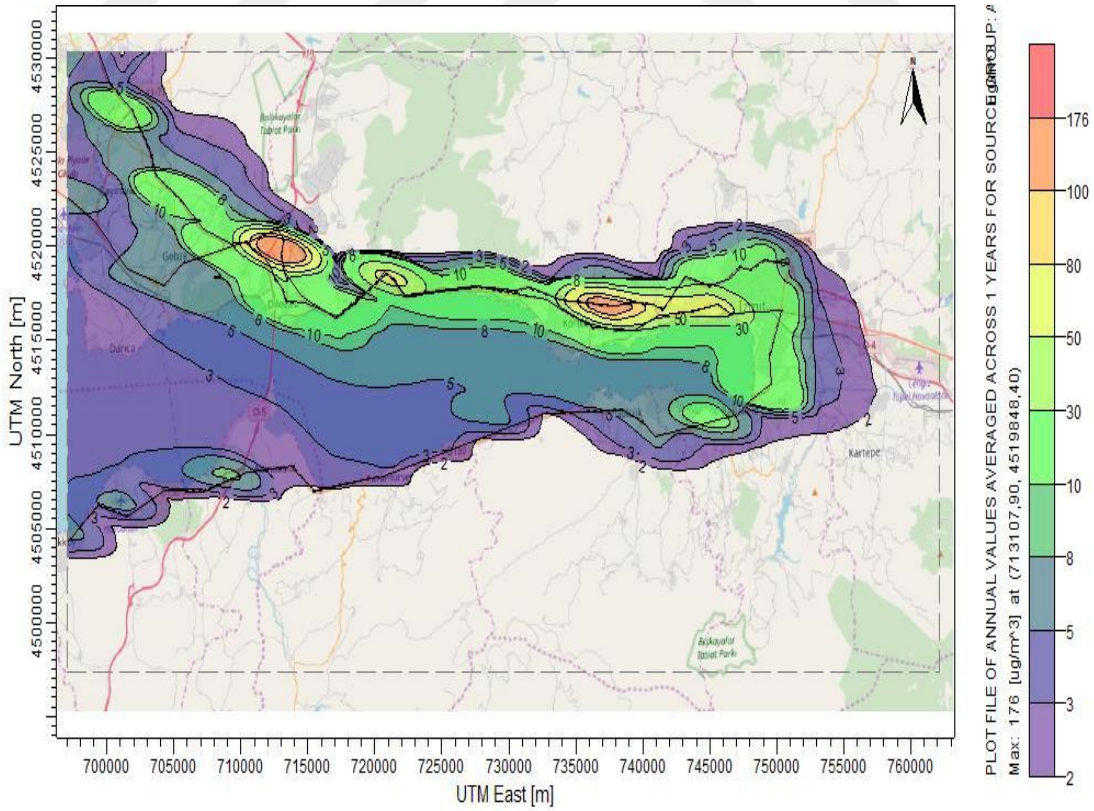
Şekil 5.20.b. 2017 yılı saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı



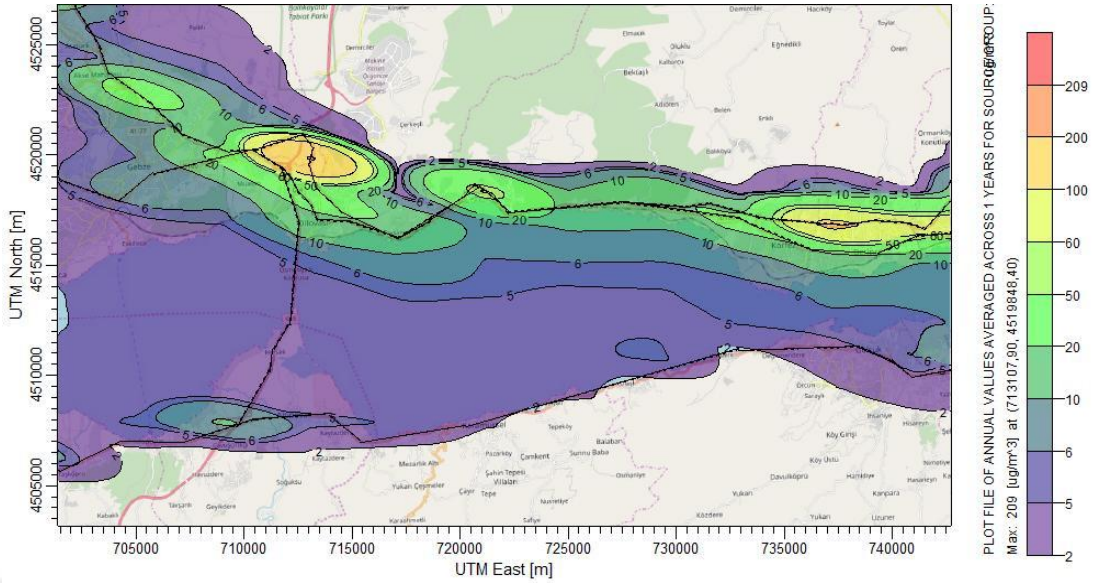
Şekil 5.21.a. 2015 yılı 24 saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.21.b. 2017 yılı 24 saatlik NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.22.a. 2015 yılı yıllık NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı



