

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN
SERA GAZI EMİSYONLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Muhammed Aydın PEKİN**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : OTOMOTİV

HAZİRAN 2006

**ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN
SERA GAZI EMİSYONLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Muhammed Aydın PEKİN

(503041715)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cem SORUŞBAY

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Metin ERGENEMAN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Orhan DENİZ (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Antropojenik etkenler sonucunda atmosfere eklenen sera gazı emisyonlarının hızla artması nedeniyle dünyamız küresel ısınma tehlikesiyle her geçen gün daha fazla karşı karşıya kalmaktadır. Sera gazı emisyonuna neden olan sektörlerden biri de ulaştırma sektörüdür.

Türkiye’de ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanıp, gelecekte yapılacak olan araştırmalara ışık tutması amacıyla yaptığım bu çalışmada, yapıcı yönlendirmelerinden ve yardımlarından dolayı Yüksek Lisans Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Cem SORUŞBAY’a, ve öğrenimim ve tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Prof. Dr. Metin ERGENEMAN olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür eder, saygılar sunarım.

Ayrıca bu çalışmaya sağladıkları maddi ve manevi katkılardan dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Haziran 2006

Muhammed Aydın PEKİN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SERA GAZLARI, SERA GAZI EMİSYONLARI VE KÜRESEL ISINMA	3
2.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Tanımı ve Nedenleri	3
2.2. Sera Gazlarının Çeşitleri ve Özellikleri	6
2.2.1. Su Buharı (H ₂ O)	7
2.2.2. Karbondioksit (CO ₂)	8
2.2.3. Metan (CH ₄)	8
2.2.4. Diazot Monoksit (N ₂ O)	9
2.2.5. Ozon (O ₃)	9
2.2.6. Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorid (SF ₆)	10
2.2.7. Karbon Monoksit (CO)	10
2.2.8. Azot Oksitleri (NO _x)	11
2.2.9. Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)	11
2.3. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	11
3. IPCC METODOLOJİSİ	13
3.1. Tanım	13
3.2. IPCC Tier Yaklaşımları	15
3.2.1. Tier 1 Yaklaşımı	15
3.2.1.1. Karbondioksit (CO ₂) emisyonları	15
3.2.1.2. CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, NMVOC emisyonları	19
3.2.1.3. Kükürtdioksit (SO ₂) emisyonları	21
3.2.2. Detaylı Tier Yaklaşımları (Tier 2 ve Tier 3 Yaklaşımı)	22
3.2.2.1 Karayolu detaylı metod	24
3.2.2.2 Havayolu detaylı metod	25
3.2.2.3 Demiryolu ve denizyolu taşıtları detaylı metod	28

4. TIER I YAKLAŞIMI İLE EMİSYON HESAPLAMALARI	29
4.1 CO ₂ Emisyonu Hesaplanması	29
4.2 CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, NMVOC Emisyonlarının Hesaplanması	32
4.3 Kükürt Dioksit (SO ₂) Emisyonu Hesaplanması	37
5. DETAYLI TIER (TIER II VE III) YAKLAŞIMLARI İLE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ EMİSYONLARININ HESAPLAMALARI	41
5.1 Karayolu Detaylı Metod	41
5.2 Havayolu Detaylı Metod	53
5.3 Demiryolu Detaylı Metod	59
6. TÜRKİYE’DE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ VE GELECEK YILLAR İÇİN BEKLENTİLER	62
6.1 Türkiye’nin Ulaştırma Sektörü Emisyonlarının İncelenmesi	63
6.1.1 Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi	64
6.1.2 Havayolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi	73
6.1.3 Demiryolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi	75
6.1.4 Denizyolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi	77
6.2 Türkiye Ulaştırma Sektörü Emisyonunun Toplam Emisyonlar İçindeki Payı	78
6.3 Türkiye Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan CO ₂ Emisyonlarının Diğer Ülkelerin Emisyonları ile Karşılaştırılması	79
6.4 Türkiye Ulaştırma Sektörü Emisyonlarının Temel Kaynaklarının Analizi	81
6.5 Aynı Mesafenin Farklı Ulaştırma Gruplarıyla Gidilmesi Sonucu Açığa Çıkan Emisyonların Örneklenmesi	86
7. SONUÇLAR	89
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BM	: Birleşmiş Milletler
CEF	: Karbon Emisyon Faktörü
CFC	: Chlorofluorokarbon
CNG	: Compressed Natural Gas
CORINAIR	: Co-ordinated Information on the Environment in the EU AIR
DHMİ	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
ECE	: Economic Commission for Europe
EPA	: Environment Protection Agency
EU	: European Union
GHG	: Greenhouse Gas
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GWP	: Global Warming Potential
HBFC	: Hydrobromofluorocarbon
HCFC	: Hydrochlorofluorocarbon
HFC	: Hydrofluorocarbon
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
ICAO	: International Civil Aviation Organization
IEA	: International Energy Agency
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
İDÇS	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
İDKK	: İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KP	: Kyoto Protokolü
LNG	: Liquefied Natural Gas
LPG	: Likit Petrol Gazı
LTO	: Landing and Take Off Cycle
NMVOC	: Non-Methane Volatile Organic Compounds
OECD	: Organization for Economic Co-operation and Development
OSD	: Otomotiv Sanayi Derneği
PFC	: Perfluorocarbon
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TPE	: Ton Petrol Eşdeğeri
UNEP	: United Nations Environment Programme
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
USD	: Amerikan Doları
VOC	: Volatile Organic Compounds
YTL	: Yeni Türk Lirası

