

**KARAYOLU KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ
DAĞILIM MODELLEMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ayşegül FİLİZ

KARAYOLU KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ DAĞILIM MODELLEMESİ

Ayşegül FİLİZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Eylül 2019

Ayşegül FİLİZ tarafından hazırlanan “KARAYOLU KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ DAĞILIM MODELLEMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hasan ÖZCAN (AYBÜ)



Üye : Doç. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN (KBÜ)



03/10/2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ayşegül FİLİZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARAYOLU KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ DAĞILIM MODELLEMESİ

Ayşegül FİLİZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi Ali CAN
Eylül 2019, 73 sayfa**

Bu çalışmada, karayolu kaynaklı (C (CO₂), CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC) emisyonlar hesaplanarak ve bu emisyonların yarattığı yer seviyesi konsantrasyonları EXCELL tabanlı PUFF dispersiyon modeli kullanılarak üretilmiştir. Modelin en önemli değişkenleri; araç sayısı, araç hızı araç tipi, sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü, basınç, karışım yüksekliği, bulutluluk ve nem, alan çalışması ve taşınabilir meteorolojik ölçüm istasyon aracılığı ile derlenmiştir. Çalışma sonucunda, araç hızı, kullanılan yakıt ve emisyon arasındaki denklikler istatistiksel olarak yüksek ve kabul edilebilir bir seviyede oluşturularak, model için girdi olarak tanımlanmıştır. Yol rakımı ve mesafesine bağlı kalarak minimum hız, maksimum hız ve ortalama hızlar için emisyonlar ve emisyonlara göre yer seviyesi konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Karabük il merkezi ile Safranbolu ilçesini birbirine bağlayan otoyollar için günlük toplam CO₂ eşdeğeri emisyon miktarı 42.79 ton olarak hesaplanmıştır. Genel sonuçlar incelendiğinde bir aracın ilk çalışma anında fazla yakıt harcadığı, 50 km/s

hıza gelene kadar ise yakıt tüketimi harcamasının düştüğü, 50-90 km/s aralığında sabit devam ettiği ve hatta 90 km/s den sonra hız arttıkça yakıt tüketiminin de arttığı gözlemlenmiştir.

Benzinli bir araç, model çıktılarına göre en çok 0.003 C kg/m³/gün lük bir konsantrasyon yaratmaktadır. Toplam benzinli araçlar 24 saat sonunda atmosfer durumu değerleri ortalama değerler alınarak hesaplandığında en yüksek C konsantrasyonu 13.85 kg/m³/gün'dür. Bunun anlamı yer seviyesi konsantrasyonunun 50 kg/m³ CO₂ konsantrasyon olarak görülebileceğidir. Bu değer dizel ve LPG'li araçlar için sırasıyla 130.74 kg/m³ ve 72.2 kg/m³ olarak elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kirlilik Emisyonu, Gauss dağılımı, PUFF model, dispersiyon.

Bilim Kodu : 914.1.027

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AIR POLLUTION DISPERSION MODELLING FROM HIGHWAY

Ayşegül FİLİZ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Engineering

Thesis Advisor:

Dr. Lecturer Ali CAN

September 2019, 73 pages

In this study, road transport emissions (C (CO₂), CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC) are calculated and ground level concentrations generated by these emissions are produced by using EXCELL base PUFF dispersion model. The most important variables; number of vehicles, vehicle speed, vehicle type, temperature, wind speed, wind direction, pressure, mixing height, cloudiness and humidity were gathered by field survey and portable meteorological measurement station. As a result of this study, the equation of relations between vehicle speed, fuel type and emission were created statistically at high and acceptable level and equations are defined as input for the model. Emissions of minimum speeds, maximum speeds and average speeds depending on road altitude and distance, and ground level concentrations based on these emissions, were calculated.

Total CO₂ equivalent emission was calculated as 42.79 tons per day for the roadway connecting between Karabük province center and Safranbolu district. As the general

results are examined, it is observed that a vehicle consumes more fuel during the first run. Then fuel consumption decreases until a speed of 50 km/h, it remains constant in the range of 50-90 km/h and the fuel consumption increases as the speed increases even more than 90 km/h.

A gasoline vehicle, according to the model outputs, produces the highest concentration with a value of 0.003 C kg/m³/day. The highest C concentration of total gasoline vehicles on the same road is 13.85 kg/m³/day due to average atmospheric values. It means that the ground level concentration can be seen up to 50 kg/m³ CO₂ concentration. This value was obtained as 130.74 kg/m³ and 72.2 kg/m³ for diesel and LPG vehicles, respectively.

Key Word : Pollutant Emission, Gaussian distribution, Puff Model, dispersion.

Science Code : 914.1.027

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının yűrűtűlmesinde ilgi ve desteęini esirgemeyen, bilgi ve tecrűbelerinden yararlandığım, alıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren ve 4 yıl boyunca her pes ettięimde manevi destek vererek baőarılı olacaęıma inanmamı saęlayan saygıdeęer hocam Dr. Őęr. Ŭye Ali CAN'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Anne ve babama maddi manevi her zaman yanımda oldukları iin ok teőekkűr ederim. Bu zorlu sűrete her adımda daha saęlam adımlar atmamı saęlayan fikirleriyle bana yol gűsteren sevgili niőanlım Kadir Kaan DURHAN'a teőekkűr ederim.

Bu alıőma, Karabűk Ŭniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiőtir (Proje Numarası: Project Number: KBŬBAP-17-YL-187).

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. DÜNYADA HAVA KİRLİLİĞİ.....	2
1.2. TÜRKİYE’DE HAVA KİRLİLİĞİ.....	4
1.3. KARABÜK İLİNDE HAVA KİRLİLİĞİ.....	6
1.4. KARAYOLU ULAŞIMI VE HAVA KİRLİLİĞİ	7
1.5. MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	9
1.6. AMAÇ VE KAPSAM	9
BÖLÜM 2	11
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
2.1. HAVA KİRLİLİĞİ.....	11
2.2. ULAŞTIRMA KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ	14
2.3. KİRLİLİK DAĞILIM MODELLERİ	17
2.3.1. Kutu (Box) Modeli	18
2.3.2. Gauss Plume Modelleme	19
2.3.3. Calpuff Modelleme	20
2.3.4. Puff Modelleme	21

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	23
YÖNTEM VE METEDOLOJİ	23
3.1. KAPSAM	23
3.2. İSTATİKSEL VERİLER	24
3.2.1. Meteorolojik Veriler	24
3.2.2. Araç Sayıları	27
3.2.3. Anlık Yakıt Tüketimleri	29
3.2.4. Emisyon Hesabı	30
3.2.5.1. Eddy Dağılım Oranı	35
3.2.5.2. Boyutsal Rüzgar Değişimi	36
3.2.5.3. Sürtünme Hızı	36
3.2.5.3. Pürüzlülük Uzunluğu	36
3.2.5.4. Monin-Obukhov Uzunluğu	37
3.2.5.5. Karışım Yüksekliği	37
3.2.5.6. Karışım Katmandaki Hız Ölçeği	38
3.2.5.7. Yüzey Isısı	38
3.2.6. Coğrafi Bilgi Sistemler	39
BÖLÜM 4	40
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	40
4.1. ANLIK YAKIT TÜKETİMİ VE HIZ	40
4.2. EMİSYON ENVANTERİ	42
4.3. PUFF MODELİ SONUÇLARI	50
BÖLÜM 5	63
SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Karabük ili günlük kirletici değerleri (21.11.2018)	7
Şekil 2.1.	Toz Emisyon Sınırları	13
Şekil 3.1.	Google Earth çalışma yolu uydu görüntüsü	23
Şekil 3.2.	Çalışma yolunun rakım değerleri	24
Şekil 3.3.	TFA 35.1077 Kablosuz hava istasyonu ile meteorolojik ölçüm	25
Şekil 3.4.	TFA 35.1077 kablosuz hava istasyonu	26
Şekil 3.5.	Araç sayımı kamera görüntüleri saat 08:00-09:00	28
Şekil 3.6.	Araç sayımı kamera görüntüleri saat 17:00-18:00	28
Şekil 3.7.	Araç panellerinden anlık yakıt tüketim kamera kayıtları	29
Şekil 3.8.	Puff dağılımın şematik gösterimi	33
Şekil 4.1.	Hız/yakıt değişim grafiği.....	40
Şekil 4.2.	Benzin, dizel ve LPG için karbon emisyon faktörleri.....	42
Şekil 4.3.	Benzin, dizel ve LPG için CH ₄ emisyon faktörü	43
Şekil 4.4.	Benzin, dizel ve LPG için N ₂ O emisyon faktörü	44
Şekil 4.5.	Benzin, dizel ve LPG için NO _x emisyon faktörü	44
Şekil 4.6.	Benzin, dizel ve LPG için CO emisyon faktörü.....	45
Şekil 4.7.	Benzin, dizel ve LPG için NMVOC emisyon faktörü	46
Şekil 4.8.	Excel tabanlı PUFF programı ekran görüntüsü.....	49
Şekil 4.9.	Excel tabanlı CALL-PUFF programı çıktısı	50
Şekil 4.10.	Çalışma alanı için 169 noktadaki araç hız değişim grafiği (Karabük Terminali-Safranbolu).....	51
Şekil 4.11.	Çalışma alanı için 169 noktadaki araç hız değişim grafiği (Safranbolu-Karabük Terminali)	51
Şekil 4.12.	Karabük Terminali-Safranbolu arası PUFF modeline tanıtılan her nokta için enlem, boylam ve yükseklik değerleri.....	52
Şekil 4.13.	Tek benzinli araç için kg C/m ³ cinsinden 0.6 m yer seviyesi konsantrasyon çizgi haritası	54
Şekil 4.14.	24 Saatlik benzinli araçlar için kg C/m ³ cinsinden 0.6 m yer seviyesi konsantrasyon çizgi haritası	54
Şekil 4.15.	24 Saatlik benzinli araçlar için kg C/m ³ cinsinden 0.6 m yer seviyesi kontur haritası.....	55

Şekil 4.16. 24 Saatlik benzinli araçlar için kg C/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı	55
Şekil 4.17. 24 Saatlik benzinli araçlar için kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı	56
Şekil 4.18. 24 Saatlik dizel araçlar için kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı	57
Şekil 4.19. 24 Saatlik dizel araçlar tiplerine göre C kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı	57
Şekil 4.20. 24 Saatlik LPG'li araçlar için kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı	58
Şekil 4.21. Benzinli araçlar için çalışma alanında günlük en yüksek ve en düşük araç seyrine göre 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı	59
Şekil 4.22. Benzinli araçlar için çalışma alanında aynı anda atmosferde a) 1 ve b) 2 metrelerde yaratılan C konsantrasyonu	59
Şekil 4.23. Benzinli araçlar için çalışma alanında farklı hızların yarattığı konsantrasyon a) minimum hız ve b) maksimum hız c) ortalama hız	60
Şekil 4.24. Benzinli araçlar için Karabük-Safranbolu arası gidiş ve geliş C konsantrasyonu a) gidiş ortalama hız b) geliş ortalama hız	60
Şekil 4.25. Karabük-Safranbolu arası gidiş ve geliş aynı noktadaki hız farkları değişimleri.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Ülkelerin 2013-2015 yıllarında birincil enerji tüketimi ve yüzdeleri	3
Çizelge 3.1. Excellde kavşak noktalarındaki örnek meteorolojik veri kayıtları	25
Çizelge 3.2. TFA 35.1077 kablosuz hava istasyonu teknik özellikleri.....	26
Çizelge 3.3. 24 Saatlik ölçülen türlerine göre araç sayıları	27
Çizelge 3.4. Araç türlerine göre araç sayıları	28
Çizelge 3.5. Çalışma sahası için benzinli araç ortalama yakıt tüketimleri ve hız değerleri	29
Çizelge 3.6. Yakıt tüketimine göre emisyon faktörleri.....	32
Çizelge 3.7. Model kararlılık sınıfları	33
Çizelge 4.1. Ortalama anlık yakıt tüketimleri ve hız değerleri	40
Çizelge 4.2. Benzin, dizel ve LPG için karbon emisyon bağıntısı	42
Çizelge 4.3. Benzin, dizel ve LPG için CH ₄ emisyon bağıntısı.....	43
Çizelge 4.4. Benzin, dizel ve LPG için N ₂ O emisyon bağıntısı	44
Çizelge 4.5. Benzin, dizel ve LPG için NO _x emisyon bağıntısı.....	45
Çizelge 4.6. Benzin, dizel ve LPG için CO emisyon bağıntısı	45
Çizelge 4.7. Benzin, dizel ve LPG için NMVOC emisyon bağıntısı.....	46
Çizelge 4.8. Yoldan geçen ortalama taşıt sayısı	47
Çizelge 4.9. Ortalama çalışma yolu araç başı sera gazı emisyon faktörü.....	47
Çizelge 4.10. Çalışma alanı mesafeye bağlı ortalama emisyon faktörü	47
Çizelge 4.11. Çalışma alanı toplam sera gazı emisyonları.....	48
Çizelge 4.12. Alanda ölçülen meteorolojik veriler	52
Çizelge 4.13. Puff Excel veri tabanı programında hesaplanan değerler	52
Çizelge 4.14. Puff Excel veri tabanı programında noktasal hesaplanan konsantrasyon değerleri ve o nokta için elde edilen değişken katsayıları	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Btu	: british thermal unit (İngiliz ısı birimi)
CO	: karbon monoksit
CO ₂	: karbondioksit
NO _x	: azot oksitler
HC	: hidrokarbon
NO	: azot oksit
NMVOOC	: uçucu organik bileşikler
CH ₄	: metan
N ₂ O	: diazot monoksit
PM	: partiküler madde
SO ₂	: kükürt dioksit
R ²	: R kare değeri
SSE	: hata kare toplamı
SST	: kareler toplamı
n	: gözlem sayısı
Y _i	: gözlem değeri
\hat{Y}_i	: fonksiyon değeri
Δc	: puff'un konsantrasyonu
ΔM	: puff'un atmosfere salınan kütlesi
σ_h	: puff'un yatay standart sapması
σ_z	: puff'un dikey standart sapması
σ_h	: yatay standart sapma
ϵ	: eddy dağılım oranı
t	: zaman
z _i	: karışım yüksekliği
ϕ_m	: boyutsuz rüzgar değişimi

U_*	: sürtünme hızı
k	: von karman sabiti
L	: monin-obukhov uzunluğu
$u(z)$: logaritmik rüzgar profili
z_0	: Pürüzlülük Uzunluğu
ϵ	: çalışma alanındaki engellerin ortalama yüksekliği
u_*	: sürtünme hızı
ω_*	: karışım katmandaki hız ölçeği
f	: coriolis parametresi
Ω	: dünya dönme hızı
ϕ	: enlem
g	: yerçekimi
H	: yüzey ısı
c_p	: özgül ısı
q	: hava yoğunluğu
T_0	: yüzey sıcaklığı
q	: hava yoğunluğu
ω'	: dikey rüzgar dalgalanması
T'	: sıcaklık dalgalanması
z	: rüzgar hızı
z_a	: anometre yüksekliğindeki rüzgar hızı
p	: exponent değeri

KISALTMALAR

BM	: Birleşmiş Milletler
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
KP	: Kyoto Protokolü
CLRTAP	: Convention on LongRange Transboundary air Pollution (Uzun Menzilli Sınırlarötesi Hava Kirlenme Sözleşmesi)
EMEP	: Uzun Menzilli Sınırlarötesi Hava Kirlenme Sözleşmesi Protokolü
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol

DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
EPA	: United States Environmental Agency Protection (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)
NİR	: Ulusal Emisyon Envanter Raporu
İPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
CORINAİR	: Emission Inventory Guidebook (Emisyon Envanteri Kılavuzu)
CALPUFF	: California Puff Model (Kalifornia Puff Modeli)
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
QGIS	: Quantum GIS (Veri görüntüleme CBS yazılımı)
ARCVIEW	: Ölçeklendirilebilir Entegre Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve sanayi gelişimi yeryüzü kaynaklarının aşırı derece de tüketmiştir. Doğal kaynakların hızlı tüketimi, döndürülemez bir boyuta 21.yüzyılın başlarında zaten ulaşmıştır. Ancak insanların duyarlılığı bu problemleri çözme konusunda aynı hızda değildir. Özellikle, son yıllarda meydana gelen çevresel felaketler, insanların problemlere çözümler üretmesinin yanında, beklenen bu olumsuzluklara adapte olması ve adaptasyon kavramını, gelecek ile ilgili senaryolara dahil etmesine sebep olmuştur [1]. Geleceğimizin güvence altında tutulması sürdürülebilir kalkınma ile ifade edilmektedir [75].

Sürdürülebilirlik, 1987 yılında BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan “Ortak Geleceğimiz” başlıklı Brundtland Raporu ile “sürdürülebilir kalkınma” olarak insanların hayatına girmiştir. İnsanların ihtiyaçları karşılanırken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarının da göz ardı edilmediği temiz bir çevre, kalkınmış bir ekonomi ve kaliteli bir yaşamı nesiller için garanti etmektedir. Kişisel refahın zamanla azalmaması şeklinde de tanımlanabilmektedir [75, 76].

Kirletici kaynaklarının en önemlisi, yakıt kullanımından kaynaklanan enerji tüketimidir. İnsan refahı için mutlaka enerji tüketimi gerekmektedir. Günümüzde enerji ve ekonomi birbirinden bağımsız düşünülmemeyen, bir bütünlük içinde ülkelerin en önemli kalkınma yapı taşlarını oluşturan etmenlerdir [2]. Ancak yüksek enerji tüketimi, emisyonları ve buna bağlı olarak hava kirliliğini arttırmıştır. Kirliliğin hızla artması ise dünya üzerinde ekonomik, çevresel ve sosyal bir baskı yaratmıştır. Hava kirliliği çevre felaketlerinin en önemlilerinden olup, insanlar ve doğa üzerinde kalıcı olumsuz etkiler yaratabilmektedir [3].

Kirletici kaynaklarından salınan kirleticiler atmosfer kirliliğinin başlangıç noktasıdır. Temiz hava konsantrasyonunun en önemli bileşeni olan oksijen ve ozonun azalması, bozulması ve mevcut yoğunluğunun değişmesi ise, kirletici etkilerinin insanlar tarafından hissedilmesi anlamını taşımaktadır [4].

Dünya nüfusunun büyük bir kısmı, hava kalite standartlarının zaman zaman aşıldığı sanayileşmiş şehirlerde yaşamaktadır. Hava kirliliği konusunda ilk çalışmalar, 1950'li yıllarda sanayi gelişimi ile başlayan atmosferik kirliliğe çözüm olmak için yapılmıştır. Bu konuda, hava kirliliğini yoğun yaşayan ülkelerde, sivil toplum örgütleri, üniversiteler, kurum ve kuruluşlar çalışmaya başlamıştır. Kirliliğin ekonomik bakımdan durdurulamaz olduğu, ancak kontrol altında tutulabileceği tartışmalara açılmıştır. Bu dönemde başlayan hava kirliliği sorunu, katlanarak ve geleceği tehdit ederek günümüzde de devam etmektedir [79].

Sanayi üretim ve enerji tüketiminin sebep olduğu emisyonların oranı, toplam emisyon içinde yaklaşık % 80-% 90 aralığında olduğu görülmüştür. Ülkelere göre bu oranın yaklaşık % 25-% 40'ını ise ulaştırma kaynaklı emisyonlar oluşturmaktadır. Ulaştırma sektörü emisyonlarının yaklaşık % 60-% 80'i karayollarından kaynaklanmaktadır [5].

1.1. DÜNYADA HAVA KİRLİLİĞİ

Teknolojinin hızlı gelişmesi, dengeli kalkınmanın ve enerji kaynaklarının tasarruflu kullanılmasının bir sonucudur. Ancak enerji ihtiyacının her geçen gün artması ve ekonomik gelişimin bir parçası olması sebebiyle stratejik önemi sürekli artmaktadır. Bu durum enerjinin ekonomik değer artışını da yanında getirmektedir [27]. Ozon tabakasının delinmesi, buzulların erimesi, mevsimlerin değişmesi, toz fırtınaları, yanardağların patlaması, ormanların azalması gibi çevreyi tehdit eden tehlikelerin farkına varılmasıyla çevre konusunda ülkeler sorumluluklar üstlenmiş, bunun sonucunda küresel boyutta önlemler alınmaya başlanmış ve dünyamızı tehdit eden bu çevre sorunlarının çözülmesi için uluslararası iş birliğinin sağlanması zorunluluk haline gelmiştir. Kirlilik taşınımının getirdiği uluslararası işbirliği zorunluluğu çözüm süreçlerini ortaya çıkarmıştır. Sınırı aşan kirlilik antlaşmaları ile ülkelerin kirliliğe

karşı tutumları değiştirilmiştir. Bu durum, dünyada ki değişen coğrafi ve ekonomik dengelerin enerji piyasasının uzun dönemli çözümler üretmesini sağlamıştır [6].

Hava kirliliği kontrolünün sağlanmasına yönelik yasal düzenlemeler ilk olarak ABD’de 1950’li yıllarda, Avrupa Birliği ülkelerinde ise 1980’li yıllarda stratejik çevre planları dahilinde yapılmıştır [30]. Hava kirliliği kontrolünün yasal süreçlere dahil olmasıyla beraber, ülkelerde hava kirleticileri için limit değerler oluşturarak kullanmaya başlanmıştır [7]. Küresel olarak endişelerin çözümü için uluslararası iş birliği gerekmektedir. Bu sebeple, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇŞ), Kyoto Protokolü (KP), Uzun Menzilli Sınırlarötesi Hava Kirlenmesi Sözleşmesi (CLRTAP) ve Uzun Menzilli Sınırlarötesi Hava Kirlenmesi Sözleşmesi Protokolü (EMEP) imzalanması, bu akımın oluşturulabilmesi adımının sonucu olmuş ve ülkeleri hava kirliliği konusunda birbirine bağlamıştır [28]. Dünyanın herhangi bir noktasında yaratılan kirlilik, aynı noktada kalmamaktadır. Hava kirliliği, kaynağından daha çok rüzgarında etkisi ile taşındığı noktaları etkilemektedir [26]. Çizelge 1.1’ de görüldüğü üzere, hava kirliliğinin %80 oranında, enerji tüketimi ile ilişkilendirildiği düşünülürse, dünyamızın kirletilmesinde Çin ve ABD’nin büyük bir pay sahibi olduğu görülmektedir. Ancak her iki ülkede uluslararası anlaşmalar konusunda gerekli hassasiyeti göstermemektedir [10].

Çizelge 1.1. Ülkelerin 2013-2015 yıllarında birincil enerji tüketimi ve yüzdeleri [10].

Ülke	2013 (MTEP)	2014 (MTEP)	2015 (MTEP)	Ülkelerin 2015 Yılı Birincil Enerji tüketimi (%)
Çin	2903.9	2970.3	3014	22.9
Hindistan	626	666.2	700.5	5.3
ABD	2271.7	2300.5	2280.6	17.3
Japonya	465.8	453.9	448.5	3.4
Almanya	325.8	311.9	320.6	2.4
G.Kore	270.9	273.1	276.9	2.1
İran	247.6	260.8	267.2	2
Türkiye	120.3	123.9	129.3	1

Birim: MTEP - Milyon Ton Eşdeğer Petrol

2001 yılında dünyada ki toplam enerji tüketimi 404 katrilyon Btu (426 katrilyon kJ) olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamanın %39'unu petrol ürünleri, %24'ünü kömür, %23'ünü doğal gaz, %8'ini yenilenebilir kaynaklar, %7'sini ise nükleer enerji oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkeleri 53,3 Btu (56.23 katrilyon kJ), gelişmekte olan ülkeler ise 139,2 Btu (146.86 katrilyon kJ) enerji tüketmişlerdir [9].