Şekil 5.22.b. 2017 yılı yıllık NMVOC emisyonunun atmosferik dağılımı

NMVOC emisyonunun atmosferik dağılım haritaları (Şekil 5.20.a/b – Şekil 5.22.a/b) incelendiğinde, SO_2 , CO_2 ve CO emisyonunda olduğu gibi her iki yıl için de max. konsantrasyonun olduğu bölgenin Dilovası olduğu gözlenmiştir. Köprünün hizmete açılmadan öncesi (2015 yılı) ve sonrası (2017 yılı) için kirlilik dağılım haritalarının birbirine benzediği, ancak Osmangazi Köprüsünün kullanılmasının İzmit Körfezi'nin uç kısımlarına doğru kirlilik dağılımında bir miktar da olsa azalmayı sağladığı belirlenmiştir. 2015 yılı için 176 µg/m^3 olan max. yıllık konsantrasyon değeri 2017 yılında 208 µg/m^3 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. İklim değişikliğine neden olan gazlar arasında yer alan NMVOC, yer seviyesine yakın ozon oluşumunda etken olduğu için, solunum miktarına ve süresine bağlı olarak insanların solunum yollarında tahribata ve solunum yetersizliklerine neden olmaktadır. NMVOC' lerin kansere, çocuklarda ve yeni doğanlarda gelişme bozukluğuna, düşüğe ve doğurganlıkta düşüşe neden olduğu ve merkezi sinir sitemi, göz, solunum yolları tahrişi(burun ve boğaz), baş ağrısı, koordinasyon kaybı, mide bulantısı, karaciğer ve böbrek üzerinde olumsuz etkileri de olduğu bilinmekte (Uçar, 2014) ve böyle etkilere sahip emisyonun zararsız seviylerde tutulması önem arz etmektedir. Bu konuda gerekli politikalar oluşturulmalıdır. Daha detaylı yorumlamalara da imkan vermesi sebebiyle NMVOC konsantrasyonu sınır değerlerinin belirlenmesi ve HKDYY'ne eklenmesi gerekmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toplamda ve kullanılan yollar ayrı ayrı incelendiğinde SO_2 ve NO_X hariç toplam taşıt sayısındaki değişimlere paralel emisyon miktarlarında değişme olduğu tespit edilmiştir. SO_2 ve NO_X' deki tersi değişim tercih edilen yakıt türünün değişmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin benzinli araçlarda daha fazla oluşan SO_2 emisyonunun taşıt sayısındaki artışa rağmen azalması, 2017 yılına gelindiğinde dizel yakıt tercih oranının artmasından dolayıdır. Dizel yakıtlarda daha fazla oluşması beklenen NO_X emisyonun toplamdaki miktarının düşmesi başta çok fazla emisyon oluşumuna neden olan ağır taşıt grubuna giren araç sayılarındaki -%9,5'luk değişim olmak üzere yakıt tercihinin değişmesine bağlıdır.