Kirliliğe sebep olan hava kirletici kaynakları incelendiğinde önemli bir oranının ulaşırmadan kaynaklandığı görülmektedir. AB, dünya otomotiv pazarının %35'ine sahiptir. Avrupa ve ABD, kayıtlı otomobil sayısı konusunda ise dünya genelinin toplam % 64'lük payına sahiptir. ABD'de araç sayısı her bin kişide 565 olduğu hesaplanmıştır. Avrupa'daki araç sayısının yaklaşık 180 milyon adet olduğu ve en yüksek oranın ise Lüksemburg'da (548 adet/1000 kişi) olduğu ve bunu İtalya ve Almanya'nın izlediği görülmüştür. Yunanistan, İrlanda ve Portekiz ise Avrupa'da en düşük oranına sahip ülkeler olarak belirlenmiştir. Son yıllarda trafikten kaynaklanan hava kirliliğini tespit çalışmaları, Avrupa gibi bir çok yerde yaygın olarak araştırılmaktadır. Ulaştırmadan kaynaklanan emisyonların etkilerini azaltmak için düzenli olarak emisyonların ölçülmesine, standartların belirlenmesine ve uygun yöntemler ile sınırlandırmalar getirilmesine çalışılmaktadır [11]. Dünya genelinde kullanımda olan taşıt sayısı artmasına rağmen, ekosistem üzerindeki etkilerini, teknolojik olarak ulaşırtma araçlarının geliştirilmesi sayesinde azaldığı bilinmektedir [26]. Her ne kadar sektörün teknolojik gelişimi emisyon değerini ciddi oranda düşürse de, artan araç sayısı ulaşırtma sektörü kaynaklı emisyonları arttırmaktadır [5].

1.2. TÜRKİYE'DE HAVA KİRLİLİĞİ

Türkiye'de hava kirliliği problemi 1990 lı yılların başlarında ele alınmaya başlanmış ve bu konuda şimdi ki adı Türkiye İstatistik Kurumu (TurkStat) olan Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) tarafından tüm illerde, Türkiye ölçeğinde SO₂ ve PM kirleticilerin ölçüm değerleri Haber Bülteni şeklinde halkı bilgilendirmek amacıyla yayımlanmıştır [12]. Yine aynı yıllarda Çevre Bakanlığı Müsteşarlık seviyesinde Türkiye'deki Çevre problemlerini çözmek üzere çalışmalara başlamıştır [13]. 1983 yılında CLRTAP, 1985 yılında EMEP Protokolü, 2004 yılında Birleşmiş Milleteler

İklim Değişikliği ve 2009 yılında Kyoto Protokolünün Türkiye tarafından imzalanması ile hava kirliliği ve sera gazlarının atmosfere salımlarını azaltmak ve sektörel faaliyetlere (Enerji Üretimi, Sanayi, Tarım, Atık ve Arazi Kullanımı ve değişikliğine) yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Enerji sektörünün önemli bir bileşeni olan ulaştırma kaynaklı emisyonlar ise, hava kirleticilerin kontrol altında tutulması için öncelikli bir sektör olarak emisyon envanterlerinde ve enerji tüketimi içinde öncelikli listede yer almıştır [14].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hava kalitesi ve kirliliği konusunda birçok ulusal yönetmelikler çıkarmış ve bu konuda gerek uluslararası ve gerekse ulusal projeler ile çözümler üretmeye çalışmıştır. Ancak mücadelenin uluslararası boyutta ve her düzeyde yapılması ile başarılı sonuçlarının alınabileceği bilindiğinden, kalıcı çalışmalar için uluslararası boyutlar göz ardı edilmemiştir. Ölçeğinin dünya boyutunda olması kısaca kirliliğin kaynağından binlerce kilometreye taşınması ile ilgilidir. Türkiye kaynaklı emisyonlar, komşu ülkeleri ve sonunda tüm dünyayı etkilediği gibi, tüm dünyadaki emisyonlar da Türkiye'yi etkilemektedir [15].

Her yıl ulaştırma sektörü için motorlu taşıt sayısının artması ülkemizde hava kirliliğinin belirli bir ölçüde artmasının sebebi olmuştur. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların atmosferdeki etkisi ortalama yıllar itibarıyla %25-%40 aralığında dünyanın diğer ülkelerinde görülen oranlar ile yaklaşık aynıdır [14].

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması için alternatif bio-sıvı yakıt üretimi, dizel araçlar için "Euro" standartları, gelişmiş teknoloji kullanımları, katalitik konvertörler ve yenilenebilir enerji kaynaklı araçlar gibi uygulamaların yürütülmesi sadece Türkiye için değil, dünya içinde öncelikli konular arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, egzoz emisyonlarından kaynaklı partiküler madde, kükürt oksitler, azot oksitler, ile VOC kirleticilerinin yıllık olarak ölçülüp, sınır değerlerini aşmadığını gösterir hava kalite belgesi ve/veya ülkemizdeki adı ile egzoz muayenesi , hava kirliliği ile mücadelenin en önemli yapı taşı oluşturmaktadır [16].

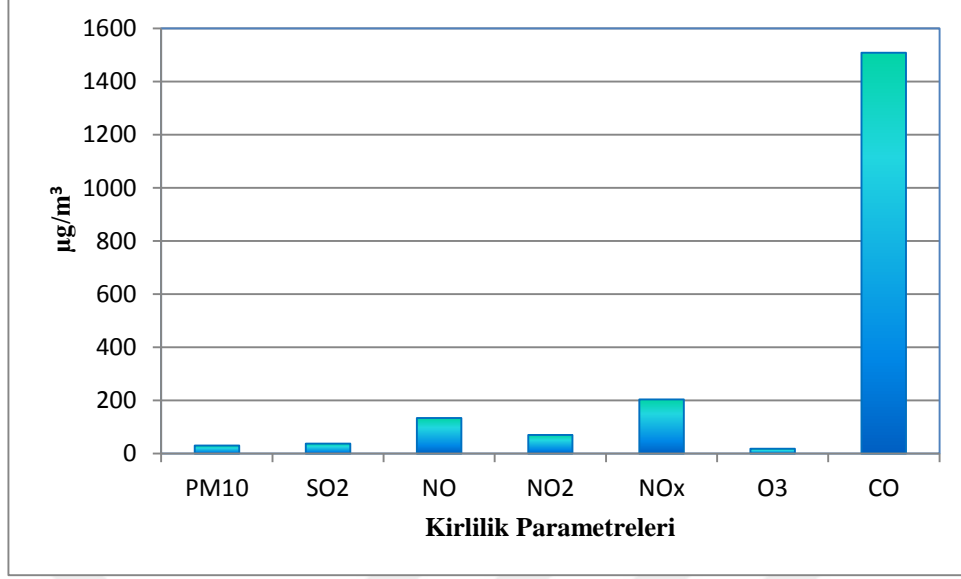
Türkiye'de çevre planlamaları ulusal, bölgesel, şehir ve noktasal kaynak boyutunda yapılmaktadır. Ancak projelerin devamlılığı için kurulmaya çalışılan sistemler

uluslararası boyutlara göre değerlendirilmektedir. Planlanan ve uygulamaya geçen her proje sonucunda uygulamaların yasal boyutlara taşınma zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Hava kirliliği hesaplamalarında karşılaşılan en büyük zorluk, ölçüm ve veri eksikliklerinden dolayı, aktivite verilerinin zaman serisi şeklinde istenilen düzeyde elde edilememesidir [17]. Bu amaçla, her ilde ve büyük ilçelerde hava kirliliği izleme istasyonları kurulmuş ve veriler anlık olarak izlenmeye başlanmıştır. Kurulan istasyonlar, Avrupa Birliğine uygun normlarda kurulmuş, ancak ölçüm çeşitliliği (13 parametre için) her istasyonda sağlanamamıştır [18].

1.3. KARABÜK İLİNDE HAVA KİRLİLİĞİ

Karabük ili, Batı Karadeniz bölgesinde yer alan ağır sanayi bileşenlerinden olan demir çelik ve demir dışı metal üretim tesislerinin yoğunlukta olduğu bir ildir. Ortalama yüksekliği 250-500 metre aralığındadır. En büyük ilçesi olan Safranbolu istikametinde yükselti artarak 800 metreye ulaşmaktadır [19]. Bu çalışmada seçilen çalışma alanı, Karabük ili girişinden Safranbolu merkezine kadar olan bölge üstündeki anayoldur.

Karabük ili topografik olarak hava kirliliğinden olumsuz etkilenmektedir. Eğim oranı özellikle Safranbolu yönünde ve il merkezinde oldukça yüksektir. Bu özellik hava kirleticilerinin dağılım ve taşınımına engel olmaktadır. Sanayi kuruluşlarının yoğunluğu, hanelerin özellikle sanayi çevresinde yoğunlaşması ile partiküler madde, sülfürdioksit ve diğer hava kirleticilerinin konsantrasyonlarının yüksek olmasına sebep olmaktadır. Yüksek miktarda kirleticinin atmosfere salınması ile ısı taşınımına bağlı, kentteki hava sıcaklığı ve atmosferin adiyabatik lapse oranı (kirlilik dağılımı için oldukça önemlidir) farklılık gösterebilmektedir [20].



Şekil 1.1. Karabük ili günlük kirletici değerleri (21.11.2018) [21].

Karabük ilinde, demir ve demir dışı metal üretiminde, hanelerde ve ulaşırmada kullanılan yakıtların yarattığı kirlilik, şehrin çözüm bekleyen sorunlarından [22].

1.4. KARAYOLU ULAŞIMI VE HAVA KİRLİLİĞİ

Dünyada ulaşım ve taşımacılık nüfusa bağlı olarak hızla artmaktadır. Karayolu taşımacılığı ve ulaşım günümüzde ekonomiye katkısı kadar, sürekli yenilenmesi ve yatırımların yapılması gereken önemli bir ekonomik faaliyettir. Araç sayısına bağlı olarak yolların da aynı ölçüde geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca enerjinin her geçen gün dünya piyasalarında daha değerli bir hale gelmesi bu sektörün enerji kullanımını da yenilenebilir enerji kaynaklarına çevirmesine sebep olmuştur [6].

Motorlu taşıt sayısının hızla artması, teknolojik gelişimi de beraberinde getirmiştir. Araç üretimi birçok yan sanayinin gelişmesinde büyük katkı sağlamıştır. Konfora bağlı olarak üretimde sınırların kalkması, farklı sektörlerin üretim ve kapasitelerini arttırmasına ve amacın daha iyi araç olduğu bir yöne eğilimi hızlandırmıştır. Özellikle ülkemizde demiryolu, denizyolu veya havayolu ulaşımlarının pahalı olması sebebiyle, karayolu ulaşımı daha çok tercih edilmektedir [23].

Üretim aşamasından, aracın ömrünü doldurup hurdaya kaldırılmasına kadar, taşıtlar kirlilik yaratmaktadır. Ancak insanoğlu bu konfordan vazgeçemeyeceğini bu sektörün hızlı gelişmesiyle ispatlamıştır. Taşıtlar kaynaklı hava kirliliği ise, günümüzde ülkelerin mücadele etmesi gereken ve çözümlenmek zorunda olduğu büyük bir problemdir [29]. Günümüzde gelişen ulaştırma teknolojisi, hava kirliliği sorununa kısmi çözüm olmakla beraber, araç sayısının sürekli artması, yakıt tüketimini de arttırmış ve ulaştırma kaynaklı kirlenmelerinde paralel olarak artmasına neden olmuştur [24].

Karayolu taşıtlarında benzin, mazot ve LPG kullanılmaktadır. Bu yakıtların tüketiminden kaynaklı emisyonlar havanın kirlenmesine ve taşıtların egzoz borularından, yakıt kaynaklı olarak, çevreye karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x), partiküler madde (PM) gibi çeşitli kirlenmelerin salınmasına sebep olmaktadır. Motorlu taşıtlar karbon monoksit (CO) emisyonlarının % 70-90, azot oksit (NO_x) emisyonlarının % 40-70, hidrokarbon (HC) emisyonlarında yaklaşık % 50 oranında bir paya sahiptir. Bu kirlenmeler kalp ve dolaşım sistem rahatsızlığı, astım, bronşit, akciğer kanserleri gibi bir çok çeşitli hastalıklara da yol açmaktadır [25].

Taşıtların modeli, yaşı, motor hacmi, lastik çapı ve yolun eğimi, motor çalışma devri, motor çalışma sıcaklığı, yakıt türü, yakıt kalitesi ve kullanıcı alışkanlıkları gibi parametreler aracın emisyonunu doğrudan etkilemektedir. Aracın rölanti halinde oluşan egzoz gazlarından karbon monoksit (CO) kirlenmesi verimsiz yanma kaynaklı fazla iken azot oksit (NO) miktarı düşük, araç hızlanmaya başladığı zamanda, sıcaklıktan kaynaklı azot oksitlenmesinden dolayı NO emisyonu CO emisyonuna göre daha fazla gözlemlenmektedir. Araç bakımının zamanında yapılması, yakıtın verimli kullanılması, aracın düzenli kontrolleri, kapasite üzerinde yolcu veya yük taşınmaması hem araç performansını iyileştirecek hem de hava kirliliği oranlarını azaltacaktır [11].

Ulaştırma kaynaklı kirlenici emisyonların çevre ve özellikle atmosfer etkilerinden dolayı büyük şehirlerde çözümler üretilmek istenmektedir. Bunun en önemli göstergeleri ise ulaştırma kaynaklı emisyonların tahmin ve ölçümlerle ortaya

çıkarılmasıdır. Bu kapsamda en iyi tahminler, en yoğun olan yollarda yapılan ölçümlere ve modellere dayandırılmaktadır. Çünkü toplam emisyonun, büyük bir oranının kaynağı bu yollardır. Bu yüzden bu tip çalışmalar hem bölgesel, hemde şehir bazında geneli yansıtmak için üretilecek emisyon faktörlerine de taban oluşturmaktadır. Ayrıca taşıt sayıları göz önüne alınarak yapılan dağılım modelleri ile de çevresel etkisi belirlenebilmektedir [26].

1.5. MODELLEME ÇALIŞMALARI

Karabük ilinde hava kirliliği konusunda önemli bir eksiği kapayacak olan bu çalışma, kirlilik dağılım modeli kullanılarak tahmin edilecektir. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency - EPA), ulaştırma kaynaklı modeller geliştirmiş ve uygulamaların büyük çoğunluğunu ücretsiz olarak kullanıma açmıştır. Ancak bu çalışmada seçilen model pahalı bir modeldir ve ücretsiz uygulamaların bölgesel olarak kullanılamamasından dolayı, metodoloji yeniden excel ortamında mikro seviyede çalışılarak programlanmış, noktasal kaynaklı hesaplamalar üretilerek gauss modeli tabanlı araçlar için geliştirilmiş olan “Puff Dağılım Modeli”, Türkiye ve özellikle Karabük için şekillendirilmiştir. Model matematiksel bir modeldir. Model Karabük ili içinde seçilen en yoğun otoyol üstünde yapılarak, denklemi oluşturulmuştur. Özellikle Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan veriler ve sahada yapılan meteorolojik ölçümlerle sağlıklı sonuçlar alınması sağlanmıştır.

1.6. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmada dağılım modellemeleri kullanılarak Karabük iline ait ulaştırma araçlarından kaynaklanan kirleticilerin (CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , CO , $NMVOOC$) emisyonları ve yer seviyesi konsantrasyonları araştırılacaktır. Kirlilik emisyonları zaman serisi olarak hesaplanmış ve Gauss dispersiyon modeli temel alınarak oluşturulan puff dağılım modeli ile, yer seviyesindeki kirletici konsantrasyon değerleri tahmin edilerek kirlilik haritaları üretilmiştir.

Geliştirilen model, ulaştırma sektörü için kirletici kaynağının yakın çevresine yaydığı baskılanmış kirliliğı tahmin edebilmektedir. Karayolu kaynaklı sektör emisyonları ve yer seviyesi konsantrasyon değerleri hesaplanabilmesi, Karabük ilindeki ulaştırma kaynaklı emisyonların etkisini ortaya çıkaracaktır. Bu çalışma bölgede yapılan çalışmalardan oldukça farklıdır. Seçilen bölge için yol boyunca noktasal ölçekte emisyon faktörleri hıza bağlı olarak her kirletici için ortaya çıkarılmış, fonksiyonel olarak hız emisyon bağıntısı hesaplanmış ve Puff Dağılım Modeli kullanılarak kirlilik haritaları ve figürleri elde edilmiştir.

Ülkemizin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Sekreteryası'na sunduğı Ulusal Emisyon Envanter Raporu (NIR)'nda belirtildiğı gibi, Ülkemizin ulusal emisyon faktörlerine ihtiyacı vardır. Bu çalışma, ulaştırma sektörü emisyon faktörlerinin geliştirilmesine büyük bir katkı sağlayacaktır. Burada hesaplanan emisyon faktörleri kullanılarak sektör emisyon hesaplamaları karayolları için IPCC T2 seviyesine çıkarılabilecektir. Ayrıca, yönetmeliklerde belirtilen emisyon sınır değerine yönelik uygulama esasları tahminleri geliştirilebilecektir.

Çalışmanın bu kapsamda yapılacak bölgesel ve Türkiye genelinde birçok araştırmaya, emisyon hesaplamaları, faktör geliştirilmesi, yer seviyesi konsantrasyon dağılımını vb. kaynak olarak düşünölmektedir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hava kirliliği konuları genel anlamda kirletici konsantrasyonlarına ve/veya emisyonlarına bağlıdır. Bu yüzden kirletici kaynakları, emisyon ve kirletici konsantrasyonlarını belirlerken, meteorolojik değişkenler taşınımını ve kirletici kimyasını etkilemektedir. Bu tez çalışmasında ise atmosfer kirleticileri, genel hava kirliliği, ulaştırma kaynaklı hava kirliliği ve kirlilik dağılım modelleri başlıkları altında incelenmiştir.

2.1. HAVA KİRLİLİĞİ

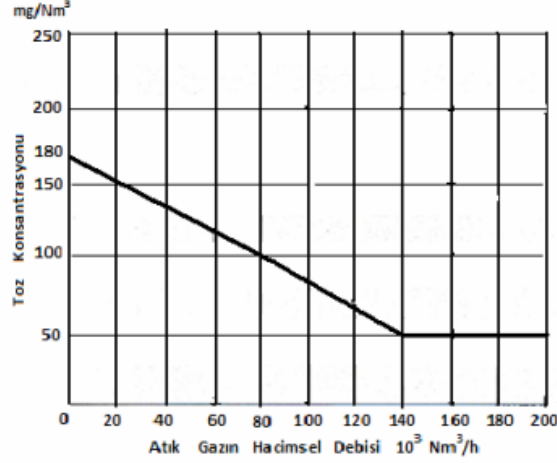
Hava kirliliği çevrenin ekolojik dengesini fazlasıyla bozan, havanın yapısında değişimlere neden olan, zararlı maddelerin insan ve tüm canlı sistemini etkileyecek düzeylere çıkmasını ve/veya azalması neticesinde yaşamı etkileyecek negatif bir etki olarak tanımlanmaktadır [32,48]. Bu konuda dünyanın her ülkesinde çalışmalar yapılmaktadır. Ancak atmosferi en fazla kirleten ülkelerin başında gelen Çin’de yapılan çalışmalar incelendiğinde hava kirliliğinin halk sağlığı için büyük bir tehlike oluşturduğu, PM_{2.5} konsantrasyonunun sürekli arttığı ve insanların artık bu kirleticileri azaltmak yerine, adapte olarak yaşamaya çalıştığından bahsedilmiştir [59]. Başka bir çalışmada 30 Avrupa ülkesinde farklı 10 hava kirleticisinin konsantrasyonları incelenmiş, insanların bu kirleticileri azaltmak için tedbirler geliştirdiği ve 2008-2015 yılları arasında Avrupa Birliği Stratejileri de göz önünde bulundurularak, kirletici konsantrasyonlarını azaltılmaması durumunda tüm dünyayı bekleyen temiz hava eksikliğinin sadece yaşamı değil, çevresel dengeyi de bozacağı görüşü ortaya konulmuştur [60]. Türkiye’de nüfus yoğunluğunun en çok olduğu Marmara bölgesi için de kirletici emisyon düzeyleri araştırılmıştır. İnsanların gaz kirleticilere yoğun bir şekilde maruz kaldığı ve bunun birçok sağlık sorununu da yanında getirdiği görülmüştür [39].

görüşü ortaya konulmuştur [60]. Türkiye’de nüfus yoğunluğunun en çok olduğu Marmara bölgesi için de kirletici emisyon düzeyleri araştırılmıştır. İnsanların gaz kirleticilere yoğun bir şekilde maruz kaldığı ve bunun birçok sağlık sorununu da yanında getirdiği görülmüştür [39].

Hava kirliliği kaynakları dört ana başlıkta incelenmektedir. Bu başlıklar sırasıyla yakıt tüketimi (enerji üretimi, ısınma, ulaştırma), sanayi üretimi, tarımsal faaliyetler ve atık bertarafı’dır. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin birincil sebebi, kalitesiz ve verimsiz katı yakıtların kullanılmasıdır [32]. Bu konu kapsamında; Kocaeli’de yapılan bir çalışmada ise ısınmada kullanılan doğalgaz ve kömür kullanımının meydana getirdiği CO, NO_x, SO₂ ve PM kirleticilerinin emisyonları karşılaştırılmış ve temiz yakıtların (doğal gaz) kullanımının atmosfere salınan kirleticilerinin PM ve SO₂’nin hiç yaratılmaması, diğer kirleticilerin de konsantrasyonunun az olması sebebiyle etkisinin az olacağı; ancak katı yakıtların kirletici emisyonlarının yüksek olmasından dolayı konsantrasyon seviyelerinin standart değerlerin üstünde seyrettiği sonucuna varılmıştır [34]. Adapazarı’nda yapılan bir başka çalışma da ise evsel ısınma amacıyla yakılan fosil yakıtların oluşturduğu CO₂ ve NO_x kirleticilerinin emisyon değerlerinin EPA standartlarının üstünde seyrettiği ve bu konuda yerel kararların alınarak, kirletici emisyonlarına sınırlamalar getirilmesi gerektiği vurgulanmıştır [36].

Sanayi kuruluşlarının emisyonları enerji üretimi ve ürün üretiminden kaynaklı emisyonlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Atmosfere salınan kirleticiler ağır metallere, PAH, HFC’lerden seragazlarına kadar büyük farklılık göstermektedir. Özellikle kullanılan yüksek oranlı kükürt yakıtları, tesislerin yanlış planlanması, gerekli teknik önlemlerin alınmamasından kaynaklı atmosfere çok tehlikeli boyutlarda kirleticiler salınmaktadır [32]. Örneğin Hatay-İskenderun bölgesinde yer alan sanayii kaynaklı NO_x ve SO₂ kirleticilerinin oluşturduğu konsantrasyonun zararlı etkileri incelendiğinde yerleşim yerlerin de yoğun biçimde solunum rahatsızlıkları olduğu ortaya konulmuştur [46]. Başka bir çalışmada ise, Kocaeli’nde bulunan zararlı atık yakma tesisinden meydana gelen azot oksit emisyonlarının saatlik, günlük, yıllık olarak çalışılmış ve zaman zaman “Sanayi Kaynaklı Hava

Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” EK-7’de belirtilen Emisyon sınır değerlerinin üstünde seyrettiği sonucuna varılmıştır [43]. Kontrol Yönetmeliği, sanayi tesisleri için farklı kirlilik parametrelerine yönelik tablolar ve değerler vermektedir (Şekil 2.1) [69].



Şekil 2.1. Toz Emisyon sınırları [69].

Diğer bir hava kirliliği kaynağı olan trafik ve ulaştırma ise nüfus ile paralel olarak artan karayolu taşıt sayısıdır. Kentlerde kullanılan yüz binlerce taşıtın neden olduğu yoğun emisyon miktarları, Türkiye ve Dünya olarak acil çözümler bulunması gereken önemli problemlerden birini oluşturmaktadır [52,60]. Konu ile ilgili olarak, Dünya’da Sırbistan da yapılan bir çalışma karayolu trafiğinden kaynaklı ana yollarda araç tipi, araç sayıları ve araç hızlarından yararlanarak kirleticilerin oluşturdukları emisyonların hesabı yıllık olarak analiz edilmiştir. Çalışmada hızın, araç tipine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur [31]. Türkiye de yapılan çalışma ise Gaziantep ilinde trafik kaynaklı kirlilik haritaları oluşturulmuş ve araştırma sonucunda trafiğin yoğun olduğu şehir merkezlerinde azot oksit gibi kirleticiler yoğunluğunun değerleri ve sebep olacağı durumlar ölçüm değerleri ile açıklanmıştır [32]. Diğer bir çalışmada ise, İzmir kent merkezinde motorlu taşıtların türlerine göre sebep olduğu emisyonların saatlik yoğunlukları araştırılmıştır. 24 saatlik dilimde, araç sayıları ile hava kirliliği arasında doğrusal bir korelasyon elde edilmiştir [35].

2.2. ULAŖTIRMA KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ

UlaŖtırma kaynaklı emisyonların, toplam emisyon içindeki payı, genellikle % 15-% 30 aralığında, yakıt tüketimine bağlı olarak hesaplanmaktadır [58]. Yakıt kaynaklı motorlu taŖıtlardan atmosfere salınan kirleticilerin en önemlileri;

- a. karbon dioksit (CO_2)
- b. karbon monoksit (CO),
- c. metan (CH_4),
- d. diazotmonoksit (N_2O)
- e. azot oksitler (NO_x),
- f. uçucu organik bileŖikler (NMVOC)

Ŗeklinde sıralanabilir.

Bu gazlardan CO_2 ve N_2O direk seragazı olarak atmosfere salınmaktadır. Isıyı tutma kapasitelerinin yüksek olmasından dolayı seragazı etkisi olarak bilinen etkiden en çok sorumlu iki gazdır. Ancak her iki gazın da atmosferdeki uzun vadeli etkileri sadece iklim deĐiŖikliĐi üzerinde değil, fiziksel ve kimyasal etkilerinden dolayı atmosfer kirliliğinde de önemli bir rol oynamaktadır [71]. Bu kapsamda çok sayıda çalıŖma yapılmıŖtır. Örneğin Polanya’da yapılan bir çalıŖmada, CORINAIR (Avrupa Çevre Ajansı -AÇA) tarafından geliŖtirilen emisyon metodolojisi kullanılarak, otobüslerin emisyon üzerindeki etkileri incelenmiŖtir. ÇalıŖmada sadece kirleticilerin değil, direk ve indirek seragazlarının da artış gösterdiği; ancak yeni nesil teknolojik otobüslerin devreye girmesiyle, emisyonların kıyaslanabilir Ŗekilde düŖtüĐü ölçüm ve emisyon hesaplamalarıyla gösterilmiŖtir [81]. Direk seragazları için Amerika’da yapılan bir çalıŖmada, dizel taŖıma araçlarının atmosferdeki etkileri incelenmiŖtir. Bu çalıŖmada dizel araçlara yüklenen eŖyaların yarattığı ağırlık ile emisyon deĐiŖimleri arasındaki iliŖki incelenmiŖ, ağırlık deĐiŖimlerinin direk seragazları (CO_2 , N_2O ve CH_4) emisyonlarının %12-%27 aralığında yük tonajına bağlı olarak deĐiŖtiĐi ortaya konulmuŖtur [82]. Mexico city’de 2014 yılında Chavez-Baeza ve arkadaşları tarafından yapılan çalıŖmada, direk seragazları ve bazı kirleticiler için geçmiŖdeki duruma göre emisyonlar tahmin edilirken, gelecekteki seragazı ve

kirletici emisyonları da, farklı senaryolar için 2028 yılına kadar tahmin edilmiştir. Çalışmadaki amaç şehrin metropolitan bölgelerindeki araç kaynaklı her türlü emisyonu azaltmaktır. Çalışma CO₂ ve N₂O emisyonunun azaltılarak, yaşam kalitesini arttırmayı hedeflemiştir [83]. 2017 yılında Karabük ilinde Can tarafından yapılan bir çalışmada, Karayolu kaynaklı seragazı emisyonlarının İklim değişikliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Benzin, dizel ve LPG'li araçların, araç tiplerine göre atmosfere saldıkları CO₂, N₂O ve CH₄ emisyonları hesaplanarak, dizel araçların, Karabük ilinde CO₂ eşdeğeri karayolu emisyonunun %75'inden sorumlu olduğunu, teorik olarak göstermiştir [84].

Metan gazı (CH₄), doğal gazın bir bileşeni olarak önemli bir yakıttır. Bu gazın zararlı olmasının başlıca nedeni küresel ısınmaya sebep olan direk sera gazlarından olmasıdır. Methane, CO₂ eşdeğeri olarak 21 kez daha etkili bir seragazıdır. Ayrıca zehirli olmasa da, başka madde ve kirleticilerle reaksiyona girerek, ikincil kirleticileri kolaylıkla üretebilmektedir. Emisyonun patlayıcı ve boğucu kirletici özelliğinden dolayı, kontrol altında tutulması gerekmektedir. CH₄ depolanarak, yakıtı dönüştürülebilmektedir [64]. Konu ile ilgili Çin'in Şekiz ayrı şehrinde yapılan bir çalışmada, sokak kavşaklarından ölçüm sonucunda elde edilen metan gazı konsantrasyon verileri kullanılarak, araç emisyonları elde edilmiş ve emisyonların azaltılması konusunda değerlendirmeler yapılmıştır [63]. İstanbul için yapılan benzer bir çalışmada ise ulaştırmadan kaynaklanan metan gazının emisyon değerleri hesaplanmış ve yapılabilecek olan iyileştirmeler üzerine, hesaplamalar kullanılarak senaryolar üretilmiştir[49].

Karbon monoksit (CO), kokusuz ve renksiz fiziksel özelliklere sahip olması sebebiyle tehlikeli gazlar arasındaki en önemli kirleticidir. Karbon monoksit en çok ulaşımdan kaynaklanmaktadır [33]. Motorlu taşıtların karbon monoksit gazını oluşturması yakıt-hava karışımı tepkimesinde yeterli oksijenin olmaması eksik yanma sonucunda ortaya çıkmaktadır. Karbon monoksit motorun düşük hızlarda çalışmasından etkilenmektedir. CO, motorun boşa çalışma durumunda yükselmekte iken motor hızlanmaya başladığından azalma göstermektedir [38, 40]. Konu ile ilgili Amerika Atlanta da yapılan bir çalışmaya göre trafikte taşıtlardan meydana gelen karbon monoksit ve partiküler maddelerin saatlik ve yıllık oluşturduğu emisyon

değerlerinin hesaplanması motorun çalıştırılması (soğuk) ve motor sıcaklığının belli bir seviyeye geldikten sonra (sıcak) olması durumuna göre ikiye ayrıştırılarak, motorun ısınması ile enerji veriminin artması ve bunun sonucunda düşük emisyon üretilmesi sonucuna ulaşılmıştır [45]. Kore de yapılan bir çalışmada ise, hafif ticari dizel araçlarda ki karbon monoksit, yanmamış hidrokarbon gibi kirletici emisyonlarının farklı sürüş koşullarında meydana gelen emisyonların analiz edilerek incelenmiş; motor devrinin uygun kullanılması durumunda emisyonu azalttığı sonucuna varılmıştır [61]. Türkiye de ise Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü caddesi üzerinde gezici ölçüm istasyonu yardımı ile sürekli olarak tek kirletici karbon monoksit (CO) ölçülerek, taşıt yoğunluğu ve emisyonlar arasında bağıntı CO için tespit edilmiştir [47].

Azot oksitler (NO_x), iki temel bileşenden, nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2)'den oluşmaktadır. Bu gazlar kimyasal yanma sonucunda yüksek basınç ve sıcaklıklarda yakıt bazlı veya tam yanma sonucunda atmosfer azotunu okside ederek, meydana gelmektedir [49]. Motorlu taşıtlarda NO_x oluşumunun en önemli sebebi, iki faktör yanma odasına alınan hava/yakıt oranı ve yanma odasında oluşacak yüksek sıcaklık değerleridir. Yanma odasındaki sıcaklığın $1800^{\circ}C$ 'ye kadar ulaşmasını önlemek yada yüksek sıcaklık ve basınçta kalınan süreyi mümkün olduğunca kısa tutmak azot oksit gaz emisyonunu azaltmak için alınabilecek en uygun çözüm olarak görülebilir [51]. Amerika'da yapılan bir çalışmada Raleigh bölgesinde bulunan bir otoyol kenarında yaklaşık 7-17 m mesafede araçlardan kaynaklı nitrik oksit (NO) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, NO konsantrasyonları büyük değişimler göstermiş ve bu değişimlerin sebebinin trafik akış oranı olduğu çalışmada gösterilmiştir [44]. Çin'de yapılan çalışmada ise, 2000'den 2030 yılına kadar karayolu taşımacılığında kaynaklanan karbon monoksit, azot oksitler gibi farklı kirleticilerin dağılım modeli kullanılarak, simüle edilmiş, etkileri tanımlanmış ve araç tiplerinin bu etkiyi değiştirdiği ortaya konulmuştur [62]. Ülkemizde yüksek (2013) tarafından, İstanbul için yapılan bir çalışmada, dizel motorundan kaynaklanan azot oksit emisyonlarının yanmaya bağlı ısı ve basınçların etkisinin emisyonlara etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile ısının ve basıncın mutlak surette azot oksit emisyonunu arttırdığı sonucuna varılmıştır [48].

Uçucu organik bileşikler (NMVOC), metan dışı uçucu organik bileşikler olarak adlandırılmaktadır. Yapısında bütan, propan bileşiklerini içermesi, bu gazın azot oksitlerle beraber atmosferde, ozon ve diğer oksitleyicilerin oluşmasına neden olmaktadır. Boya uygulama, temizlik malzemeleri, her türlü yakıt üretim taşıma, depolama ve kullanımı, NMVOC'nin en önemli emisyon kaynağıdır [64]. Türkiyede yapılan bir çalışmaya göre İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içerisindeki anayol üzerinde farklı türdeki araçların sayım ve hız verilerinden yararlanılarak, NMVOC konsantrasyon seviyeleri araştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre, dağılım haritaları ve saatlik en yüksek yoğunluklar tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yakıt tüketimine bağlı olarak, araç sayıları ile ilişkilendirilip, NMVOC emisyonunun, araç yoğunluğuna bağlı olarak düşük hızlarda daha çok ortaya çıktığı sonucuna ulaşılmıştır [50]. İstanbul için yapılan farklı bir çalışmada ise, NMVOC ve CH₄ emisyonu, karayolu taşımacılığı için hesaplanarak, emisyon azaltılmasına yönelik, uygulanabilecek önlemler ve tedbirler tartışılmıştır [51].

2.3. KİRLİLİK DAĞILIM MODELLERİ

Kirlilik Dağılım teorisi belli bir nokta, çizgi veya alansal bir kaynaktan atmosfere salınan emisyonu ifade etmektedir. Kirlilik Dağılım Modeli, kirleticilerin türlerine göre, fiziksel ve kimyasal etkileşimin dahil edilerek veya edilmeyerek, tanımlı bir zaman aralığında (anlık, saat, ay, mevsim, sezon yada yıllık olarak), mekansal özelliklerin ve meteorolojik koşulların dahil edildiği, durağan veya dinamik matematiksel çözümlerlerdir [59].

Hava kirliliğinin yarattığı etkiler net olarak ölçülmemekle beraber, modelleme çalışmaları ile etkileri tahmin edilebilmektedir. Model çalışmaları kirliliğin kaynağından çıktıktan sonra, dağılarak yarattığı etkileri ortaya çıkarmaktadır. Hava kirliliği tahminlerinde model seçimi, kirliliğin etkilerini ortaya koymak için en önemli araçtır [79]. Hava kirliliğini tahmin etmek için kullanılan en önemli model çalışmaları aşağıda listelenmiştir.

2.3.1. Kutu (Box) Modeli

Kirleticinin mekansal dağılımının modellenmesinde kullanılan kutu modeli, üç eksenli, rüzgar yönü taşınım yönü olarak alınan, mekansal kirletici kaynaklarının tamamını kapsayan, birim alan bazındaki emisyonu dayanarak, kirletici konsantrasyonunu hesaplayan bir modeldir. Mekansal alan, bir kutu şeklinde düşünülerek, bu sınır içerisindeki kirletici dağılımını hesaplamaktadır. Emisyon kaynakları ve koordinatlar girdi verileri olarak kullanılmaktadır. Bu bilgiler hacimsel yoğunlukları belirlemektedir. Atmosferde tanımlı bir birim hacim içerisindeki ortalama derişimleri hesaplanarak modellenmektedir. Kutu içerisinde ki gazların homojen olarak karıştığı varsayılmıştır. Modelin en önemli avantajı, atmosfer olaylarını basitleştirerek, kirleticilerin atmosferin tanımlı bölgesi için modellenmesidir. Kirletici yoğunlukları kutu sınırları içerisindeki her noktada aynı kabul edilmektedir. Bu nedenle sınırlı bir modeldir. Ancak model, bölgesel çalışmalarda, kirlilik değerlerini hızlı, sınırlı veri ve şekilde elde etmek için ideal bir modeldir [61]. Çin'in, Beijing, Shanghai, Guangzhou, ve Chongqing merkezinde gerçekleştirilen çalışmada, ozon, azot oksit ve uçucu organik bileşikleri konsantrasyonları, kutu modeli kullanılarak tahmin edilmiş ve çıktılar 6 saat aralıklarla ölçülen değerler ile korele edilmiştir. Modelin güvenilirliği noktasal araştırmalar için yüksek çıkarken, mekansal analizlerde belirsizlikler yüksek elde edilmiştir [52]. Farklı bir çalışma Fransa'da yapılmış, hava kirleticilerinin atmosferdeki dağılımı kutu modeli de dahil olmak üzere, farklı kirlilik dağılım modelleri ile test edilmiş, elde edilen verilere göre, modeller arasındaki farklar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada amaca uygun modelin seçilmesi ve kirlilik dağılımı için kullanımı detaylı şekilde anlatılmıştır. Kutu modelinin mekansal ve çoklu kaynak emisyonlarındaki yaklaşık değerlerinin yarattığı belirsizlik ortaya konulmuştur. Çalışma da kutu modelinin girdi basitliğinden, avantaj olarak bahsedilmiştir [65].

2.3.2. Gauss Plume Modelleme

Bir çok modelin, altyapısını oluşturan gauss modeli en çok kullanılan kirlilik dağılım modelidir. Kaynaktan çıkan kirletici gazın, normal dağılım şeklinde, atmosfere yayıldığı varsayılarak, hesaplamalar yapılır. Model hesaplamalarında, kirletici emisyonu sabit kabul edilerek, durağan koşullar için dağılım hesaplamaları formüle edilmiştir. Rüzgar hızı her yerde aynı olduğu ve dağılımın sürekli gerçekleştiği düşünülerek, yatay ve düşey eksen için difüzyon gerçekleşmektedir. Model, kısa vadeli ve özellikle anlık hesaplamalar için ideal olmakla beraber, uzun vadeli hesaplamalarda belirsizlik yüksek çıkmaktadır [41].

Gauss modeli düz arazilerde kesin sonuçlar verirken, çalışma alanı özellikleri değiştikçe, sonuçlarda da farklılıklar gösterebilmektedir. Jeolojik yapının değişimi, özellikle de emisyon kaynağının önündeki engeller örneğin dağlık alanlar, model sonuçlarındaki hata oranının artması sebebiyle, belirsizlikleri değerlerini de arttırmaktadır. Bu tip durumlarda net sonuçlar elde edilememektedir. Modelin en önemli varsayımı, dağılım yönünde, meteorolojik koşulların değişmediğinin kabul edilmesidir. Ayrıca Gauss modeli kullanılarak yapılan hesaplamalarda, hava kirleticilerin difüzyon sırasında hiç bir kimyasal reaksiyona girmediğinin kabul edilmesidir. Varsayımlar, yöntemin uygulanmasında, sınırlamalar olduğunu göstermektedir [47].

Gauss modelleme ile ilgili yapılan bir çok çalışma mevcuttur. 2016 yılında Kanada da yapılan araştırmaya göre Gauss tabanlı modelleme yardımıyla kentsel alanlarda trafiğe bağlı oluşan azot dioksit (NO_2) kirleticisinin yer seviyesi konsantrasyonları, trafiğin yoğun olduğu saatlerdeki taşıt emisyon değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın en önemli çıktısı rüzgarın kirlilik dağılımı ve taşınımını nasıl etkilediği, ve NO_2 konsantrasyonunun bölgede nerelere kadar dağıldığının tespit edilmesidir [53]. Tayland'da Gauss modeli kullanılarak yapılan maksimum hava kirletici seviyesinin bulunduğu yerin tahmin edilebilmesi için metodoloji geliştirilmiş ve hesaplamalarda kullanılan varsayımların birçoğu en uygun şartlar için tahmin edilerek, hesaplamalar, bölgesel olaral üretilen katsayılara dayandırılmıştır. Sayısal analizlerdeki değişkenler için, bazı default katsayılar oluşturulmuştur [54]. 2012

yılında ise Türkiye Sakarya da yapılan bir çalışmada Gauss modelinin yardımıyla endüstriyel tesislerden kaynaklanan kükürtdioksit (SO_2) hava kirleticisi konsantrasyonları hesaplanmış sonucunda dağılım haritaları oluşturularak hava kalitesinin hangi seviyelerde olduğu açıklanmıştır [55]. Partikuler Madde ve SO_2 kirleticisinin modellenmesi diğer kirleticilere göre daha kolaydır. Bu kirleticiler, tüm illerde ve bazı ilçelerde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı Hava Ölçüm istasyonlarında noktasal olarak takip edilmektedir. Kirletici ölçüm sonuçları kullanılarak, model performansı ve model değişkenleri hassasiyet analizi yapılabilmektedir. Sonuçlara göre, model değişken hassasiyetine bağlı, model varsayımları düzenlenerek, istenilen sonuçlara ulaşılabilmektedir. Ancak bu durum, PM ve SO_2 haricindeki kirleticilerin neredeyse hiç çalışılmamasına sebep olmuştur. Bu yüzden çalışmamızda bu kirleticiler kapsam dışına çıkartılmıştır ve diğer kirleticilere odaklanılmıştır.

2.3.3. Calpuff Modelleme

Model California Puff model (CALPUFF) kısaltması olarak isimlendirilir. Calpuff model formülasyonu kararsız hal Lagrangian Puff dağılımına dayanmaktadır. Calpuff modeli, Calmet, Calpuff ve Calpost isimli modüllerin birbirini desteklemesi ile çalışan bir programdır. Calpuff, modelleme modülü olup, kirletici gazların taşınımı ve dağılımını zamana göre değişen meteorolojik koşullarda simüle etmesine yarayan internet tabanlı bir yazılımdır. Calmet, meteorolojik verileri içeren modellemedir. Calpost, bütün giriş verilerinin karşılığı olan çıktıların analizinin yapıldığı modüldür. Çıktı verilerinin özetleri ile grafik çizim dosyaları hazırlanmaktadır [42].

Calpuff modeli hava kirleticilerin, dağılım ve taşınımını zamana ve yere göre değişen meteorolojik koşullar etkisinde kalarak oluşturmaktadır. SO_2 , NO_3 , HNO_3 ve PM gibi çeşitli gaz kirleticilerinin 50-200 km kadar arasında değişen uzun mesafelerde atmosferdeki dağılımını modelleyebilmektedir. Kaynak olarak alansal, çizgisel ve noktasal kaynaklara uygulanabilir [43].

Calpuff modeli ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. 2012 yılında Polonya’da yapılan Calpuff modeli temel alınarak meteorolojik veriler yardımıyla PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO₂, CO, C₆H₆ gibi çeşitli kirleticilerin yıllık ortalama değerleri hesaplanmıştır [37]. Amerika’da otoyollarda yapılan bir çalışmada da Calpuff modelini ISCST3 modeli ile karşılaştırılması yapılmış ve konsantrasyon değerleri her iki model çıktısı sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada emisyon kaynağı ve model arasında mutlak bir bağıntı bulunmuştur. Özellikle anlık en yüksek kirlilik konsantrasyonu dağılımı ile stabil en yüksek kirlilik dağılım modeli için farklı modellerin avantajlarından bahsedilmiştir. Anlık yüksek konsantrasyonlarında Calpuff modelinin avantajlı olduğu görülmüştür [66]. 2013 yılında yapılan bir başka çalışmada karmaşık arazi koşullarına sahip bir kıyı kenti bölgesinde ki hava kalitesini Calpuff modeli ile incelenmiş CO, NO_x ve PM₁₀ emisyonlarının tahminleri yapılarak MM5 modeli ile kıyaslanmıştır [67]. Diğer bir çalışma ise Kocaeli Körfez ilçesinde SO₂ ve PM₁₀ gibi kirleticilerin Calpuff modeli uygulanarak günlük ve yıllık emisyon değerleri hesaplanmış farklı modeller kullanılarak Calpuff ile arasında ki sonuçlar karşılaştırılmıştır [33].

2.3.4. Puff Modelleme

Puff modellemesinin altyapısı Gauss modeline dayanarak oluşturulmuştur. Model homojen olmayan dispersiyon koşullarında ve durağan olmayan emisyonlar için geliştirilen bir çalışma yöntemidir. Puff modelinin diğer modellerden avantajlı yönü; kararlı ve kararsız atmosfer durumuna göre formüle edilebilmesi, düşük rüzgar hızlarında bile akım yönünde dağılımın hesaplanabilmesine olanak sağlamasıdır.

Puff model ile ilgili yapılan çalışmalar Türkiye’de kısıtlı olmakla beraber Dünya’da uygulamaları görülmektedir. Örneğin 2011 de Avustralya da yapılan bir çalışmada Puff modelin kararlı ve kararsız durumlarda Gauss model ile ilişkisi, modelin performansı ve uygulanması araştırılmıştır her iki çalışmada da model performansı yüksek elde edilmiştir [56]. 2012 yılında yapılan bir çalışmaya göre Puff modeline yeni bir yaklaşım getirilerek kirletici dağılım durumu değerlendirilmiştir [68]. Diğer bir çalışmada, Türkiye’ de 2017 yılında yapılan Puff modelinin formülü açıklanmış ve yöntemin özellikleri üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmaya göre puff

modeli anlık yüksek emisyonlara bağlı konsantrasyon hesaplamalarında yüksek performans vermektedir [57].