D-100'den kaynaklanan emisyon miktarlarında artış, Otoyol'dan kaynaklı emisyon miktarlarında düşüş olduğu bu değişimlerin taşıt sayılarındaki değişime paralel gerçekleştiği tespit edilmiştir. Köprü yapımının, Körfez bölgesi üzerindeki emisyon miktarının azaltılması yönünde etki göstermesi için gerçekleşen durumun tersine köprü bağlantı yolları olan otoyolların kullanımının artması gerekmektedir. Otoyol kullanımının azalması ve köprü kullanımının beklenen yoğunlukta olmamasının kullanma bedellerinden kaynaklanabilmektedir. Gerekli teşvikler sağlanarak otoyol ve köprü kullanımının özendirildiği ve taşıt sayısın arttığı hallerde Körfez bölgesinde motorlu kara taşıtları kaynaklı emisyon miktarlarında azalma, köprünün olduğu bölgede ise artış olacağı düşünülmektedir.

Emisyon miktarlarının dağılım sonuçları incelendiğinde de 2015 ve 2017 yılları arasında belirgin bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. 2015 yılında PM_{10} ve NO_X hariç diğerlerinin, 2017 yılında ise bütün kirleticilerin (SO_2, CO_2, PM_{10}, NO_X, CO ve NMVOC) max. konsantrasyon değerlerinin Dilovası bölgesinde oluştuğu tespit edilmiştir. Bölgenin çanak şeklindeki topoğrafik yapısı ve bölgede hakim olan meteorolojik koşullar hava kirletici bileşenlerin Dilovası üzerinde birikmesine neden olmaktadır. Dilovası üç tarafı tepelerle çevrili, diğer yanında ise deniz yer alan bir vadi olmakla beraber vadinin deniz tarafındaki ağız kısmı da bir tepe ile kapanmış

durumdadır. Vadinin dört tarafı yükseltilerle çevrili yapısı hava akımlarını önemli ölçüde etkilemekte ve bölgede bulunan hava kirleticilerinin önemli bir bölümü hava akımları ile taşınamadan bölgede kalmaktadır (Başaran, 2009). Dilovası'nda max. konsantrasyon seviyelerinin düşürülmesi için bölgenin coğrafi dezavantajlarını minimize etmek maksadıyla, D-100 ve Otoyol, yerleşim yerlerinin arka tarafına (Kuzey Yönü) aktarılabilir.

Bu çalışmada hesaplanan max. konsantrasyonlar, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan alınan sürekli ölçüm cihaz sonuçları ile kıyaslanmıştır. 2017 yılında Dilovası için bu çalışmada hesaplanan taşıt kaynaklı emisyonların max. konsantrasyonları SO_2, PM_{10}, NO_X ve CO için sırasıyla 3 $\mu g/m^3$, 87,1 $\mu g/m^3$, 2892,6 $\mu g/m^3$ ve 4219,6 $\mu g/m^3$ iken Dilovası (UHKİA) istasyonunda ortam havası için yapılan ölçüm sonuçları sırasıyla 136,67 $\mu g/m^3$, 214,02 $\mu g/m^3$, 421,73 $\mu g/m^3$ ve 2148,74 $\mu g/m^3$'tür (Url-13). Sonuçlardan da görüldüğü gibi hesaplanan taşıt kaynaklı NO_X ve CO emisyonları istasyonda ölçülen ortam havası değerlerinden fazladır. Ölçüm ve model sonuçlarının farklılık göstermesi emisyon miktarı hesaplamada kullanılan yöntemden olabileceği gibi kullanılan modellleme programından da kaynaklanabilir. Kirleticilerin her biri farklı karakteristiğe sahip olup atmosferde farklı dağılım gösterebilmektedir ve bütün modellemeler her kirletici için aynı hassasiyette başarı gösteremeyebilir. Örneğin; NMVOC, NO_X ile beraber fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasında etkilidirler (Pekin, 2006). Atmosferde gösterdikleri bu reaksiyonlar dikkate alındığında NO_X ve NMVOC için fotokimyasal modelleme yöntemlerinin tercih edilmesi daha hassas sonuçlar verebilir. Fotokimyasal difüzyon modelleri çok kompleks ve aşırı detay gerektirmelerine ve modele teorinin dahil edilmesinin zorunluluğuna rağmen, başarılı tahminler yapabilmektedir (Tecer, 2000). Demiraslan tarafından kararlı hal dispersiyon modelleri (AERMOD, ISCST-3) ve kararsız hal dispersiyon modeli (CALPUFF) kullanılarak yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda da SO_2 ve NO_X için kararlı hal, PM_{10} ve CO için ise kararsız hal dispersiyon modellerinin daha başarılı olduğu görülmüştür (Demirarslan, 2018).