BÖLÜM 3

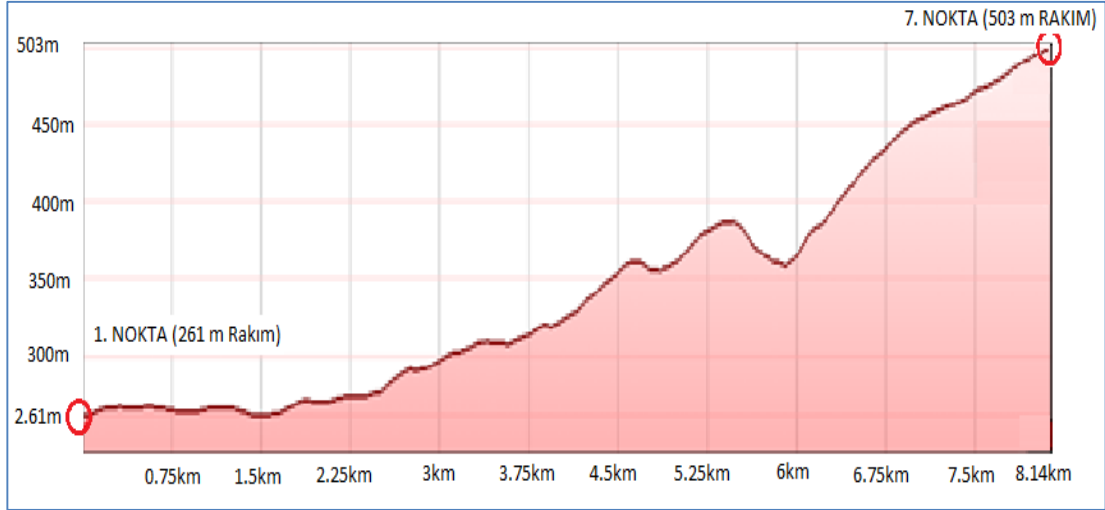
YÖNTEM VE METEDOLOJİ

3.1. KAPSAM

Bu çalışma Karabük ilinde, (1. Nokta) Karabük Terminali Kavşağından (7.Nokta) Safranbolu Belediyesi Kavşağı arasında yapılmıştır. İki nokta arasındaki toplam mesafe 8.14 km'dir. Yol boyunca eğimli ve düz yolların olmasından dolayı rakım değişikliği göstermektedir. Emisyon eğimli ve düz yollarda farklılık yaratmaktadır. Çalışma da rakım değişim noktalarına göre, 170 civarında nokta için rakım belirlenmiştir. En düşük rakım 261 m, en yüksek rakım ise 503 m olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. Google Earth çalışma yolu uydü görüntüsü.



Şekil 3.2. Çalışma yolunun rakım değerleri.

3.2. İSTATİKSEL VERİLER

3.2.1. Meteorolojik Veriler

Eylül 2017-Nisan 2018 tarihleri arasında meteorolojik veriler kapsam çerçevesinde portatif TFA 35.1077 kablosuz hava istasyonu ölçüm aleti ile ölçülmüştür (Şekil 3.4). Veriler 7 noktanın (dönel kavşağın) her birinde günün herhangi bir saatinde rüzgar hızı, sıcaklık, basınç, nem, yağmur miktarı olarak kayıt edilmiştir. Bilgisayar ortamında elde edilen veriler (Çizelge 3.1) excell dosyasına aktarılmıştır. Elde edilen verilerin doğrulanabilirliği ve kıyaslanabilirliği için ayrıca Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Eylül 2017-Mayıs 2018 verileri istenmiştir ve excelde kayıt dosyası oluşturulmuştur. Yapılan ölçümlerle, model için çok önemli olan meteorolojik verilere dayandırılan atmosfer stabilitesi belirlenmiştir.



Şekil 3.3. TFA 35.1077 Kablosuz hava istasyonu ile meteorolojik ölçüm.

Çizelge 3.1. Excellde kavşak noktalarındaki örnek meteorolojik veri kayıtları.

Yer	Tarih	Saat	Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Rüzgar hızı (m/sn)	Rüzgar yönü	Yağış (mm)	Yağış ihtimali (%)	Bulutluluk	Basınç (hpa)
kar-saf mevki 100.yıl göbek safranbolu giriş (emek mevki)	5.1.2018	12:20	89	9	0.69	GB	0.6	41	parçalı bulutlu	957.32
safranbolu giriş (emek mevki)	6.1.2018	11:30	91	6.6	0.31	G	0	0	açık	962.03
safranbolu giriş	7.1.2018	13:00	69	6	0.56	DKD	0	0	açık	973.23
karabük emniyet önü	8.1.2018	12:45	58	9	3	KD	0	0	parçalı bulutlu	993.84
karabük giriş (kardemir önü)	9.1.2018	12:10	81	2.1	4	K	0	0	çok bulutlu	974.81
medikardan sonraki göbek safranbolu giriş (emek mevki)	10.1.2018	12:00	73	6	4.1	KD	2.1	0	çok bulutlu	994.4
safranbolu giriş (emek mevki)	12.1.2018	12:25	93	7	1	DGD	1.5	30	çok bulutlu	961.6
safranbolu giriş	13.1.2018	16:30	89	5	1.39	KD	0.3	93	parçalı bulutlu	955.61
safranbolu giriş (emek mevki)	15.1.2018	12:15	93	2	1.39	KKD	2.4	0	çok bulutlu	974.6

TFA 35.1077 kablosuz hava istasyonu iç-dış sıcaklığı, nemi, rüzgarın hızını, yağın yağmurun miktarını (mm), basıncı (hpa), hissedilen sıcaklığı (°C) dijital olarak gösteren bir cihazdır. Cihaz kolay kurulabilir, ev veya açık alanlarda kullanılabilir. Cihaz pil ile çalışmakta olup dış sensör verileri ile kablosuz olarak dijital ekranına iletmektedir. Kayıt günü ve saati içeren max ve min değerleri, ilave olarak son 24 saatin atmosferik basıncını sütun grafik ile göstermektedir. Cihazın aksesuarları; rüzgar sensörü, yağmur sensörü, termo-higro-sensörüne 2 adet bağlantı kablosu, asma sopası, bağlantı malzemesi olarak oluşmaktadır. Cihazın teknik özellikleri ise aşağıdaki (Çizelge 3.2) tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.2. TFA 35.1077 kablosuz hava istasyonu teknik özellikleri.

Özellik	Değer
Sıcaklık (Dış ortam)	40°C +65°C
Max, Min Değer Hafızası	100 m (Açık Alanda)
Sıcaklık Alarmı Kurulabilme Özelliği	Var
Basınç Ölçüm Aralığı	919-1080 hPa
Nem Ölçüm Aralığı	% 10-%99 Rh (iç ve dış)
Yağmur Ölçüm Aralığı	0-9999 mm
Rüzgar Ölçüm Aralığı	0-180 km/h
Sıcaklık Ölçüm Hassasiyeti	±1°C
Nem Ölçüm Hassasiyeti	±3 % rH
Güç Kaynağı	3 x 1,5 V AA pil
Sensör	2 x 1,5 V AA pil
Boyutları	150 x 30 x 160 mm
Ağırlık	293 gr



Şekil 3.4. TFA 35.1077 kablosuz hava istasyonu.

3.2.2. Araç Sayıları

Karabük-Safranbolu arasında yapılan ölçümlere göre toplam geçen araç sayısı günlük ortalama 21784 olarak belirlenmiştir. Rakamlar aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3.3). Araç sayılarına bakıldığında saat 8:00-9:00 ile 17:00-18:00 arasında en yoğun araç geçişi gözlemlenmiştir. 5 no'lu noktada 24 saatlik kamera çekimleri alınmış ve yol güzergahında araçların görüntüleri kaydedilerek araç sayıları bulunmuştur. Tespit edilen bu araç sayıları için 2018 TUİK Trafığe Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılım verilerinden yararlanarak araçların yakıt türlerine göre tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.3. 24 Saatlik ölçülen türlerine göre araç sayıları.

Araç Türleri	Binek Araç	Dolmuş- Kamyonet	Kamyon-Tır
07:00-08:00	1543	283	62
08:00- 09:00	2181	427	79
09:00-10:00	1333	359	63
10:00-11:00	989	197	69
11:00-12:00	965	164	76
12:00-13:00	815	231	81
13:00-14:00	721	119	48
15:00-16:00	877	185	61
16:00-17:00	1033	260	74
17:00-18:00	1291	366	44
18:00-19:00	1285	350	42
19:00-20:00	1203	252	38
20:00-21:00	813	198	32
21:00-22:00	530	135	27
22:00-23:00	327	89	21
23:00-24:00	151	70	17
24:00-01:00	147	61	15
01:00-02:00	120	54	11
02:00-03:00	112	29	8
03:00-04:00	61	17	12
04:00-05:00	64	10	17
05:00-06:00	96	21	28
06:00-07:00	193	90	42
Toplam	16850	3967	967

Çizelge 3.4. Araç türlerine göre araç sayıları.

Araç Türü	Yakıt Türü	Günlük Geçen Araç Sayısı
Otomobil	Benzin	4374
	Dizel	5966
	LPG	6472
Hafif ticari (minibüs,kamyonet)	Dizel	3336
Ağır ticari (otobüs, kamyon, tır)	Dizel	848



Şekil 3.5. Araç sayımı kamera görüntüleri saat 08:00-09:00.



Şekil 3.6. Araç sayımı kamera görüntüleri saat 17:00-18:00.

3.2.3. Anlık Yakıt Tüketimleri

LPG, benzin ve dizel araçların anlık yakıt tüketimini belirleyebilmek için, ekran görüntülerinde yakıt tüketimi, hız göstergeleri ve hatta vites değişimlerine göre, çalışma yolu boyunca 8.14 km için geliş ve gidiş olarak farklı günlerde kamera kayıtları alınmıştır. Bu kayıtlardan yol boyunca hız değişimleri, minimum ve maksimum hızlara göre ortalama değerler elde edilmiştir. Kamera kayıtları, benzin ve dizel için elde edilmiş; ancak LPG'li araçlar için tahmin edilmemiştir. Bu çalışma kapsamına uygun LPG'li bir araç bulunamamıştır. Toplam enerji tüketimi

kullanılarak, LPG'li araçlar içinde, çalışma yolu boyunca yakıt tüketimi ve hız tahmin edilebilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Araç panellerinden anlık yakıt tüketim kamera kayıtları.

Çizelge 3.5. Çalışma sahası için benzinli araç ortalama yakıt tüketimleri ve hız değerleri.

Yakıt tüketimleri (l/km)	Hız (km/s)
0.1039	20
0.0882	28
0.0776	36
0.0739	44
0.0727	51
0.0729	59
0.0723	68
0.0733	76
0.0751	84
0.0794	92
0.0866	100
0.0958	109

Ayrıca Çizelge 3.5'de, benzinli araçlar için, çalışma sahasında, ortalama yakıt tüketim değerleri verilmiştir. Oluşturulan grafikler, Bölüm 4.1 sonuçlar kısmında verilmiştir.

3.2.4. Emisyon Hesabı

Proje çalışmasında yapılan ulaştırma sektörü emisyon envanteri hesaplamalarında IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından önerilen yaklaşımlar

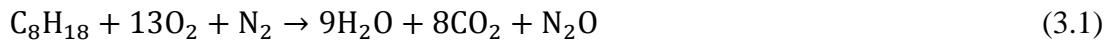
kullanılmıştır. Bu kapsamda IPCC Tier 1 yaklaşımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Bu yaklaşıma göre araç emisyonları; kat edilen mesafe, araç sayıları ve emisyon faktörlerinin bileşimi kullanılarak elde edilmiştir (Eşitlik 3.7). IPCC 2006, EPA CORINAIR emisyon miktarları Çizelge 3.6' da verilmiştir. Oluşturulan grafikler ise 4.2 Sonuçlar kısmında verilmiştir.

Emisyon hesaplamaları stokiyometrik kütleli denklik hesaplamaları ile yapılmaktadır. Yanma denkliklerine göre yapılan hesaplamalar verimli ve verimsiz yanma olarak adlandırılmaktadır. Verimsiz yanma, atılan emisyonların kalitesini de düşürmektedir. Buna göre çalışma da kullanılan benzin, dizel ve LPG için aşağıda stokiyometrik eşitlikler verilmiştir [77, 78].

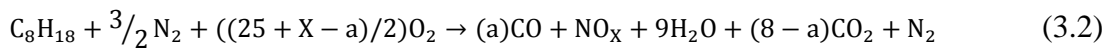
Benzin;

Verimli yanma

Tüm yakıtlar için verimli yanma sonucunda su, CO₂ ve N₂O gazı atmosfere salınmaktadır.



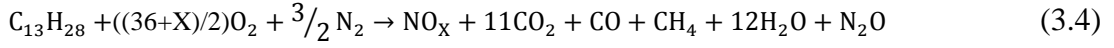
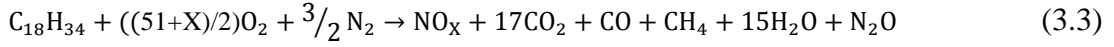
Verimsiz yanma



Dizel;

Dizel yapısında doymuş hidrokarbon, parafin, aromatik hidrokarbon, nafta ve alkali benzene bulundurmasından dolayı farklı formül (C_nH_{2n+a}) yapısında bulunabilmektedir.

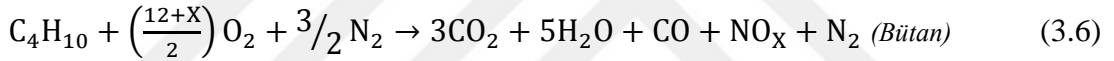
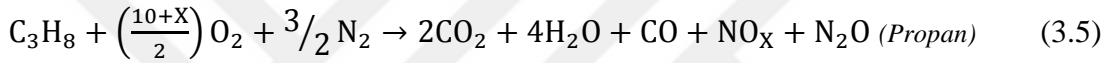
Verimsiz yanma



LPG;

Verimsiz yanma

Türkiye’de satışı yapılan LPG yakıtı, %30 propan ve %70 bütan’dan oluşmaktadır.



Emisyon hesaplamalarında, IPCC ve EMEP/CORINAIR [70, 71] emisyon faktörleri kullanılmıştır. Söz konusu metodlar uluslararası emisyon raporlamalarında kullanılan metodlardır. Buna göre;

$$\text{Emisyon miktarı (Ton/Yıl)} = \text{Emisyon faktörü (g/km)} * \text{Yol} * \left(\frac{\text{Araç}}{\text{Gün}}\right) \quad (3.7)$$

Emisyon hesaplamaları için kullanılan emisyon faktörleri aşağıda verilmiştir [70,71,72].

Çizelge 3.6. Yakıt tüketimine göre emisyon faktörleri [70,71,72].

Yakıt	CO ₂ (tC/TJ)	CH ₄ (kG/TJ)	N ₂ O (kG/TJ)	NO _x (kg/TJ)	CO (kg/TJ)	NMVOC (kg/TJ)
LPG	17.2	50	0.1	600	400	5
Benzin	18.9	20	0.6	600	8000	1500
Dizel	20.2	5	0.6	800	1000	200

Doğrusal olmayan polinom regresyon modeline [73] göre parametreler arası değişim fonksiyonları elde edilmiştir (Eşitlik 3.8):

$$y = b + c_1X + c_2X^2 + c_3X^3 + \dots + c_nX^n \quad (3.8)$$

c_1, \dots, c_n : sabit

R-kare değeri (R^2) değişkenlerin model sonuçlarına göre gerçek değerlere ne kadar yakın olduklarını göstermektedir. Birim değere yakın R^2 değeri kabul edilebilir olarak görülmektedir. R^2 değeri ayrıca determinasyon katsayısı olarak da adlandırılmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.9):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} ; \text{ öyleki } SSE = \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \text{ ve } SST = (\sum Y_i^2) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \quad (3.9)$$

R^2 : R kare değeri

SSE : hata kare toplamı

SST : kareler toplamı

n : gözlem sayısı

Y_i : gözlem değeri

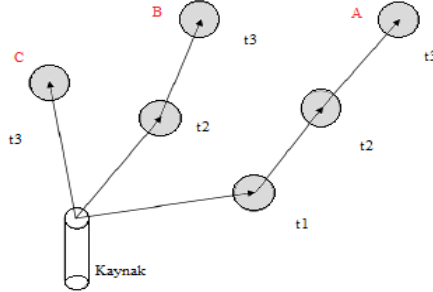
\hat{Y}_i : fonksiyon değeri

3.2.5. Puff Modeli

Model, hava kirletici emisyonlarını her bir Puff ismiyle adlandırılan hücelere ayırmıştır ve bu Puff'ların her birinin rüzgara göre dağılımının hesaplanmasını sağlamaktadır. Her bir Puff hücresi belirli bir zamanda örnekleme aralığında donmuş bir şekilde hesaplama yapar bir diğer örnekleme zamanına kadar kirleticiler hareketine devam eder ve tüm Puff'ların toplam etkisi modelleme sayesinde oluşturulur.

Aşağıdaki şekilde Puff hücrelerinin şematik gösterimi paylaşılmıştır. Modelin mantığı şöyledir; Puff hücreleri A, B, C isimleriyle adlandırılarak t_1 , t_2 , t_3 zamanlarında kaynaktan çıkarak dağılım göstermektedir. A, B ve C hücrelerinin her

biri kendi gauss dağılımına göre yayılmakta olup hepsinin toplamı Puff modelini oluşturmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Puff Dağılımının Şematik Gösterimi [57].

Kirliliğin dağılımı atmosfer koşullarına ve atmosfer stabilitesine bağlıdır. Rüzgar hızı ve havanın açık kapalı olması atmosfer kararlılık durumunu belirlemektedir

Çizelge 3.7. Model kararlılık sınıfları [86].

Yüzey Rüzgar Hızı (m/s)	Gündüz			Gece	
	Kuvvetli (Açık)	Moderate (Yarı açık)	Slight (Kapalı)	Cloud/Bulut (Açık)	Cloud/Bulut (Kapalı)
<2	A	A-B	B	-	-
2--3	A-B	B	C	E	F
3--5	B	B-C	C	D	E
5--6	C	C-D	D	D	D
6>	C	D	D	D	D

Gerekli kaynaklardan toplanan veriler ile puff modeli için kullanılan matematiksel formül aşağıdaki Eşitlik 3.8'de gösterilmiştir [56,85].

$$\Delta c = \frac{\Delta M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x^2 \sigma_y^2 \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_p - x_r}{\sigma_x} \right)^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y_p - y_r}{\sigma_y} \right)^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z_p - z_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (3.10)$$

Formül terimleri;

Δc : Puff'un konsantrasyonu

ΔM : Puff'un atmosfere salınan kütlesi

σ_h : Puff'un yatay standart sapması

σ_z : Puff'un dikey standart sapması

$x_p - x_r$: Puff merkezi ile reseptörün x koordinatındaki yer değiştirmesi

$y_p - y_r$: Puff merkezi ile reseptörün y koordinatındaki yer değiştirmesi

$z_p - z_r$: Puff merkezi ile reseptörün z koordinatındaki yer değiştirmesi

t zamanında puff merkezi $p(t) = (x_p, y_p, z_p)$ de, reseptör $r = (x_r, y_r, z_r)$ konumlandırılmaktadır.

Yatay standart sapmayı bulmak için Batchelor's formülünden yararlanılmaktadır Eşitlik 3.11'de verilmiştir.

$$\sigma_h^2 = \epsilon t^3 \quad (3.11)$$

σ_h : Yatay standart sapma

ϵ : Eddy dağılım oranı

t : Zaman

Puff'un hareket süresi t, 10^4 den az ise yukarıdaki formül kullanılır ve $z = z_i/2$ olarak hesaplanması önerilir.

z_i : Karışım yüksekliği olarak adlandırılmaktadır.

Aşağıdaki başlıklarda Eşitlik 3.10'da kullanılan terimlerin denklem basamakları açıklanmaktadır.

3.2.5.1. Eddy Dağılım Oranı

Eddy dağılım oranını (ϵ) bulabilmek için Eşitlik 3.12'den yararlanılmaktadır.

$$\epsilon = \frac{u_*^3}{k \times z} \left(\phi_m - \frac{z}{L} \right) \quad (3.12)$$

- ϕ_m : Boyutsuz rüzgar değişimi
 U_* : Sürtünme hızı
 k : Von karman sabiti ($\cong 0,40$)
 L : Monin-Obukhov uzunluğu

3.2.5.2. Boyutsal Rüzgar Değişimi

Boyutsuz rüzgar değişimi için Eşitlik 3.13'deki denklemlerden yararlanılmaktadır, meteorolojik koşullara göre uygun sınıf belirlenerek ϕ_m değeri bulunur.

$$\phi_m = \begin{cases} \text{nötr koşulda(neutral conditions); } \phi_m = 1 \\ \text{kararsız koşulda(unstable conditions); } \phi_m = (1 - 16 \frac{z}{L})^{-1/4} \\ \text{kararlı koşulda(stable conditions); } \phi_m = 1 + 5 \frac{z}{L} \end{cases} \quad (3.13)$$

- L : Monin-Obukhov uzunluğu

3.2.5.3. Sürtünme Hızı

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (3.14)$$

- $u(z)$: Logaritmik rüzgar profili
 k : Von karman sabiti ($\cong 0,40$)
 z_0 : Pürüzlülük Uzunluğu

3.2.5.3. Pürüzlülük Uzunluğu

Pürüzlülük uzunluğu diğer bir adıyla yüzey pürüzlülüğü rüzgarın yeryüzü şekillerinden etkilenerek yayılmasını engelleyen bir etkidir ve Eşitlik 3.15 ile bulunmaktadır.

$$z_0 = \epsilon/30 \quad (3.15)$$

ϵ : Çalışma alanındaki engellerin ortalama yüksekliği

3.2.5.4. Monin-Obukhov Uzunluğu

$$L = -\frac{z_i}{k} \left(\frac{u_*}{\omega_*} \right)^3 \quad (3.16)$$

k : Von karman sabiti ($\cong 0,40$)

u_* : Sürtünme hızı

ω_* : Karışım katmandaki hız ölçeği

z_i : Karışım yüksekliği

3.2.5.5. Karışım Yüksekliği

Karışım yüksekliği kirleticilerin kaynağından çıkarak atmosfer ortamında ne kadar yükseldiğini gösteren bir parametredir. Eşitlik 3.17'de havanın koşullarına göre uygun denklem seçilmektedir.

$$z_i = \begin{cases} \text{nötr ve kararsız şartlarda, } z_i = h \text{ (karışım yüksekliği)} \\ \text{kararlı şartlarda, } z_i = h = \text{const} \frac{u_*}{f} \end{cases} \quad (3.17)$$

const : 0.15-0.25 arasında değer alınır

u_* : Sürtünme hızı

f : Coriolis parametresi

$$f = 2\Omega \sin \phi \quad (3.18)$$

Ω : Dünya dönme hızı ($7.29 \times 10^{-5} s^{-1}$)

ϕ : Enlem

3.2.5.6. Karışım Katmandaki Hız Ölçeği

$$\omega_* = \left(\frac{g \times H \times z_i}{c_p \times \rho \times T_0} \right)^{1/3} \quad (3.19)$$

g : Yerçekimi ($9,806 \text{ ms}^{-2}$)

H : Yüzey ısısı

z_i : Karışım yüksekliği

c_p : Özgül ısı, (kJ/kgK)

ρ : Hava yoğunluğu, ($1,225 \text{ kg/m}^3$)

T_0 : Yüzey sıcaklığı

3.2.5.7. Yüzey ısısı

Yüzey ısısı havanın rüzgar ve sıcaklık bileşiminin oluşturduğu bir etkendir ve Eşitlik 3.20 kullanılarak bulunur.

$$H = c_p \times \rho \times \overline{\omega' T'} \quad (3.20)$$

c_p : Özgül ısı, (specific heat, kJ/kgK)

ρ : Hava yoğunluğu, ($1,225 \text{ kg/m}^3$)

ω' : Dikey rüzgar dalgalanması

T' : Sıcaklık dalgalanması

$$\omega' = u(z) = u(z_a) \times \left(\frac{z}{z_a} \right)^p \quad (3.21)$$

z : Rüzgar hızı

z_a : Anometre yüksekliğindeki rüzgar hızı (6-10 m arasında değişir)

p : Exponent değeri (0.1-0.4)

T' : Her 100 m'de 1°C değişimi

3.2.6. Coğrafi Bilgi Sistemler

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) en yalın haliyle seçilen bir bölgeden toplanan verilerin haritalama sistemi ile araştırılarak analiz edilmesidir. CBS ile seçilen coğrafi bölgenin sayısal değerlerinden ve koordinatlarından yararlanarak bilgisayar ortamında modelleme çalışması yapılmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemleri bölgesel verileri veritabanında saklayarak istatistiksel bir şekilde analiz etmesi, bilgi akışını hızlı yapması ve bu verileri görselleştirerek grafikleştirilmesi açısından tercih edilebilir olmasını sağlamaktadır.

Excel tabanlı veri hesap programı oluşturularak verilerimizi kısmi manuel kısmi otomatik programdan alan veriler kullanılarak puff modeli sonuçları, görsel olarak CBS programları aracılığı ile gösterilmiştir. Bunun için QGIS ve ARCVIEW kullanılmıştır. Hesaplama sonuçları ve elde edilen grafikler Bölüm 4’de verilmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

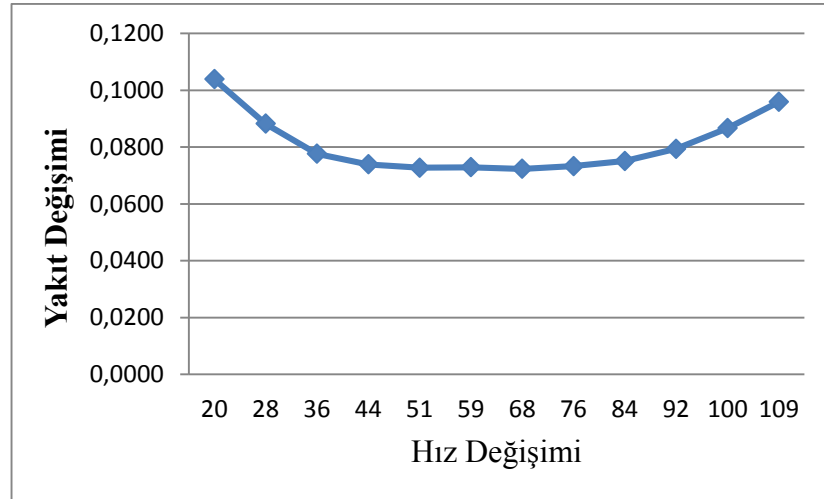
Çağımızın en önemli ekonomik girdisi olarak kabul edilen enerji, sürdürülebilir kalkınmanın, ekonomik kısmında yer alan, dünyanın hızlı değişimini tetikleyerek, çevresel ve sosyal alanları da yoğun şekilde etkileyen bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre, ekonomi ve beşeri hayat (sosyal yaşam)'ın dengeli şekilde devamlılığının sağlanması olarak adlandırılan sürdürülebilir kalkınma, gelişmekte olan ülkeler için sürdürülebilirlik ile aynı anlamı taşımaya başlamıştır. Bu durum özellikle ekonomik boyutu ve enerji tüketimini, çevre ve sosyal yaşamın önüne geçmesini sağlamıştır. Bu tez çalışması ile özellikle araçlarda tüketilen enerjinin atmosferde yarattığı etki araştırılmıştır. IPCC ve EMEP/CORINAIR emisyon faktörleri kullanılarak, araçların anlık ve toplamda yarattığı emisyonlar, hız değişkenine bağlı belirlenmiştir. İstatiksel çalışmalar ile hız-emisyon fonksiyonları yüksek güvenilirlikte elde edilmiştir. Emisyon envanterleri kullanılarak dağılım modelleri oluşturulmuş ve kirlilik haritaları çalışma alanı için CBS tekniği kullanılarak çizilmiştir.

4.1. ANLIK YAKIT TÜKETİMİ VE HIZ

Çizelge 4.1'de verilen ortalama anlık yakıt tüketimleri ve hız değerlerinden yararlanarak hız-yakıt arasında bağıntı oluşturulmuş ve grafiği (Şekil 4.1) paylaşılmıştır. Araçların ilk çalışma anı (düşük hız -düşük vites) ve yüksek hızlarda (yüksek vites) yakıt tüketimine bağlı emisyonların da arttığı görülmüştür. Buna göre 20 km hız ile giden bir araç, 110 km ile giden bir araç ile hemen hemen aynı yakıtı kullanmaktadır.

Çizelge 4.1. Ortalama anlık yakıt tüketimleri ve hız değerleri.

Yakıt tüketimleri (l/km)	Hız (km/s)
20	0.1039
25	0.0941
28	0.0882
30	0.0855
36	0.0776
40	0.0758
44	0.0739
50	0.0730
51	0.0727
59	0.0729
60	0.0729
68	0.0723
70	0.0725
76	0.0733
80	0.0741
84	0.0751
90	0.0782
92	0.0794
100	0.0866
109	0.0958
110	0.0968



Şekil 4.1 Hız/yakıt değişim grafiği.

Anlık yakıt tüketim ve hız verilerinden yararlanarak Excel grafikleri oluşturulmuş ve grafik yardımıyla hız-yakıt bağıntısı elde edilmiştir. İstatistiksel olarak yüksek R-kare değeri bu tahminin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Bu bağıntı farklı hesaplamalarda kullanılabilir. Hız-Yakıt ilişkisi Eşitlik 4.1’de verildiği gibidir. Bu bağıntı 0.944 gibi yüksek bir R² değeri ile ilişkinin korelasyonunu ifade etmektedir.

$$y=0.0009x^2-0.0122x+0.1106$$

$$R^2 = 0.944 \quad (4.1)$$

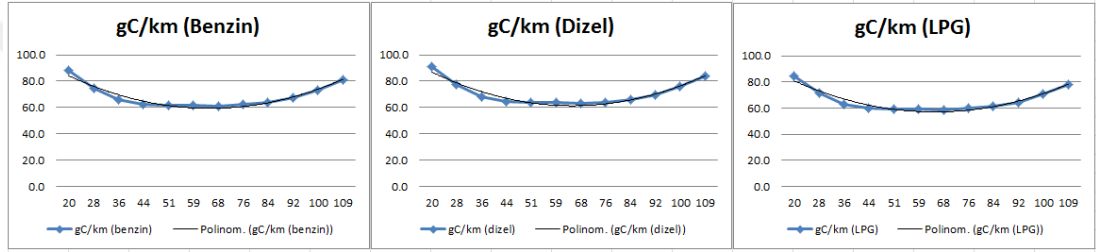
x: hız; y: yakıt tüketimi

4.2. EMİSYON ENVANTERİ

Bu çalışmada, CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC kirleticileri çalışılmıştır. Atmosfer kirleticileri emisyonları için, anlık yakıt miktarı, araç sayısı, araç tipi, araç hızı ve yapılan km verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyon değerleri model değişkenlerinin en önemlisidir. Bu değerler, 24 saatlik sürede, çalışma alanında seçilen yol için, örnek çalışma olarak, geçen araç sayısına bağlı, yer seviyesi konsantrasyonlarının hesaplanmasını sağlamıştır. 24 saatlik kamera kayıtları seçilen yol güzergahı üstünde aralıksız kayıt yapmış, ortalama günlük ve saatlik araç geçiş sayıları araç tiplerine göre tespit edilmiştir. Bu çalışma Karabük ilinde, (1. Nokta) Karabük Terminali Kavşağından (7.Nokta) Safranbolu Belediyesi Kavşağı arasında yapılmıştır. İki nokta arasındaki toplam mesafe 8.14 km’dir. “Nokta 1” ve “Nokta 7” olarak adlandırılan yerler, yol üstündeki kavşak noktalarıdır. Yol boyunca toplam 169 noktasal yerde, model sonuçları elde edilmiştir. Bu noktalar rakım değişimlerine göre tespit edilmiştir.

Ölçüm sonuçlarına göre, aşağıdaki Şekil 4.2 elde edilmiştir. Anlık hıza bağlı yakıt tüketimi ve emisyon faktörleri (EF), 3 farklı araç türü için hesaplanmıştır ve bu hesaplamalar 15-20 dakika süresince devam eden 25 sefere göre elde edilmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, yakıtların verimsiz yanması nedeniyle karbon emisyon faktörü düşük hızda, çok yüksek değerlerde çıkmıştır. Fakat, araç hızı 60-70 km / saat hıza göre, yakıt tüketimi azalmakta, daha sonra tekrar yüksek yakıt tüketimi

nedeniyle emisyon faktörü artmaktadır. Polinom modeli, şekiller için hız-yakıtı bağılı hız-emisyon faktörü (EF) denklemini yüksek güvenilirlikte vermiştir. Bu modellerin istatistiksel güvenilirliği de, yüksek korelasyonlu R-kare değeri ile ortaya konulmuştur. Farklı hızlar için emisyon değerleri bu bağıntılar ile kolaylıkla hesaplanabilir. Emisyon hesaplamalarının en önemli girdisi olan yakıt tüketim miktarı, katedilen mesafe ve emisyon faktörüdür. EF'nün yüksek güvenilirliği, faktör belirsizliğini düşüreceğinden, hesaplamalar istatistiksel olarak yüksek doğruluktur. Emisyon hesaplamaları bir tahmindir. Emisyon tahmini belirsizliği, emisyon faktör doğruluğu ve güvenilirliği ile düşürülmektedir.



Şekil 4.2. Benzin, dizel ve LPG için karbon emisyon faktörü.

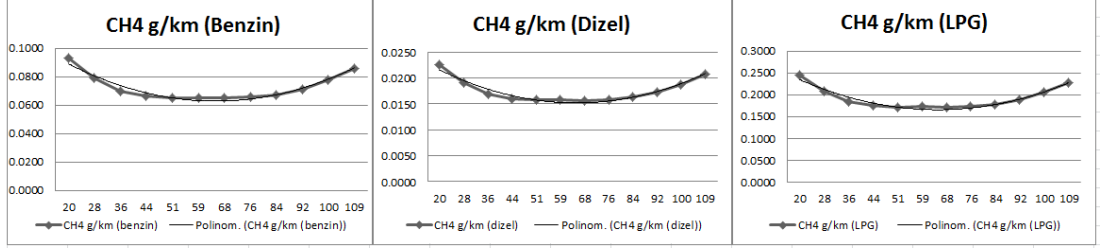
Çizelge 4.2. Benzin, dizel ve LPG için karbon emisyon bağıntısı.

Yakıt Türü	Fonksiyon
Benzin	$y = 0.7746x^2 - 10.317x + 93.663$
Dizel	$y = 0.8008x^2 - 10.666x + 96.831$
LPG	$y = 0.7445x^2 - 9.9152x + 90.018$

x: hız; y: yakıt tüketimi

CH₄ Emisyon Faktörü, farklı yakıt türleri için hesaplanmıştır. CH₄ emisyonu LPG için diğer yakıtlara göre oldukça yüksektir. Bunun gerekçesi verimsiz yanma ve metan gazının atmosfere yanmadan direk atılmasıdır. LPG'nin özellikle eski tip araçlarda tercih edilmesi ve sonradan araçlara LPG sisteminin monte edilmesi, CH₄ emisyonu da arttırmaktadır. Kaçak emisyon (fugitive emission) olarak adlandırılan bu durum yakıt tüketimini de arttırmaktadır. Özellikle düşük basıncın motor haznesinde düşmesi enerji verimini de düşürmektedir. Sonucunda, atmosfere salınan kirleticileri arttırmaktadır. Dizel tüketimi kaynaklı CH₄ emisyonu, benzin tüketiminden kaynaklanan CH₄ emisyonuna göre, 3 kat daha düşüktür. Bu durum

yakıtların akışkanlık özelliği ile ifade edilmektedir. Aşağıdaki grafiklerde, hıza bağlı tahmin edilen yakıt tüketimi ve yarattığı emisyon bağıntısını fonksiyonel olarak vermektedir. İstatistiksel olarak R-kare değerleri bu bağıntıların yüksek oranda olduğunu göstermektedir.



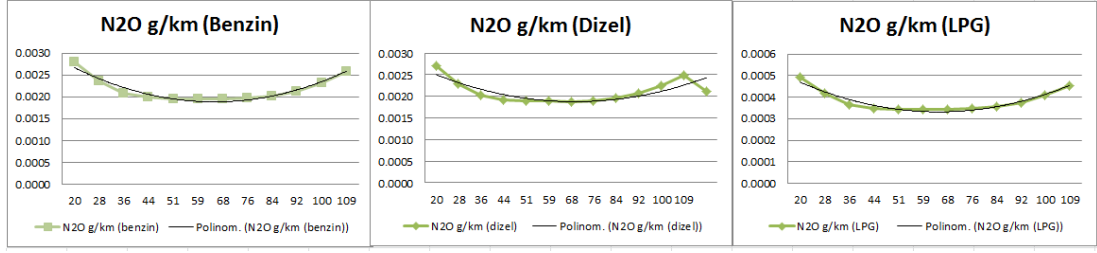
Şekil 4.3. Benzin, dizel ve LPG için CH₄ emisyon faktörü.

Çizelge 4.3. Benzin, dizel ve LPG için CH₄ emisyon bağıntısı.

Yakıt Türü	Fonksiyon
Benzin	$y = 0.0008x^2 - 0.0109x + 0.0991$
Dizel	$y = 0.0002x^2 - 0.0026x + 0.024$
LPG	$y = 0.0022x^2 - 0.0288x + 0.2617$

x: hız; y: yakıt tüketimi

N₂O emisyonu için benzin ve dizel yakıt tüketimi benzer grafikleri ve fonksiyonları vermiştir. Bunun sebebi her iki yakıt içinde yakma işlemi esnasında atmosferden alınan havanın, %78 oranındaki azot bileşenidir. LPG kaynaklı N₂O emisyonu yanma işlemi için yüksek orandaki havanın motor sistemine beslemesinden kaynaklanmaktadır. Aksi takdirde yanma işlemi gerçekleşmeyeceğinden verim ve buna bağlı hızda düşecektir. Hız-EF bağıntıları için kullanılan istatistiksel modellerde, yüksek R-kare değeri elde edilmiştir.



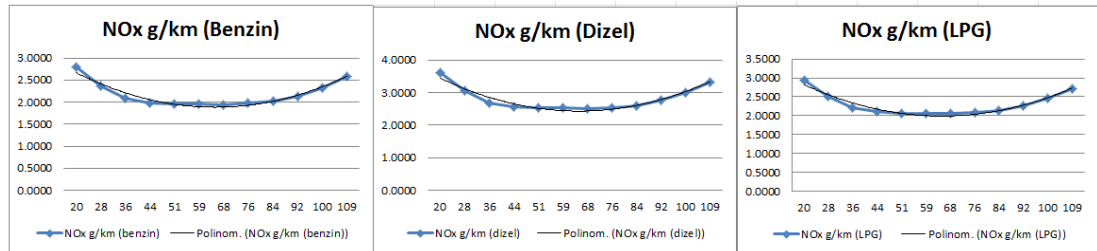
Şekil 4.4. Benzin, dizel ve LPG için N₂O emisyon faktörü.

Çizelge 4.4. Benzin, dizel ve LPG için N₂O emisyon bağıntısı.

Yakıt Türü	Fonksiyon
Benzin	$y = 2E-05x^2 - 0.0003x + 0.003$
Dizel	$y = 2E-05x^2 - 0.0002x + 0.0027$
LPG	$y = 4E-06x^2 - 6E-05x + 0.0005$

x: hız; y: yakıt tüketimi

Şekil 4.5’de gösterilen NO_x emisyon faktörü sonuçlarına göre en fazla emisyon dizel yakıt türünden kaynaklanmaktadır. Dizel motorların benzin motorlara göre daha fazla NO_x emisyonu oluşturması, yüksek sıkıştırma oranları ile çalışmalarından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıkıştırma oranları silindir içi sıcaklığı oldukça arttırmakta ve bunun sonucunda NO_x emisyonunda da artış görülmektedir. Motor silindir içi sıcaklığı yaklaşık 1500°C’yi ulaştığında, silindir içerisine alınan havada bulunan N₂ gazı oksijen ile tepkimeye girerek NO_x emisyonlarını da sebep olmaktadır.



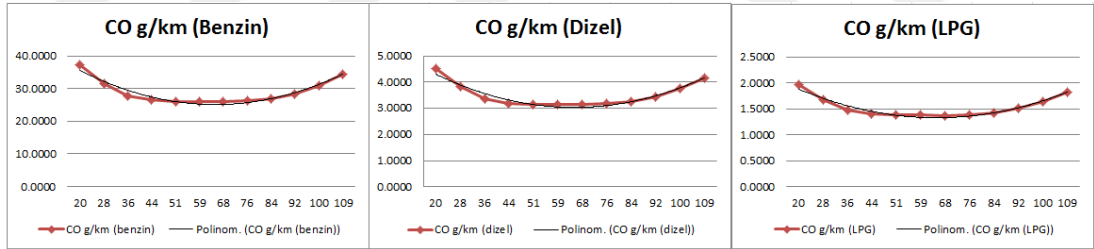
Şekil 4.5. Benzin, dizel ve LPG için NO_x emisyon faktörü.

Çizelge 4.5. Benzin, dizel ve LPG için NO_x emisyon bağıntısı.

Yakıt Türü	Fonksiyon
Benzin	$y = 0.0246x^2 - 0.3275x + 2.9734$
Dizel	$y = 0.0317x^2 - 0.4224x + 3.8349$
LPG	$y = 0.026x^2 - 0.3459x + 3.1402$

x: hız; y: yakıt tüketimi

Diğer bir kirletici olan CO için aşağıda şekil verilmiştir (Şekil 4.6). Karbon monoksit oluşumu en fazla benzin yakıt türünde meydana gelmiştir. Bunu dizel ve LPG sırasıyla izlemektedir. Benzinli yakıt türünde CO emisyon faktörünün fazla olmasının sebebi benzin motorlarının çalışma koşullarından dolayıdır, oksijen yetersizliğinden yanma tam olarak meydana gelmemektedir. Silindir içerisindeki hava ve yakıt homojen olarak karışmamaktadır. Verimsiz yanma sonucunda, tam okside olmamış gaz olan CO atmosfere salınmaktadır. Dizel motorlarında ise daha düşük hava karışım oranları ile çalışması sebebiyle, CO emisyonu, benzine göre daha düşüktür.



Şekil 4.6. Benzin, dizel ve LPG için CO emisyon faktörü.

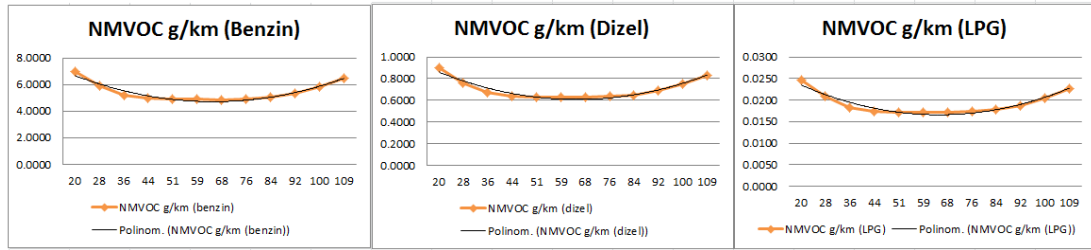
Çizelge 4.6. Benzin, dizel ve LPG için CO emisyon bağıntısı.

Yakıt Türü	Fonksiyon
Benzin	$y = 0.3279x^2 - 4.3668x + 39.646$
Dizel	$y = 0.0396x^2 - 0.528x + 4.7936$
LPG	$y = 0.0173x^2 - 0.2306x + 2.0934$

x: hız; y: yakıt tüketimi

Şekil 4.7 NMVOC emisyon faktörü, yüksekten düşük faktöre göre sıralandığında benzin, dizel ve LPG şeklinde elde edilmiştir. NMVOC emisyonları verimsiz

yanmanın sonucunda ortaya çıkmaktadır. NMVOC emisyonları, motordan kaçak diye tabir edilen, işlem görmemiş hidrokarbonların atmosfere salınımıdır. Benzinli yakıtlarda daha yüksek çıkmasının sebebi ise, yanma işleminin tam olarak gerçekleşmemesidir. NMVOC emisyonu araç çalışır durumda değilken bile gerçekleşmektedir. Araçlardaki yağ sızıntıları, motor aksanı üzerindeki her türlü kirlilik ve yağ lekeleri, araçların benzin istasyonunda dolumu, araç bakım ürünleri, araçların deterjan ile temizlenmesi ve yeni araçların iç kokusu, NMVOC’u atmosfere salmaktadır. NMVOC emisyonunun, uzun vadede karbon içeri atmosferde okside olarak CO₂ ve CH₄ gazı oluşturabilmektedir. LPG’ li araçlarda ise gazın tutuşması motor haznesindeki yüksek sıcaklıkta, diğer yakıtlara göre daha iyi olduğundan, NMVOC emisyonu da atmosfere az salınmaktadır.



Şekil 4.7. Benzin, dizel ve LPG için NMVOC emisyon faktörü.

Çizelge 4.7. Benzin, dizel ve LPG için NMVOC emisyon bağıntısı.

Yakıt Türü	Fonksiyon
Benzin	$y = 0.0615x^2 - 0.8188x + 7.4335$
Dizel	$y = 0.0079x^2 - 0.1056x + 0.9587$
LPG	$y = 0.0002x^2 - 0.0029x + 0.0262$

x: hız; y: yakıt tüketimi

Çizelge 4.9'da verilen hıza bağlı emisyon faktörleri (ortalama direk ve indirek sera gazı emisyon faktörleri), kamera kayıtlarıyla belirlenen araç sayıları (Çizelge 4.8) ve toplam katedilen mesafenin çarpılması ile, kirletici emisyon değerlerine ulaşılmıştır. Çizelge 4.10'da verilen ton kirletici/kilometre (km) bazında emisyon faktörleri araç içi yolculuk kayıtlarına göre, anlık yakıt tüketim değerlerinden elde edilmiştir. Ortalama değer olarak IPCC EF değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.8 de verildiği gibi, araç yakıt tipleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ulaştırma İstatistikleri Veri Tabanına göre tahmin edilmiştir [74]. Bu istatistiklere göre, yaklaşık otomobillerin %26'sı benzin, geriye kalan %35 ve %36 sırasıyla dizel ve LPG kullanmaktadır. Minibüs, kamyonet ve kamyonların tamamının dizel kullandığı varsayılmıştır.

Çizelge 4.8. Yoldan geçen ortalama taşıt sayısı.

Araç Türleri	Otomobil			Minibüs	Kamyon, Tır
	Yakıt Türleri	Benzin	Dizel	LPG	Dizel
Çalışma alanında sayılan günlük araç sayısı	4374	5966	6472	3336	848

Çizelge 4.9. Ortalama çalışma yolu araç başı sera gazı emisyon faktörü.