Hesaplanan max. konsantrasyonlar ulusal ve uluslararası sınır değerler ile mukayese edildiğinde CO_2 ve NO_X konsantrasyonlarının limitin üstünde olduğu, özellikle NO_X konsantrasyonunun çok fazla olduğu tespit edilmiştir. CO_2 egzoz gazları arasından en

zararsızı olarak bilinse de iklim krizine önemli etkisi vardır (Yıldırım, 2010). NO_X, ciddi solunum problemleri başlatmakla beraber yer seviyesinde ozonun ve asit yağmurlarının oluşumuna, suyun bozulmasına, atmosferik partiküllerin görülebilirliğinin azalmasına, toksik kimyasalların oluşumuna etki eder ve iklim krizine neden olur (Sert, 2008). Ekolojik dengeye bu kadar sakıncası olan bu kirleticilerin uygun seviyelere çekilmesi için gerekli politikaların geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Taşıt kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması için ;

-fosil kökenli yakıtların terk edilmesi

-toplu taşıma kullanımının yaygılaştırılması

-gereksiz dur-kalk işlemlerinin azaltılması

-trafik ışık sinyalizasyonunun geliştirilmesiyle rutin bir trafik akışının sağlanması gibi bazı önlemler uygulanabilir.

KAYNAKLAR

Akay M.E., Taşıt Emisyonlarının Azaltılmasında Trafik Işıklarının Senkronizasyon Etkisinin Modellenmesi, *Politeknik Dergisi*, 2008, **11**(1), 51-56.

Alkaya B., Yıldırım M., Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri, *ÇEV-KOR Ekoloji Dergisi*, 2000, **9**(34), 15-20.

Aydın Y., Motorlu Taşıt Araçlarının Çevreye Olan Etkileri ile Bunların Azaltılması Çabalarının Araştırılması ve Alternatif Yakıt ve Tahrik Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1996, 56942.

Başaran Y., Dilovası Çanağı'nda Ozon Prekürsörü Olan NO_x Dağılımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251524.

Bellasio R., Bianconi R.,Corda G., Cucca P., Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy), *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(4), 677– 691.

Borrego C., Miranda A.I., Countinho M., Ferreira J., Carvalho A.C., Air Quality Management in Portugal: Example of Needs and Available Tools, *Elsevier*. 2002, **120**(1) 115-123.

Cuci Y., Polat E.E., Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2015, **18**(2), 1-11.

Çelebi F., Samsun Organize Sanayi Bölgesinde Hava Kalite Modellerinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2014, 354444.

Çetin Ş., Karademir A., Pekey B., Ayberk S., Kocaeli Ili'nde Trafik Kaynaklı Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri, *Kocaeli Özelinde Büyüksehirlerin Kentsel Yapılasma ve Ulasım Sorunları Sempozyumu*, Kocaeli, 2006.

Demirarslan K.O., Kocaeli İli Körfez İlçesi' nde Hava Kirletici Kaynaklarının Ve Hava Kalitesi Seviyesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Kocaeli, 2012, 323156.

Demirarslan K.O., PUFF Dağılım Modellemesi ve Hava Kalitesi Değerlendirmesinde Kullanımı, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 2018, **20**(1), 1-12.

EMEP/EEA Air Pollutant Emission İnventory Guidebook 2016 – Last Update June 2017

Elbir T., Bayram A., Kara M., Altıok H., Seyfioğlu R., Ergün P., Şimşir S., İzmir Kent Merkezinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin İncelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2010, **12**(1), 1-17.

Erdoğan E., Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinde Modellerin Kullanımının Karar Verme Sürecindeki Rolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 350402.

Gallardo L., Escribano J., Dawidowski L., Rojas N., Andrade M.D.F., Osses M., Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo., *Atmospheric Environment*, 2011, **47**(2012), 12-19.