Emisyon Faktörü (EF)	Otomobil			Minibüs	Kamyon, Tır
	Yakıt Türü	Benzin	Dizel	LPG	Dizel
gC/km	68.6000	70.8820	65.9000	70.8820	70.8820
CO ₂ g/km	251.5333	259.9007	241.6333	259.9007	259.9007
CH ₄ g/km	0.0726	0.0175	0.1916	0.0175	0.0175
N ₂ O g/km	0.0022	0.0021	0.0004	0.0021	0.0021
NO _x (g/km)	2.1766	2.8072	2.2987	2.8072	2.8072
CO (g/km)	29.0214	3.5090	1.5324	3.5090	3.5090
NMVOc (g/km)	5.4415	0.7018	0.0192	0.7018	0.7018

Çizelge 4.10. Çalışma alanı mesafeye bağlı ortalama emisyon faktörü.

Emisyon Faktörü (EF)	Otomobil			Minibüs	Kamyon, Tır
	Yakıt Türü	Benzin	Dizel	LPG	Dizel
ton C/km	0.300	0.423	0.426	0.236	0.060
ton CO ₂ /km	1.100	1.551	1.564	0.867	0.220
ton CH ₄ /km	0.000318	0.000104	0.001240	0.000058	0.000015
ton N ₂ O/km	0.00000962	0.00001253	0.00000259	0.00000701	0.00000178
ton NO _x /km	0.00952084	0.01674909	0.01487690	0.00936482	0.00238051
ton CO/km	0.12694476	0.02093637	0.00991750	0.01170602	0.00297563
ton NMVOc/km	0.02380209	0.00418727	0.00012426	0.00234120	0.00059513

Çizelge 4.11. Çalışma alanı toplam sera gazı emisyonları.

Emisyon	Otomobil			Minibüs	Kamyon, Tır	Toplam CO ₂ Emisyonu (ton/gün)
	Benzin	Dizel	LPG	Dizel	Dizel	
ton C	2.401	3.383	3.412	1.892	0.481	-
ton CO ₂	8.802	12.406	12.511	6.936	1.763	42.42
ton CH ₄	0.003	0.001	0.010	0.000	0.000	0.29
ton N ₂ O	0.000077	0.000100	0.000021	0.000056	0.000014	0.08
ton NO _x	0.076167	0.133993	0.119015	0.074919	0.019044	
ton CO	1.015558	0.167491	0.079340	0.093648	0.023805	
ton NMVOC	0.190417	0.033498	0.000994	0.018730	0.004761	
TOPLAM						42.79

Karabük il merkezi ile Safranbolu ilçesini birbirine bağlayan otoyollar için günlük toplam CO₂ eşdeğeri emisyon miktarı 42.79 ton olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Genel sonuçlar incelendiğinde bir aracın ilk çalışma anında fazla yakıt harcadığı, 50 km/s hıza gelene kadar ise yakıt tüketimi harcamasının düştüğü, 50-90 km/s aralığında sabit devam ettiği ve 90 km/s den sonra hız arttıkça yakıt tüketiminin de arttığı gözlemlenmiştir. Aracın ilk anlardaki çalışma şartları düşünüldüğünde motorun gerekli ısıya ulaşması için belli bir yakıtı silindir içerisine alması gerektiğinden ilk anda ki yakıtın fazla harcanması beklenen bir durumdur. Çalışma koşulu için uygun ısı sağlandığında yakıt harcaması düşüşe geçecektir, araç 50-90 km/s arasında ki hızı yakaladığında motor kararlı ve sakin bir devirde çalışmaya başladığı için yakıt tüketimi uygun devam edecektir. 90 km/s hızdan sonra yakıt tüketimi artmaktadır aslında bunun açıklaması günümüz içten yanmalı motorların 2500-3000 devirleri arasında en verimli çalışmayı sağlayacak şekilde dizayn edilmesinden gelir. Ayrıca bir aracın hız haricinde; aracın kullanıldığı yol şartları, aracın ağırlığı, aerodinamik özellikleri, lastik basınçları gibi bir çok etken de yakıt harcamasını azaltıcı yada arttırıcı etki göstermektedir.

4.3. PUFF MODELİ SONUÇLARI

Dağılım Puff modelinin hesabının yapılabilmesi için EXCEL Tabanlı bir program geliştirilmiştir. Hazır programların oldukça pahalı olması sebebiyle bu çalışmada ele alınan CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO ve NMVOC kirleticileri için gauss-tabanlı puff modeli, tez çalışma alanı için programlanmıştır. Programda yakıt bazlı kirletici tipleri, hız, atmosfer koşullarına göre, yol eksenine çevresindeki kirliliği 0, 0.5, 1, 2, 4, 8 ve 10 metreler için hesaplamaktadır. Bu çalışma 24 saat boyunca araç sayılarına bağlı olarak değişebilmektedir. Aşağıda farklı saat aralıkları, farklı günler (hava koşulları, rüzgar hızı ve atmosfer stabilitesine göre) ve günlük kirlilik dağılımları hesaplanarak yol boyunca kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Modelin ilk versiyonu tek nokta için hesaplamaları yapmak üzere hazırlanmıştır. Kullanılan PUFF modeli ise Can (2019) tarafından saat, araç tipi, hızı, yol güzergahı olmak üzere geliştirilmiştir [87]. Modelimiz için kullanılan EXCEL Tabanlı program ekranı aşağıda gösterilmiştir. Parametrelerin seçilmesi, formül detayları ve kirleticiler için kodlar seçilerek program çalıştırılmaktadır (Şekil 4.8).

$$\Delta c = \frac{\Delta N}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_c}{\sigma_x}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-y_c}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-z_c}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

Δc : puff'un konsantrasyonu

ΔN : puff'un atmosfere salınan kütlesi (kg/Q*Δt)

σ_x : puff'un yatay standart sapması

σ_y : puff'un dikey standart sapması

x_c : puff merkezi ile reseptörün x koordinatındaki yer değişimi

y_c : puff merkezi ile reseptörün y koordinatındaki yer değişimi

z_c : puff merkezi ile reseptörün z koordinatındaki yer değişimi

Batchelor's formula:

σ_x : Yatay standart sapma

σ_z : Eddy dağılım oranı (the eddy dispersion rate)

t : Zaman

Puff'un hareket hızı u , 10' den az ise $z = \frac{u}{2}$

z_0 : Karşım yüksekliği

stability class	k1	k2	k3	k4	k5
A	0.25	927	0.189	0.102	-1.918
A-B	0.226	648.5	0.1755	0.0991	-1.0095
B	0.202	370	0.162	0.0962	-0.101
B-C	0.168	326.5	0.148	0.0842	0.0005
C	0.134	283	0.134	0.0722	0.102
C-D	0.10635	495	0.1345	0.05985	0.2835
D	0.0787	707	0.135	0.0475	0.465
E	0.0566	1.07	0.137	0.0335	0.624
F	0.037	1.17	0.134	0.022	0.7

Rüzgar Hızı (m/s)	Gündüz		Gece	
	Kuvvetli (Açık)	Moderate (Yarı açık)	Slight (Kapalı)	Cloud/Bulut (Kapalı)
<2	A	A-B	B	-
2-3	A-B	B	C	E
3-5	B	B-C	C	D
5-6	C	C-D	D	D
6+	C	D	D	D

NO	YK	NO	TIP
1	28	1	gC/lm (benzin)
2	28	2	gC/lm (dizel)
3	28	3	gC/lm (LPG)
4	44	4	CH4 g/lm (benzin)
5	44	5	CH4 g/lm (dizel)
6	44	6	CH4 g/lm (LPG)
7	55	7	N2O g/lm (benzin)
8	55	8	N2O g/lm (dizel)
9	55	9	N2O g/lm (LPG)
10	100	10	NOx g/lm (benzin)
11	100	11	NOx g/lm (dizel)
12	100	12	NOx g/lm (LPG)
13	100	13	CO g/lm (benzin)
14	100	14	CO g/lm (dizel)
15	100	15	CO g/lm (LPG)
16	100	16	NMVOC g/lm (benzin)
17	100	17	NMVOC g/lm (dizel)
18	100	18	NMVOC g/lm (LPG)

TIP 18 NMVOC g/km (LPG) **Cevrim Faktörü**

HIZ 12 109 1

atmosfer durumu u(z) (m/s) Stability

2 1.1 A-B

Zi (m) To (K)

1230 282.05

Mesafe giriniz 8 km

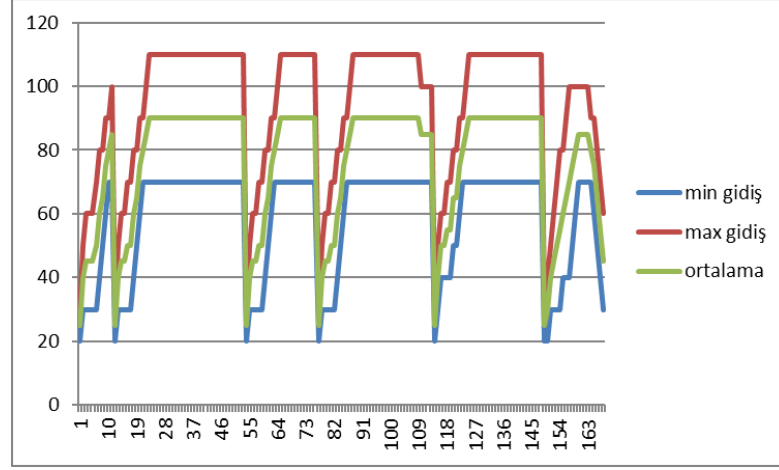
Şekil 4.8. Excel tabanlı PUFF programı ekran görüntüsü.

Program çalıştırıldığında seçilen mesafeler için kirlilik değerlerini araç bazlı veya çoklu araç için verebilmekte ve her bir nokta için hesaplanması gereken difüzyon katsayılarını da noktalar için hesaplayabilmektedir (Şekil 4.9).

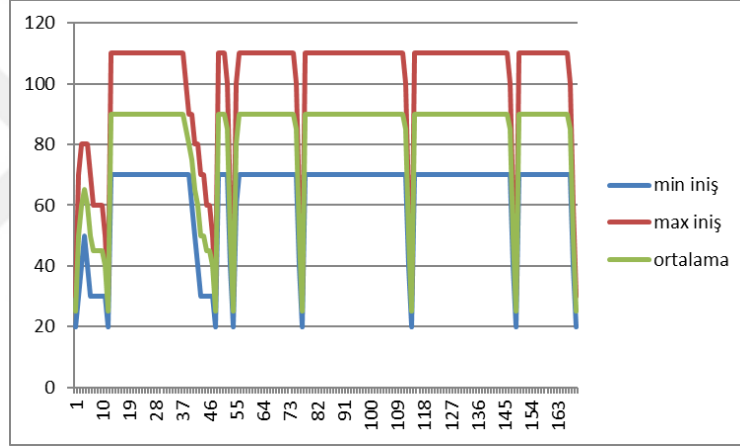
x	y	z	k2	k4	k5	σz (m)	EF (gC/km)	Q (kg)	Δt (s)	ΔM	1st section	2nd section	3rd section	4th section	ΔC
1	0.5	0.6	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.476	1.000	0.0168557844831
1	0.5	1	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.476	0.000	0.00000050117433
1	0.5	2	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.476	0.000	0.000000000000000
1	0.5	4	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.476	0.000	0.000000000000000
1	0.5	5	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.476	0.000	0.000000000000000
1	1	0	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.051	0.000	0.0000000000000211
1	1	0.6	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.051	1.000	0.0018195556493
1	1	1	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.051	0.000	0.000000000000000
1	1	2	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.051	0.000	0.000000000000000
1	1	4	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.051	0.000	0.000000000000000
1	1	5	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.051	0.000	0.000000000000000
1	2	0	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	2	0.6	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	1.000	0.000000021470762
1	2	1	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000735
1	2	2	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	2	4	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	2	5	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	4	0	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	4	0.6	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	1.000	0.000000000000000
1	4	1	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	4	2	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	4	4	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	4	5	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	8	0	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	8	0.6	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	1.000	0.000000000000000
1	8	1	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	8	2	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	8	4	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	8	5	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	10	0	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	10	0.6	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	1.000	0.000000000000000
1	10	1	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	10	2	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	10	4	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000
1	10	5	648.5	0.0991	-1.0095	0.0993	22.6710	0.1813678	1	0.1814	0.689	0.051	0.000	0.000	0.000000000000000

Şekil 4.9. Excel tabanlı CALL-PUFF programı çıktısı.

Karabük ilinde, (1.Nokta) Karabük Terminali Kavşağından (7.Nokta) Safranbolu Belediyesi Kavşağı arasına kadar olan 8.14 km mesafede toplam 169 noktada yol eğiminin değiştiği GOOGLE-EARTH görüntülerine göre hesaplanmış ve toplam katedilen mesafe km cinsinden kamera kayıtları ile özdeşleştirilerek hız tespiti 169 nokta için hem gidiş hemde dönüş olarak belirlenmiştir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de hız değerleri çalışma alanı için verilmiştir.



Şekil 4.10. Çalışma alanı için 169 noktadaki araç hız değişim grafiği (Karabük Terminali–Safranbolu).



Şekil 4.11. Çalışma alanı için 169 noktadaki araç hız değişim grafiği (Safranbolu - Karabük Terminali).

Bu çalışmada haritalama için 169 noktanın herbiri için Karabük terminali karşısındaki kavşak nokta 1 “0” km kabul edilerek, aşağıdaki veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) için elde edilmiştir (Şekil 4.12).

yer (m)	enlem değeri K	boylam değeri D	UTM-Enlem	UTM-Boylam	yükseklik (z) (m cinsi)
1.nokta	41°11'44.23"	32°37'21.55"	41.19561944	32.62265278	262
51	41°11'45.07"	32°37'23.39"	41.19585278	32.62316389	262
101	41°11'45.85"	32°37'25.21"	41.19606944	32.62366944	264
151	41°11'47.29"	32°37'28.09"	41.19646944	32.62446944	267
202	41°11'47.88"	32°37'28.79"	41.19663333	32.62466389	267
252	41°11'49.05"	32°37'30.20"	41.19695833	32.62505556	267
302	41°11'50.27"	32°37'31.51"	41.19729722	32.62541944	268
353	41°11'51.61"	32°37'32.62"	41.19766944	32.62572778	267
403	41°11'53.18"	32°37'33.91"	41.19810556	32.62608611	267
454	41°11'54.52"	32°37'35.02"	41.19847778	32.62639444	267
504	41°11'55.82"	32°37'36.18"	41.19883889	32.62671667	268

Şekil 4.12. Karabük Terminali-Safranbolu arası PUFF modeline tanımlanan her nokta için enlem, boylam ve yükseklik değerleri.

Meteorolojik ölçüm verileri (sıcaklık, rüzgar hızı, atmosfer basıncı, karışım yüksekliği, bulutluluk, yağış, nem, rüzgar yönü) puff modelin bir girdisidir. Bu verilere göre atmosfer stabilitesi tespit edilerek konsantrasyon değerleri hesaplanmaktadır. EXCEL programı basit bir yapıya sahip olmasıyla, bu kompleks formülasyonu hızlı bir şekilde çözümlenebilmektedir. Aşağıda örnek bir meteorolojik ölçümü gösterilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Alanda ölçülen meteorolojik veriler.

Sıcaklık (°C)	Rüzgar hızı (m/sn)	Rüzgar yönü (°)	Yağış (mm)	Bulut taban yüksekliği (m)	Bulutluluk (okta)	Basıncı (hpa)	Karışım yüksekliği (m)
8.9	1.1	234 / BGB	0	2500	2	966.1	1230

Program çalıştırıldığında noktasal konsantrasyon değerleri otomatik olarak aşağıdaki Çizelge 4.13'de verilen değerleri hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.13. Puff excel veri tabanı programında hesaplanan değerler.

H (W/m ²)	ω_x (m/s)	ϵ (m ² /s ³)	σh (m)
2.73255433	5.917393726	0.168455926	0.410434

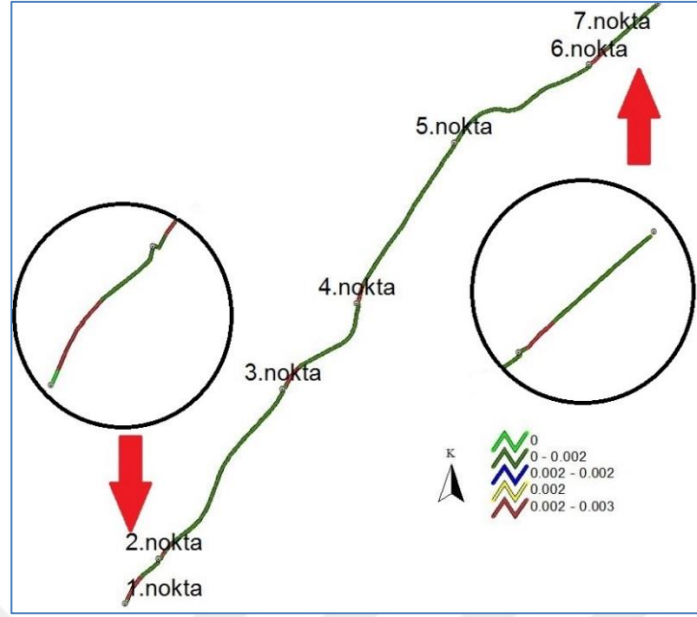
Çizelge 4.13'e göre yüzey ısı akısı 2.7 W/m^2 , karışım yüksekliğindeki hız 5.9 m/s eddy dağılım oranımız $0.17 \text{ m}^2/\text{s}^3$ ve yatay standart sapmamız 0.41 m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre Çizelge 4.14'de gösterildiği üzere benzinli tek binek araç için, yatay ekseninde 0.5 m mesafede, 0.6 ve 1 metre yerden yükseklikteki konsantrasyon değeri şekilde verildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Puff excel veri tabanı programında noktasal hesaplanan konsantrasyon değerleri ve o nokta için elde edilen değişken katsayıları.

x	y	z	k2	k4	k5	σ_z (m)	EF (gC/km)	Q (kg)	Δt (s)	ΔM	ΔC
1	0.5	0.6	648.5	0.099	-1.0095	0.0992543	81.14606107	2.38	1	2.380284	0.221216509
1	0.5	1	648.5	0.099	-1.0095	0.0992543	81.14606107	2.38	1	2.380284	0.000065774

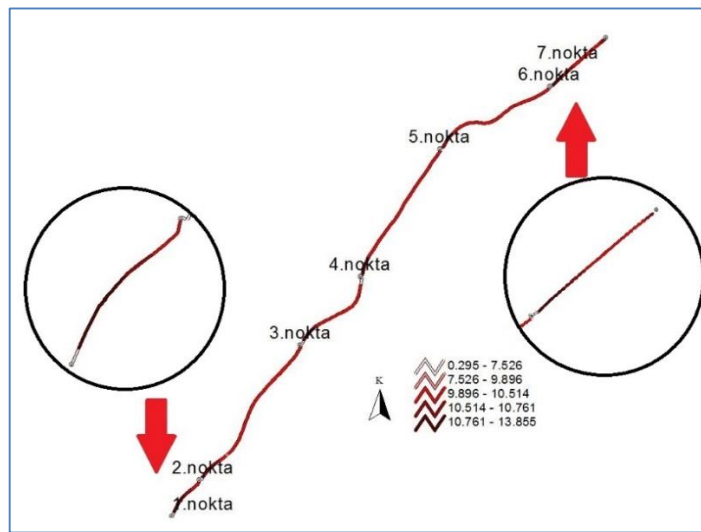
4.4. MODEL SONUÇ ÇIKTILARI

EXCELL tabanlı Puff modeli farklı günler, saatler için çalıştırılmış ve kirletici konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda farklı kirleticiler için çalışma alanındaki egsoz çıkış seviyesi, 0.6 m yerden yükseklikteki araçtan atılan kirletici emisyonuna göre $0, 0.5, 1, 2, 4, 8$ ve 10 metre aracın sağında ve solunda kirletici konsantrasyonu model çıktısı olarak, 8.14 km boyunca 169 noktadaki konsantrasyon değerleri (rakım değişim noktaları), minimum gidiş hızı, maksimum gidiş hızı, ortalama gidiş hızı, aynı yolun karşı tarafında minimum iniş hızı, maksimum iniş hızı ve ortalama iniş hızı için (169 noktadaki hız değerleri dikkate alınarak) yer seviyesi kirletici konsantrasyonları elde edilmiştir. Örneğin aşağıdaki grafikte çizgi koordinat olarak girilen benzinli, atmosfer durumu kararsız ve hava yarı kapalı, rüzgar hızı ortalama 2 m/s , karışım yüksekliği ortalama 572 m , atmosfer sıcaklığı 279 K ($6.7 \text{ }^\circ\text{C}$) olan bir ortamda aracın direk olarak eksozundan çıkan emisyonun gösterildiği grafikte 8.14 km için tek bir benzinli aractan çıkan emisyon verilmektedir. Özellikle kalkış anında emisyonlar yüksektir. 8.14 km boyunca minimum hız 20 km/s ve maksimum hız 70 km/s olarak minimum hızlarla gidiş konsantrasyonu verilmiştir. Maksimum konsantrasyon 0.003 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Grafikte kırmızı ile gösterilen bölgeler en yüksek emisyonlardır (Şekil 4.13).



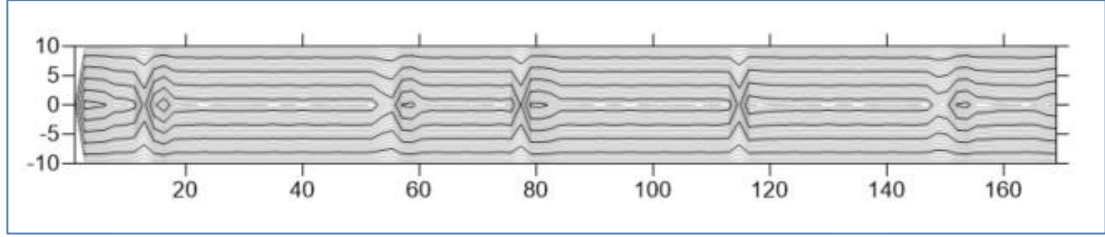
Şekil 4.13. Tek benzinli araç için kg C/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi konsantrasyon çizgi haritası.

Aynı gün aynı noktalardan geçen tüm benzinli araçlar için 24 saat sonunda yarattıkları yer seviyesi konsantrasyonu ise Şekil 4.14'de verilmiştir. Bir araç 0.003 C kg/m^3 lük bir konsantrasyon yaratırken; aynı noktalarda 24 saat sonunda atmosfer durumu değerleri ortalama değerler alınarak hesaplanmaktadır. Yaklaşık 13.85 C kg/m^3 konsantrasyon yaratmaktadır.



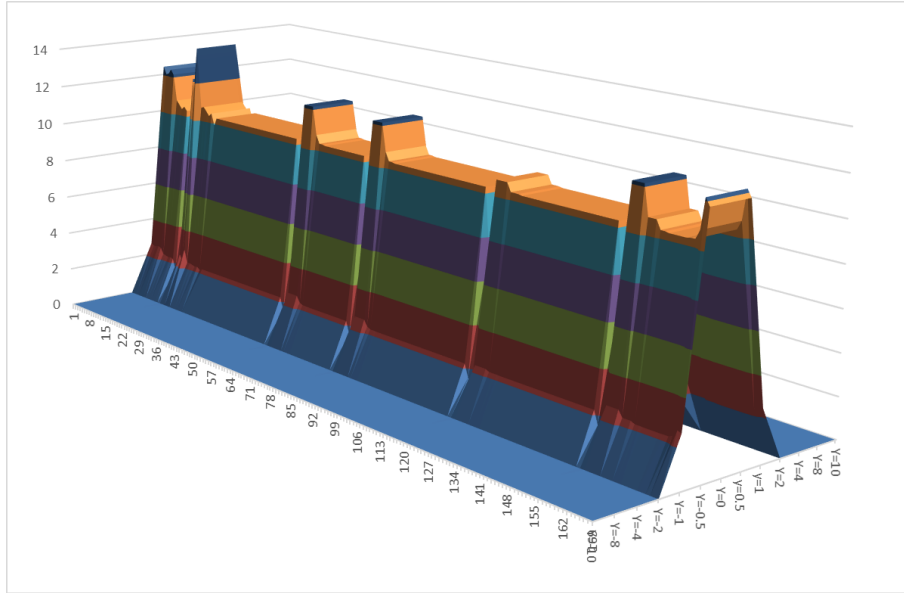
Şekil 4.14. 24 saatlik benzinli araçlar için kg C/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi konsantrasyon çizgi haritası.

24 saat sonunda yaratılan yer seviyesi konsantrasyonu ise Şekil 4.15’de 3 boyutlu olarak (yol genişliği 10 kat ölçeklendirilerek aşağıdaki şekilde verilmiştir. Aynı grafik surfer programı ile aracın sağında ve solunda kontur şeklinde figurize edilmiştir (Şekil 4.15). Kontur haritasının en orta noktası (O çizgisi) en yüksek konsantrasyon değerlerine sahiptir.



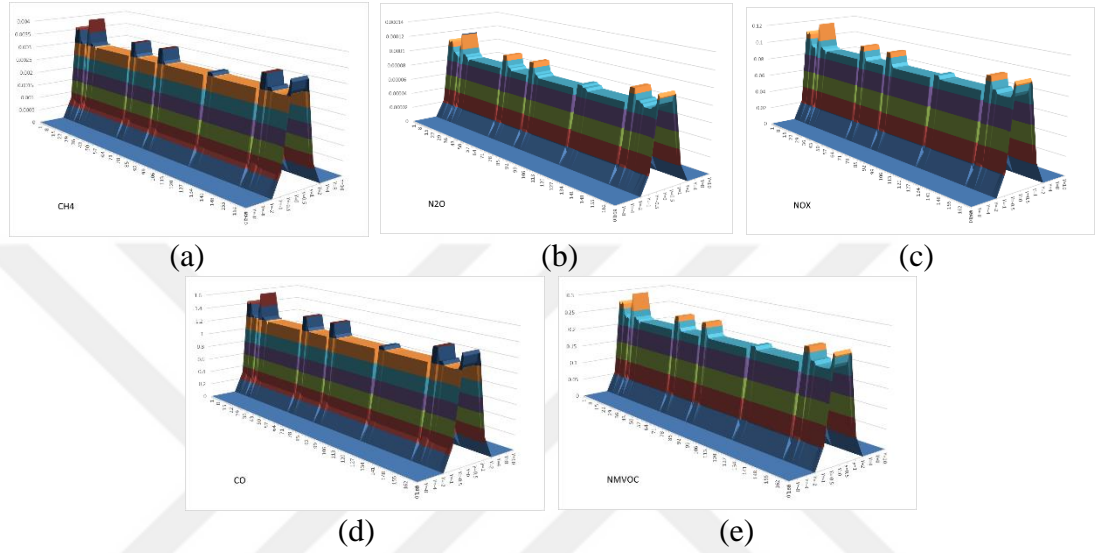
Şekil 4.15. 24 saatlik benzinli araçlar için kg C/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi kontur haritası.

Kontur haritasının üç boyutlu görüntüsü ise Şekil 4.16’da verilmiştir. Aşağıdaki şekilde “x” eksen noktaları, “z” eksen 10 kat ölçeklendirilmiş aracın sağ ve sol tarafını, Y eksen ise kirliliği göstermektedir.



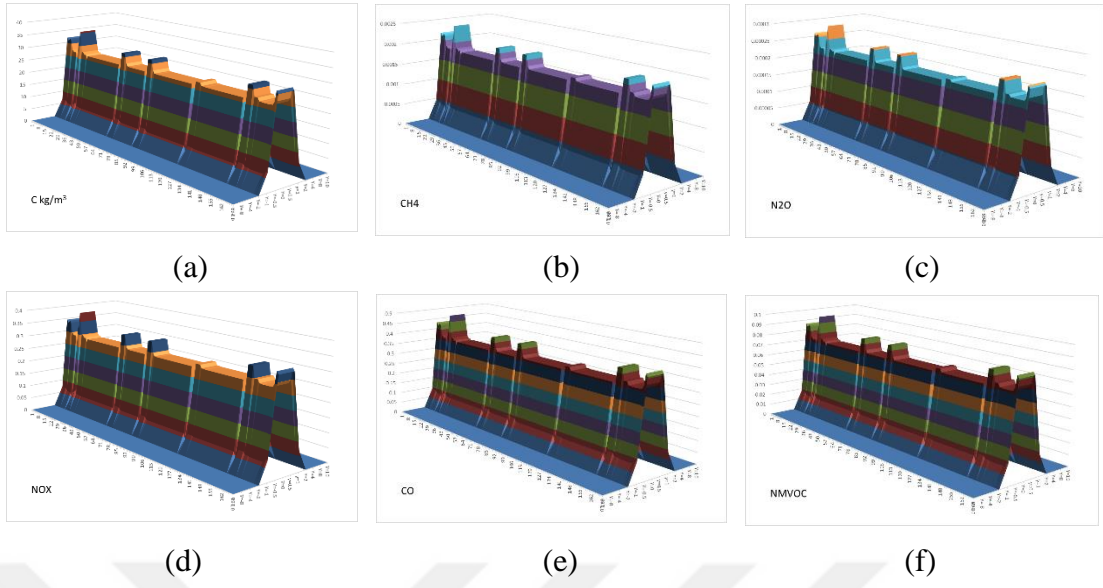
Şekil 4.16. 24 saatlik benzinli araçlar için kg C/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı.

Aynı gün benzinli araçlar için diğer kirleticiler üç boyutlu görüntüsü ise Şekil 4.17’de verilmiştir. Aşağıdaki şekilde birimler kg/m^3 ’tür. Şekil incelendiğinde sırasıyla en yüksek konsantrasyonlar CH_4 , N_2O , NO_x , CO ve NMVOC için yaklaşık 0.004, 0.00012, 0.12, 1.6 ve 0.3 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. En yüksek değerler araç eksozundan çıktıktan sonraki değerlerdir.



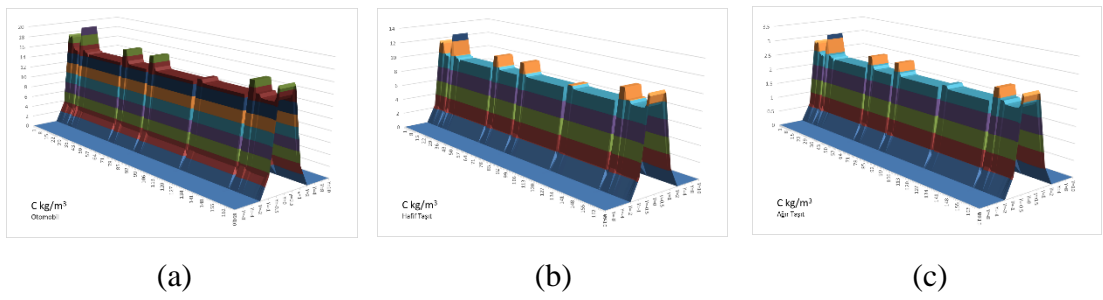
Şekil 4.17. 24 saatlik benzinli araçlar için kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı a) CH_4 , b) N_2O , c) NO_x , d) CO , e) NMVOC .

Aynı şekilde dizel araçlar için kirleticilerin üç boyutlu görüntüleri ve model sonuçları incelendiğinde, maksimum kirlilik değerlerine, araçların bekleme yaptığı ve sonrasında hareket ettiği kavşak ışıklarında rastlanmaktadır. C konsantrasyonu 35.66 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Bunun anlamı, CO_2 konsantrasyonunun 130.74 kg/m^3 olarak hesaplanacağıdır. Dizel kaynaklı tüm araçlardan kaynaklanan en yüksek kirletici konsantrasyonları sırasıyla CH_4 , N_2O , NO_x , CO ve NMVOC için, 0.0024, 0.0003, 0.385, 0.48, 0.096 kg/m^3 şeklindedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. 24 saatlik dizel araçlar için kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı. a) C, b) CH_4 , c) N_2O , d) NO_x , e) CO f) NMVOC.

Dizel araç tiplerine göre otomobil, hafif taşıt ve ağır taşıtlardaki kaynaklanan en yüksek toplam C konsantrasyonu sırasıyla 19.54, 12.96, 3.16 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. En yüksek emisyon araç sayılarından dolayı otomobillerden kaynaklanmaktadır. Emisyon faktörleri ortalama değerler olarak kullanıldığından kamyon emisyonları normalde daha fazla olması gerekirken, diğerlerine göre daha az çıkmıştır.

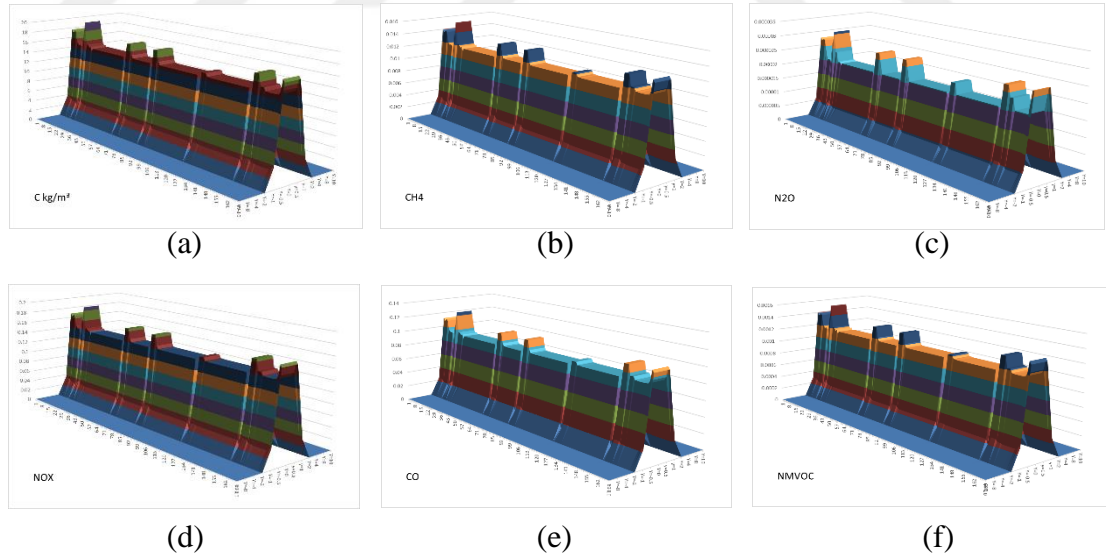


Şekil 4.19. 24 saatlik dizel araçlar tiplerine göre C kg/m^3 cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı a) Otomobil, b) Hafif taşıt, c) Ağır taşıt.

LPG'li araçlar için ise CO_2 konsantrasyonu 72.2 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. LPG'li tüm araçların yarattığı en yüksek kirletici konsantrasyonları sırasıyla CH_4 , N_2O ,

NO_x, CO ve NMVOC için, 0.016, 0.00003, 0.19, 0.13, 0.0016 kg/m³ şeklindedir (Şekil 4.20).

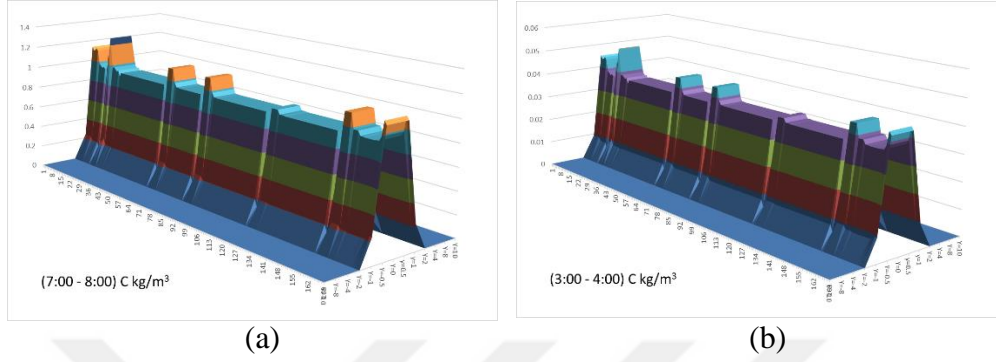
Sonuçlar incelendiğinde en önemli kirleticinin CO₂ konsantrasyonu olduğu görülmektedir. Araç egzozundan atılan gazın yarattığı, birim hacimdeki CO₂ konsantrasyonu diğer kirleticilere göre oldukça yoğundur. Bu yoğunluk en çok araç egzozunun ilk atım aşamasında, aracın sağında ve solunda 0.5 m 'lik mesafede model çıktısı olarak hesaplanmıştır. Bu değerler EPA için oldukça yüksek değerlerdir. Ancak çoğunlukla ölçüm yerleri anayol üstü olmadığı için difüzyon etkisiyle konsantrasyon yol kenarlarına kadar oldukça düşmektedir. Yapılan çalışmada CO₂ konsantrasyonunu benzinli ve dizel araçlarda CO konsantrasyonu takip etmektedir. CO boğucu bir gaz olması sebebiyle çevrede yaratacağı etki tehlikelidir. LPG'li araçlarda CO₂ kirleticisini NO_x kirleticisi takip etmektedir. Motor haznesinde LPG'nin gaz fazında yüksek oranda hava ile karışmasının sonucu olarak NO_x emisyonu fazlasıyla atmosfere atılmaktadır. Yüksek oranda atılan NO_x sonrasında bulunduğu ortamın konsantrasyon değerini de artırmaktadır.



Şekil 4.20. 24 saatlik LPG'li araçlar için kg/m³ cinsinden 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı. a) C, b) CH₄, c) N₂O, d) NO_x, e) CO, f) NMVOC.

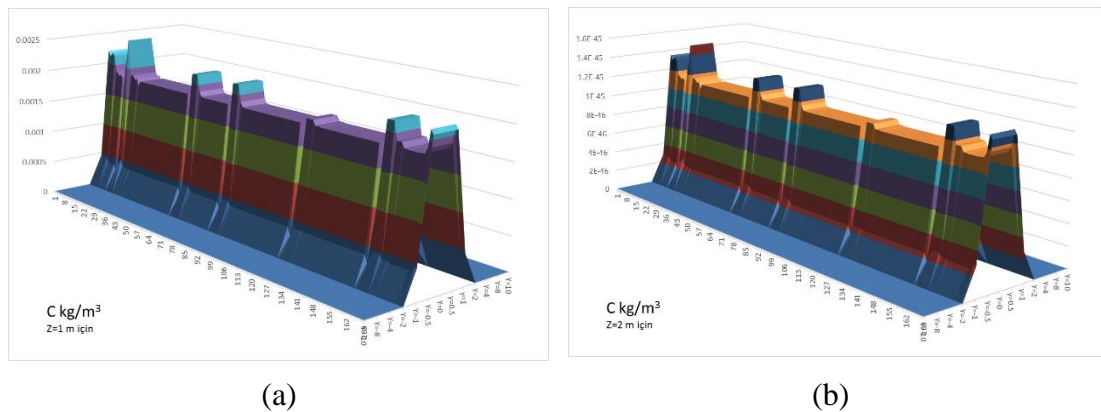
Kirleticilerin saatlik konsantrasyonları araç sayılarına bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda 24 saatlik bilgisi verilen gün için; en yüksek (saat 7:00-8:00 aralığı) ve en

düşük (saat 3:00-4:00 aralığı), benzinli araçlardan kaynaklanan C konsantrasyon grafiği incelendiğinde, araç sayılarının, aracın hızı kadar önemli olduğu net olarak şekillerde görülmektedir (Şekil 4.21).

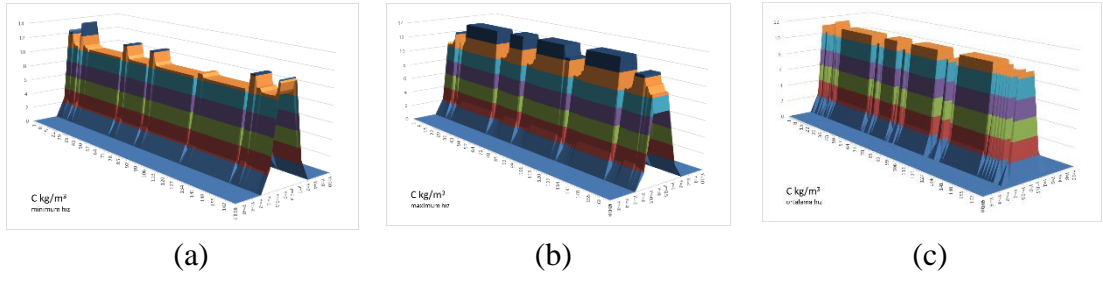


Şekil 4.21. Benzinli araçlar için çalışma alanında günün en yüksek a) saat 07:00-08:00 ve en düşük b) saat 03:00-04:00 araç seyirine göre 0.6 m yer seviyesi 3 boyutlu konsantrasyon dağılımı.

Kirleticilerin atmosferde gidiş yönüne göre yer seviyesinden 1 ve 2 metrede yaratılan konsantrasyon değerleri incelendiğinde Z=0.6 metre seviyesindeki değerler daha düşük ve yer seviyesinden yükseklik arttıkça da düştüğü görülmektedir. Örneğin Şekil 4.16’da egsoz seviyesi olarak kabul edilen z=0.6 m’deki C konsantrasyonu 13.85 kg/m³ iken, Şekil 4.22’de görüldüğü üzere, Z=1 ve Z=2 m için konsantrasyon değerleri sırasıyla 0.0025 ve \cong 0.0000 (düşük değer) şeklindedir.



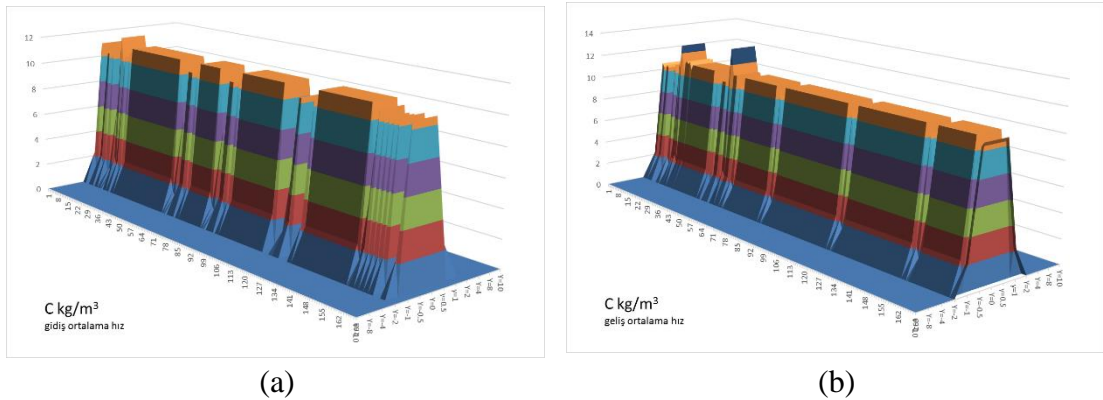
Şekil 4.22. Benzinli araçlar için çalışma alanında aynı anda atmosferde a) 1 ve b) 2 metrelerde yaratılan C konsantrasyonu.



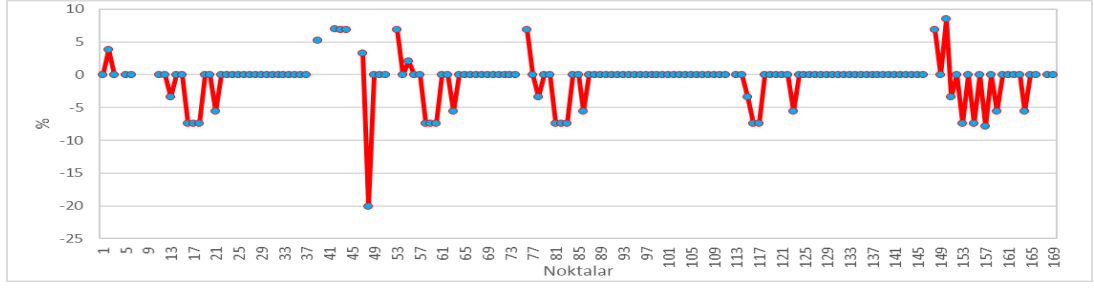
Şekil 4.23. Benzinli araçlar için çalışma alanında farklı hızların yarattığı konsantrasyon a) Minimum hız, b) Maksimum hız, c) Ortalama hız.

Araçların minimum, maksimum ve ortalama hızlarda hareket etmeleri durmunda yaratılan konsantrasyon da değişmektedir. Şekil 4.23’de görüldüğü üzere, minimum ve maksimum hızların yarattığı en yüksek C konsantrasyonu hıza bağlı olarak sırasıyla 13.85 ve 13.75 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Eğer araçlar ortalama bir hızla çalışma sahasında hareket edelerse, bu durumda maksimum C konsantrasyonu 11.12 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.23).

Aynı güzergahta araçların giderken ve gelirken emisyon değerleri de değişmektedir. Aşağıda ortalama hızlara göre hesaplanan gidiş geliş emisyon grafikleri verilmiştir. Nokta etiketleri gidiş ve geliş için aynıdır. Safranbolu-Karabük arası araçların daha çok yokuş inmesi sebebiyle minimum ve maksimum hızlar değişmektedir (Şekil 4.24). Bu durumda geliş C emisyonu, gidiş C emisyonuna göre %13.93 daha yüksek hesaplanmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.24. Benzinli araçlar için Karabük-Safranbolu arası gidiş ve geliş C konsantrasyonu a) Gidiş ortalama hız, b) Geliş ortalama hız.



Şekil 4.25. Karabük-Safranbolu arası gidiş ve geliş aynı noktadaki hız farkları değişimleri.



BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın en önemli çıktısı, karayolu kaynaklı emisyonların hesaplanması için, emisyon faktörleri'nin (EF), ülkeye özel üretilmesidir. Özellikle ulusal emisyon envanterleri hazırlanırken; ülkelerin antlaşmalar kapsamında kabul edilmiş, en uygun metodolojiyi kullanarak emisyon hesaplamalarını yapmaları gerekmektedir. Ancak ülkelerin “*Anahtar Emisyon Kaynağı*” olarak sınıflandırdıkları enerji sektörü emisyonları IPCC değerleri aralığında olmak koşulu ile ülke emisyon faktörlerinin geliştirilerek, metodolojinin CS (Country Specific) koşuluna göre ülkeye özel hesaplanması istenmektedir. Bu IPCC metodolojisinin bir üst kategori olarak adlandırılan T2-T3 metodunun uygulanması için gerekli olan koşuldur. Çalışma Ülkemiz taraf olduğu “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” ve “Kyoto Protokolü” kapsamında, anahtar bir emisyon kaynağı olan karayolu kaynaklı emisyon hesaplamalarına çok önemli bir katkı sağlayacaktır. Ülkemizde bu detayda bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca yurtdışında yapılan çalışmalar ise belli başlı kirleticilere odaklanmış, çoğunlukla birkaç kirletici için çalışılmıştır. Karabük ilindeki araç tiplerine göre araçlardan salınan, direk seragazi emisyonları ve iklim üzerindeki etkisi Can [84] tarafından çalışılmıştır. Ancak, emisyon hesabı haricinde çalışma ilk olma özelliği taşımaktadır. Puff modeli için değişkenler tamamen çalışma alanında yapılan ölçümler ile üretilmiş ve ortalama sıcaklık, basınç, nem ölçüm değerleri meteorolojik veriler ile uyumluluğu kontrol edilmiştir. EXCELL ortamında macro yazılımlar ile Can [87] programlanmıştır.