Hao J., Dongquan O., Ye W., Lixn F., Kebin O., A Study of The Emission And Concentration Distribution Of Vehicular Pollutants İn The Urban Area Of Beijing, *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(3), 453-465.

İlkılıç C., Behçet R., Aydın S. ve Aydın H., Diesel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 13-15 Mayıs 2009.

Johansson C., Norman M., Burman L., Road traffic emission factors for heavy metals, *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(31), 4681– 4688.

Koca H., Elbir T., Bir Üniversite Yerleşkesi İçinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi, *Hava Kirliliği Araştırma Dergisi*, 2013, **45**(54), 1-17.

Memişoğlu A., Erzurum İlinde Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2001, 105288.

Mensink C., Vlieger I., Nys J., An Urban Transport Emission Model for the Antwerp Area, *Atmospheric Environment*, **34**(2000), 4595-4602.

Özkurt N., Kırsal Alanlarda Hava Kalitesi Modellemesi Üzerine Araştırma (Çan-Bayramiç Bölgesi Örneği) , Doktora Tezi, GYTE, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2011, 290204.

Pekin M.A., Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 223124.

Saatçıoğlu T., Marmaray Projesi İle Trafikten Çekilecek Otomobil Sayısının İstanbul'da Hava Kalitesine Yapacağı Etkinin IVE Model İle Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 292091.

San Jose R., Pedraza L.D., Salas I., Gonzalez R.M., The Impact of Road Traffıc In Madrid Community By Using A Nested Gaussian Mesoscale Air Quality Model (GAMA), *Environmental Monitoring and Assesment*, **65**(2000), 469-476.

Sert İ., Balıkesir İl Merkezinde Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2008, 237677.

Sharma P. ve Khara M., Modeling of Vehicular Exhaust-A Review, *Transportation Research Part D*, 2001, **6**(3), 179-198.

Soruşbay C., Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 2007, **48**(564), 22-26.

Sternberk J., Sjödin A., Andreasson K., Metal emissions from road traffic and theinfluence of resuspension-results from two tunnelstudies, *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(30), 4735-4744.

Tecer L., İstanbul Kenti Fotokimyasal Smog Mekanizmasının Modellenmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2000, 98102.

Uçar O.F., Samsun İli Limanlarına Gelen Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi ve Çevreye Etkisi, Denizcilik Uzman Tezi, T.C Ulaştırma Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı, 2014.

Yıldırım G., Boğaziçi Köprüsünün Taşıt Kaynaklı Kirleticilerinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 295647.

URL-1: https://www.ivhhn.org/index.php/information/information-different-volcanic-gases/sulphur-dioxide#exposure, (Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2019).

URL-2: https://www.ivhhn.org/information/information-different-volcanic-gases /carbon-dioxide , (Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2019).

URL-3: https://www.wunderground.com/resources/health/pm.asp , (Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2019).

URL-4: https://gnc6nts.wordpress.com/2010/04/10/azot-oksitlerin-saglik-uzerine-etkileri/ , (Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2019).

URL-5: http://www.kocaeli.bel.tr/tr , (Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2019).

URL-6: http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM /SiteTr/Root /default.aspx , (Ziyaret Tarihi: 18 Nisan 2019).

URL-7: Google Earht , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

URL-8: http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/ TrafikveUlasim Bilgileri.aspx , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

URL-9: http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080606-6.htm , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

URL-10: https://www.epa.gov/ , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

URL-11: https://www.who.int/ , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

URL-12: https://europa.eu/ , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

URL-13: https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/DataBank , (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2019).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Altuntaş A., Doğruparmak Ş.Ç., Osmangazi Köprüsü İle Trafikten Çekilen Taşıt Sayısının Kocaeli İlin'nde Hava Kalitesine Yaptığı Etkinin Belirlenmesi, *Uluslararası Marmara Fen Ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, 26-28 Nisan 2019.

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Kocaeli'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2009 yılında girdiği Balıkesir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Şubat 2017-Ekim 2017 tarihleri arasında Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü/Tezsiz Yüksek Lisans programını tamamladı. 2016 yılında C Sınıfı, 2017 yılında ise B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı Sertifikasına sahip oldu. 2013 yılından bu yana Çevre Mühendisi ve İş Güvenliği Uzmanı olarak çeşitli işlerde çalıştı.