Farklı hızlardaki anlık yakıt tüketimlerine bağlı kalınarak hız-yakıt ilişkisi kurulup, hız-emisyon ilişkisi hesaplanmıştır. Çalışma ölçümler için belirlenen yol boyunca yaratılan toplam emisyon, araç sayılarına bağlı kalınarak hesaplanmıştır. Araç sayıları saatlik dilimlerde 24 saatlik kamera görüntüleri ile elde edilmiştir. Resmi İstatistik Verilerinden (TÜİK) elde edilen araç tiplerine göre yakıt kullanım oranları

ile, çalışma sahasında sayılan araçlar yakıt tiplerine göre ayrıştırılmıştır. Otomobillerin %26'sı benzin, geriye kalan %35 ve %36 sırasıyla dizel ve LPG kullanmaktadır. Minibüs, kamyonet ve kamyonların tamamının dizel kullandığı varsayılmıştır. Bu varsayımlara göre, Karabük il merkezi ile Safranbolu ilçesini birbirine bağlayan otoyollar için günlük toplam CO₂ eşdeğeri emisyon miktarı 42.79 ton olarak hesaplanmıştır.

Hız-emisyon faktörü arasındaki fonksiyonlar da bu çalışmadan elde edilmiş önemli bir çıktıdır. Değişkenler arası yüksek korelasyon, fonksiyonel tahmine göre kirleticiler için benzin, dizel ve LPG kaynaklı emisyonların hesaplanmasında doğru sonuç elde edilebileceğini göstermektedir. İstatistiksel olarak yapılan analizlerde R-kare değeri oldukça yüksek elde edilmiştir.

PUFF modeli detaylı bir analiz yapabilmektedir; ancak saatlik ve/veya günlük olarak konsantrasyon değerlerinin hesaplanması birçok parametreye bağlıdır. Bu yüzden parametrelerin bir kısmı saha çalışmaları ile derlenmiştir. Araç sayılarının mutlak konsantrasyon üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. Çalışma her yola uygulanabilir. Model yüksek güvenilirlikte bir sonuç vermesinden dolayı araç emisyonlarının yarattığı yer seviyesi konsantrasyonlar için yüksek kalitede değerler elde edilmektedir.

Tüm bu sonuçlara göre sadece, Karabük ilinde araçlardan yaratılan günlük CO₂ eşdeğeri emisyon 0.4 kton/gün ve yıllık 0.15 milyon ton civarındadır. Bu rakam Türkiye'den atılan toplam emisyona göre belki oldukça az görülebilir. Ancak sadece 8.14 km'lik yüksek yoğunlukta bir yoldan yaratılan emisyonun yarattığı kirlilik Türkiye'nin % 0.35'ine denk gelmektedir. Bu rakam aslında oldukça büyük bir rakamdır.

Günümüzde elektrikli araçlar taşıt emisyonlarının kontrolü için çözüm olarak görülmektedir. Ancak, elektriği termik santrallerden üretiliyorsa; hava kirliliği başka bir noktaya taşınmaktadır. Kullandığımız yakıtın kömür olması durumunda; emisyon, 2.5 kat daha artmaktadır. Doğal gaz kullanıldığında ise, emisyon genel enerji denklıklarinde de ifade edildiği gibi, kayıplarla beraber hemen hemen aynı

kalmaktadır. İhtiyaç duyulan bu tip enerjilerin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması gerekmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın temelini oluşturan ekonomi, sosyal ve çevre unsurlarının dengeli bir şekilde geliştirilmesini hedefleyen ülkelerin, çevreye karşı duyarsız olması hiçbir zaman düşünülemez. Bu kapsamda, gelişmiş ülkelerin tamamında, gelişmekte olan ülkelerin ise büyük bir çoğunlunda çevre vergisi adı altında, çevreye verilen zarara karşı, yerel yönetimler tarafından, sanayiden, ticarethanelerden, hanelerden ve her türlü işletmelerden alınmaktadır. Vergilerin amacı çevreye yatırım sağlayan bir kaynak yaratılmasıdır. Çevre vergilerinden toplanan “kirleten öder” prensibine dayanan vergiler, ülkemizin emisyon olarak 500 milyon tonluk CO₂ eşdeğer bir emisyonu atmosfere saldığı bir ortamda yeterli olmamaktadır.

Atmosfere salınan 1 ton CO₂ eşdeğer emisyon, 25-30 \$/ton olarak borsalarda artık alım satımı yapılabilmektedir. Ancak, Ülkemizde carbon ticareti yapılamamaktadır. Bunun gerekçesi ülkemiz uluslararası antlaşmalar kapsamında, özellikle 2009 yılında Kyoto protokolünü imzalarken emisyon indirgeme taahhüdünde bulunmamasıdır.

Ülkemizde her yıl kirletici kaynaklarından atmosfere artan bir oranda emisyon salınımı yapılmaktadır. Enerji kaynaklarımızın hızla tükendiğı bir ortamda, karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar, araç sayıları ile orantılı olmasada, artış eğilimi göstermektedir. Bu çalışmada anlık yakıt tüketim miktarına ve farklı araç hızlarına bağlı olarak değışen emisyon faktörleri çalışılmış olup benzin, dizel ve LPG’li araçların atmosfere saldığı emisyonların ve konsantrasyonların nasıl bir değışim gösterdiğı yorumlanmaktadır.

Bu çalışma, aşağıda sıralanmış ek çalışmalar yapılarak genişletilebilir:

- Karabük ili sınırlarından Safranbolu ilçesi merkezine kadar olan yol için yapılan bu çalışma, ülkemizde birçok karayoluna uygulanabilir.
- Geliştirilen PUFF modeli ile farklı yol koşullarındaki emisyonlar ve yer seviyesi konsantrasyonları hesaplanarak, elde edilecek çıktılardan bir hava kirliliğı veritabanı oluşturulabilir.

- Farklı dağılım modeli çıktıları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, model performansı değerlendirilebilir. Bu çıktılar girdi olarak, programlanan PUFF modeline entegre edilebilir.
- Modelin çok değişkenli bir yapısı bulunmaktadır. Değişkenlerin model üstündeki etkileri ve değişken hassasiyeti istatistiksel olarak çalışılabilir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrikli araçlar kullanıldığında, iklim değişikliği üstündeki etkisi hesaplanarak, kalkınma planlarındaki hedeflere ne kadar yaklaşıldığı hesaplanabilir.
- Ekonomik boyut çevresel çalışmaları kısıtlayan en büyük etmendir. Çalışma ile araçlardan atmosfere salınan emisyonlara yönelik, çevre vergileri arasında bir bağlantı kurularak, birim emisyon maliyeti ve birim emisyon vergisi Ülkemiz için hesaplanabilir.

Bu kapsamda üretilecek tüm çevresel veriler, yerel yönetimler ve idareciler tarafından çevresel planlamalar ve karayolu planlamalarında kullanılacak veriler olup; kalkınma planlarında çoğunlukla üzerinde durulan karayolu kaynaklı kirleticilerin yorumlanmasına çok büyük destek sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda yapılmış olan bu çalışmanın çıktıları, ülkemiz çalışmalarında kullanılmak üzere ilgili kurumlar ile de paylaşılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Chen, B., Song, Y. and Kwan, M., “How do people in different places experience different levels of air pollution? Using worldwide Chinese as a lens”, *Environmental Pollution Elsevier Journal*, 874-883 (2018).
2. Demirarslan, K. O., “Kocaeli ili körfez ilçesi konut kaynaklı CO ve NOx emisyon dağılımlarının farklı modeller yardımıyla değerlendirilmesi”, *Doğal afetler ve çevre dergisi*, Cilt:1 Sayı:1-2 Sayfa:66-73 (2015).
3. Erdoğan, E., “Sanayi kaynaklı hava kirliliğinde modellerin kullanımının karar verme sürecindeki rolü”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-25 (2012).
4. Kudal, S., “Hava kirliliğinin çevresel ve mekansal modellenmesi, analizi ve tematik haritalarla görselleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-18 (2009).
5. Koca, H. ve Elbir , T., “Bir üniversite yerleşkesi içinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kalitesinin belirlenmesi”, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, İzmir, 45-54 (2013).
6. Yürük Kavak, R., “Trafik yoğunluğunun enerji tüketimi ve hava kirliliğine etkilerinin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-32 (2010).
7. İskender, S., Bolu, F. ve Yılmaz, M., Mayda, A., “Düzce hava kalitesi izleme istasyonu 1 ekim 2011- 31 mart 2015 tarihleri arasındaki verilerinin incelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Düzce, 161-167 (2016).
8. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2018 Dünya Enerji İstatistik Görünümü Raporuna Göre Dünya Kömürden Vazgeçmedi”, http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=124123&tipi=17&sube=0 (2018).
9. Demir, İ., “Kyoto protokolü amaçlarına ulaşabilme yolunda dünya enerji kullanımında meydana gelebilecek değişiklikler”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 8/2*, Ankara, 241-251 (2006).
10. Yılmaz, Z.,”Türkiye’nin Mevcut Enerji Durumu”, *Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü*, Sivas (2018).
11. Coşkun, A., “Şehir atmosferinde taşıt emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 23-59 (2008).

12. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, “2011 Hava Kalitesi İstatistikleri”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=8663>, (2018).
13. İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Ekim 2014, Hava Kalitesi”, <http://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editedosya/2014ekim.pdf>, (2018).
14. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, “Ulusal Seragazı Emisyon Envanteri Raporu 1990 2009”, http://www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=3&KITAP_ID=243, (2018).
15. İnternet: EPA Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency),”Air Pollution in Turkey”, <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/turkey#tab-see-also>, (2018).
16. Elbir, T., Bayram, A., Kara, M., Altıok, H., Seyfioğlu, R., Ergün, P., Şimşir S.,”İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi”, *DEU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, İzmir, Cilt 12 Sayı 1 1-17 (2010).
17. İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Ulusal Hava Kirleticileri Emisyon Envanteri”, <http://cygm.csb.gov.tr/ulusal-hava-kirleticileri-emisyon-envanteri---national-air-pollutants-emission-inventory-i-81051>, (2018).
18. İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “ Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı”, <http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality>, (2018).
19. Özer, F., “Karabük’te doğal gaz kullanımının hava kirliliğinin azaltılmasına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 38-41 (2013).
20. Özdalyan , B., Çelik, M: B., Kadı , İ., “Karabük’te hava kirliliği ve çözüm önerileri”, *Jestech Teknoloji Dergisi*, Karabük, Sayı 3-4, 51-56 (2001).
21. İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Dinamik Tablo”, <http://laboratuvar.cevre.gov.tr/Default.ltr.aspx> , (2018).
22. Hacısalihoglu, İ. Y., “Karabük’te hava kirliliği” *Türk Coğrafya Dergisi*, İstanbul, Sayı 29, 475-494 (1994).
23. Ilten, N., “Investigating the impacts of some meteorological parameters on air pollution in Balıkesir”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 140:267-277 (2008).
24. Barzyk, T. M., Isakov, V., “A near-road modeling system for community-scale assessments of traffic-related air pollution in the United States”, *Environmental Modelling and Software Elsevier Journal*, 46-56 (2015).

25. Jin, Taosheng., “Application of GIS to modified models of vehicle emission dispersion”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 6326-6333 (2005).
26. Cuci, Y., Polat Ergün, E., “Gaziantep’in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi”, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), (2015).
27. Zeng, Y., Cao, Y., Qiao, X.,” Air pollution reduction in China: Recent success but great challenge for the future”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 329-337, (2019).
28. İnternet: Çevre Anlaşmaları, “Ülkemizin Taraf Olduğu Başlıca Çevre Anlaşmaları”, <http://www.mfa.gov.tr/data/DISPOLITIKA/Anlasmalar.pdf> , (2019).
29. Çapraz, Ö.,”İstanbul’da 2007-2012 yılları arasında hava kirliliğinin ölümler üzerindeki etkilerinin modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 22-26 (2013).
30. Sümer, Ç. G., “Hava kirliliği kontrolü: Türkiye’de hava kirliliğini önlemeye yönelik yasal düzenlemelerin ve örgütlenmelerin incelenmesi”, İnönü Üniversitesi İİBF Kamu Yönetimi Bölümü, *Tübitak Ulakbim DergiPark*, (2014).
31. Ayed, S., Tomic, M., Zivkovic, P., “A specific approach for estimating traffic-induced urban pollution”, *Polish Journal of Environmental Studies*, Pages 2739-2744, (2015).
32. Cuci, Y., Polat, E. E., “Gaziantep ‘in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi”, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Kahramanmaraş, 18(2), (2015).
33. Demirarslan, K. O., Doğruparmak, Ş., Karademir, A., “Evaluation of three pollutant dispersion models for the environmental assessment of a district in Kocaeli, Turkey”, *Global Nest Journal*, (2016).
34. Demirarslan, O. K., Doğruparmak, Ç. Ş., “Kocaeli ili körfez ilçesi konut kaynaklı CO ve NO_x emisyon dağılımlarının farklı modeller yardımıyla değerlendirilmesi”, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, Kocaeli, Cilt 1 Sayı 1-2 Sayfa 66-73, (2015).
35. Elbir, T., Bayram, A., Kara, M., Altıok, H., Ergün, P., “İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, İzmir, Cilt 12 Sayı 1 Sayfa 1-17, (2010).
36. Gümrükçüoğlu, M., Soylu, S., “Adapazarı’nda ısınma kaynaklı hava kirliliğinin incelenmesi”, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Antalya, (2011).

37. Holnicki, P., Kaluszko, A., Trapp, W., “An urban scale application and validation of the calpuff model”, *Atmospheric Pollution Research Elsevier Journal*, Pages 393-402, (2016).
38. Kılıç, A., “Gemilerden kaynaklanan egzoz yayılımları ve dağılım modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-3 (2006).
39. Kılıç, A., Kum, S., Ünal, A., Kındap, T., “Marmara bölgesi’ndeki hava kirliliğinin modellenmesi, kirlilik azaltımı ve maruziyet analizi”, *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, İstanbul, Cilt 16(1) 27-46, (2014).
40. Özmen, S., “Taş ocağı partikül madde emisyonlarının modellenmesi”, Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi 2, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2016).
41. Snyder, G. M., Venkatram, A., Heist, K. D., Petersen, B. W., “Rline: a line source dispersion model for near-surface releases”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, Pages 748-756, (2013).
42. Tartakovsky, D., Stern, E., Broday, M. D., “Comparison of dry deposition estimates of aermod and calpuff from area sources in flat terrain”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, Pages 430-432, (2016).
43. Taşpınar, F., Bakoğlu, M., “İzmit klinik ve tehlikeli atıkları yakma ve enerji üretim tesisi’nden atmosfere verilen azot oksit emisyonlarının dağılımının modellenmesi”, *V.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 365-379, (2003).
44. Venkatram, A., Isakov, V., Thoma, E., Baldauf, R., “Analysis of air quality data near roadways using a dispersion model”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, Pages 9481-9497, (2007).
45. Zhai, X., Russell, G. A., Sampath, P., Mulholland, A. J., “Calibrating R-line model results with observational data to develop annual mobile source air pollutant fields at fine spatial resolution: application in Atlanta”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, Pages 446-457, (2016).
46. Erdoğan, E., “Sanayi kaynaklı hava kirliliğinde modellerin kullanımının karar verme sürecindeki rolü”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2012).
47. Coşkun, A., “Şehir atmosferinde taşıt emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).
48. Yüksek, Levent., “Dizel motorlarında ısı salımının azot oksit emisyonlarına etkisinin teorik ve deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).

49. Pekin, M.A., “Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
50. Koca, H., Elbir, T., “Bir üniversite yerleşkesi içinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kalitesinin belirlenmesi”, *Hava Kirliliği Araştırma Dergisi 2*, 45-54, İzmir, (2013).
51. Soruşbay, C., Ergeneman, M, Pekin, M.A., “Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonları: Türkiye'deki durumun değerlendirilmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
52. Zhaofeng, T., Keding, L., Meiqing, J., “Daytime atmospheric oxidation capacity in four Chinese megacities during the photochemically polluted season: a case study based on box model simulation”, Atmospheric Chemistry and Physics, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*
53. Shekarrizfard, M., Hatzopoulou, M., “Integrating a street-canyon model with a regional Gaussian dispersion model for improved characterisation of near-road air pollution”, 21-31, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, (2017).
54. Apiratikul, R., “Approximation formula for the prediction of downwind distance that found the maximum ground level concentration of air pollution based on the gaussian model”, 1257-1262, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*.
55. Macit, M.B., Gümrükçüoğlu, M., “Determination of industrial sulfur dioxide emissions and mapping by geographic information system”, 549-558, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, (2012).
56. Luhar, A.K., Analytical Puff Modelling of Light-Wind Dispersion in Stable and Unstable Conditions, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 45, 2, 357-368, (2011).
57. Demirarslan, K.O.,”Puff dağılım modellemesi ve hava kalitesi değerlendirmesinde kullanımı” Artvin Çoruh Üniversitesi, *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 1-12, (2018).
58. İnternet: TÜİK 2019 Seragazı Emisyon Envanteri “1990-2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 1990-2010, 1990-2011, 2012, 2013, 2014, 1990-2015, 2016, 2017 Seragazı Emisyon İstatistikleri”, <http://tüik.gov.tr/OncekiHBArama.do.>, (2019).
59. Chen, B., Song, Y., Kwan, M., “How do people in different places experience different levels of air pollution? Using worldwide Chinese as a lens”, *Environmental Pollution Elsevier Journal*, 874-883, (2018).
60. Caravaggio, N., Caravella, S., Ishizaka, A., “Beyond CO₂ a multi-criteria analysis of air pollution in Europe”, *Journal of Cleaner Production Elsevier Journal*, 576-586, (2019).

61. Chong, H. S., Park, Y., Kwon, S., “Analysis of real driving gaseous emissions from light-duty diesel vehicles” *Transportation Research Part D Elsevier Journal*, 485-499, (2018).
62. Sun, S., Zhao, G., Wang, T., “Past future trends of vehicle emissions in Tianjin, China from 2000 to 2030”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 182-191, (2019).
63. Hu, N., Liu, S., Gao, Y.,”Large methane emissions from natural gas vehicles in chinese cities”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 374-380, (2018).
64. Tian, J., Tan, J., Hu, N., “Characteristics analysis for total volatile organic compounds emissions of methanol-diesel fuel”, *Journal of the Energy Institute Elsevier Journal*, 527-533, (2018).
65. Sportisse, B., “Box models versus eulerian models in air pollution modeling”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 173-178, (2001).
66. Wang, L., Parker, D.B., Parnel, C.B., “Comparison of Calpuff and ISCST3 models for predicting downwind odor and source emission rates”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 4663-4669, (2006).
67. Ghannam, K., El-Fadel, M., “Emissions characterization and regulatory compliance at an industrial complex: an integrated MM5/Calpuff approach”, *Atmospheric Environment Elsevier Journal*, 156-169, (2013).
68. Silva, E.J.G., Tirabassi, T., Vilhena, M.T., “A puff model using a three-dimensional analytical solution for the pollutant diffusion process”, *Atmospheric Research Elsevier Journal*, 131-136, (2013).
69. ÇOB, 2009. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.13184&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=sanayi%20kaynakli%C4%B1> (2019).
70. IPCC 2006. IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 – Energy, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2> (2019).
71. EMEP 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook> (2019).
72. EEA, 2019. EPA greenhouse gas - data viewer, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (2019).
73. Draper N.R., Smith H., 1966. Applied Regression Analysis, 1-70.

74. TÜİK, 2018. Ulaştırma İstatistikleri Veritabanı (2004-2016), <http://tuikapp.tuik.gov.tr>. (2018).
75. Janouskova, S., Hak, T., Necas, V., Moldan, B., “Sustainable development a poorly communicated concept by mass media another challenge for SDGs?”, *Atmospheric Research Elsevier Journal*, (2019).
76. Glavic, P., and Lukman, R., “Review of sustainability terms and their definitions”, *Atmospheric Research Elsevier Journal*, 1875-1885, (2007).
77. Jerzembeck, S., Peters, N., Desjardins, P., Pitsch, H., “Laminar burning velocities at high pressure for primary reference fuels and gasoline: experimental and numerical investigation”, *Atmospheric Research Elsevier Journal*, 292-301, (2009).
78. Nour, M., Attia, M.A., Nada S.A., “Combustion, performance and emission analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends”, *Atmospheric Research Elsevier Journal*, 313-329, (2019).
79. EPA, 2019. Air Topics, <https://www.epa.gov/environmental-topics/air-topics> (2019).
80. He, W., Kim, Y., Ko, D., Yun, S., Jun, S., Yoo, G. “Changes in soil N₂O and CH₄ emissions and related microbial functional groups in an artificial CO₂ gassing experiment”, *Science of the Total Environment*, 40-49, (2019).
81. Bogacki, M., Bzdziuch, P. “Predicting the spatial distribution of emissions from urban buses based on previously measured data and scenarios for their modernization in the future. Case study: Krakow, Poland. “*Atmospheric Environment*, 1-14, (2019).
82. Quiros, DC., Smith, J., Thiruvengadam, A., Huai, T., Hu, SH. Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport”, *Atmospheric Environment*, 36-45, (2017).
83. Chavez-Baeza, C., Sheinbaum-Pardo, C. “Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area Energy”, *Atmospheric Research Elsevier Journal*, 624-634, (2014).
84. Can, A.,” Climate change effect by road transportation in Karabük province. *3rd International Iron and Steel Symposium (UDCS 17)*, Karabük, Türkiye, 683-686 (2017).
85. Scire, J. S., Strimaitis, D. G., and Yamartino, R. J., “Model Formulation and User’s Guide for the Calpuff Dispersion Model”, *California Air Resources Board*, California, 26-30, (1990).

86. Stern, A., C., Wohlers, H., C., Boubel, R., W., Lobry W., P. Fundamentals of Air Pollution. Academic Press Inc., (1973).
87. Can, A. EXCELL tabanlı yollar için PUFF modeli (2019).



ÖZGEÇMİŞ

Ayşegül FİLİZ 1992 yılında Edirne’de doğdu, ilk ve orta öğrenimini Babaeski/Kırklareli şehrinde tamamladı. Babaeski Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliğinde öğrenime başlayıp 2015 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2015 yılında KBÜ Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2019 yılında tamamladı. 2018 yılında Hobi Otomotiv Yan Sanayi de Kalite Mühendisi olarak işe başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres :Hobi Otomotiv Yan Sanayi Ltd. Şti
Ortaköy Merkez Mahallesi, İltar Bulvarı No:11
Silivri/İSTANBUL

Tel : (542) 650 89 75

E-posta: aysegulfiliz1@gmail.com