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Bazı gazların küresel ısınma faktörleri (GWP) ve atmosfer ömürleri (20, 100 ve 500 yıllık ömürleri)	12
Tablo 3.1. Yakıtların net kalori değerleri (dönüşüm faktörleri)	17
Tablo 3.2. Karbon emisyon faktörleri (CEF)	17
Tablo 3.3. Emisyon faktörleri (kg/TJ)	19
Tablo 3.4. Yakıtların kükürt içeriği	21
Tablo 3.5. Benzinli otomobil emisyon faktörleri	24
Tablo 3.6. Dizel otomobil emisyon faktörleri	25
Tablo 3.7. Hafif dizel (minibüs ve kamyonet) emisyon faktörleri	25
Tablo 3.8. Ağır dizel (otobüs ve kamyon) emisyon faktörleri	25
Tablo 3.9. LPG otomobil emisyon faktörleri	25
Tablo 3.10. Yerel uçuşlarda kullanılan ortalama emisyon faktörleri	28
Tablo 3.11. Dizel lokomotifler için seçilen emisyon faktörleri	28
Tablo 4.1. 1990-2004 Yılları arasında her sektörün yakıt kullanımı	29
Tablo 4.2. 2004 yılına ait emisyon hesap tablosu	31
Tablo 4.3. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO ₂ emisyonları (kt)	32
Tablo 4.4. Ulaştırma sektöründe 2004 yılı emisyon hesaplamaları	34
Tablo 4.5. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CH ₄ emisyonları (t)	35
Tablo 4.6. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan N ₂ O emisyonları (t)	35
Tablo 4.7. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan NO _x emisyonları (t)	36
Tablo 4.8. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO emisyonları (t)	37
Tablo 4.9. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan NMVOC emisyonları (t)	37
Tablo 4.10. SO ₂ emisyonunun 2004 yılı değerleriyle hesaplanması	39
Tablo 4.11. Ulaştırma sektöründen kaynaklanan SO ₂ Emisyonları (t)	40
Tablo 5.1. Trafığe yeni kayıt olan araç sayıları	42
Tablo 5.2. Trafikten kaydı silinen araç sayıları	42
Tablo 5.3. Türkiye araç parkı	43
Tablo 5.4. Benzinli otomobillerin trafiğe eklendikleri yıllara ait emisyon teknolojileri	44
Tablo 5.5. Araçların 100 km'deki yakıt tüketimleri (litre/100 km)	44
Tablo 5.6. Araçların ortalama yıllık menzilleri (km)	45
Tablo 5.7. Karayollarından kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)	47
Tablo 5.8. Karayollarından kaynaklanan NO _x emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)	50
Tablo 5.9. Karayollarından kaynaklanan CH ₄ emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (t)	50
Tablo 5.10. Karayollarından kaynaklanan NMVOC emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)	51

Tablo 5.11.	Karayollarından kaynaklanan CO emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)	52
Tablo 5.12.	Karayollarından kaynaklanan N ₂ O emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (t)	52
Tablo 5.13.	Yurt içi uçuşlarda tüketilen jet yakıtı (t)	54
Tablo 5.14.	A320 uçağın LTO aktivitesi için emisyon faktörleri (kg/LTO)	56
Tablo 5.15.	2004 yılı Tier 2 havayolu yakıt tüketim hesabı	57
Tablo 5.16.	2004 yılı Tier 2 havayolu CO ₂ emisyonu hesabı	58
Tablo 5.17.	Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar (Tier 2)	58
Tablo 5.18.	Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar (Tier 2)	61
Tablo 6.1.	Ulaştırma sektöründe üretilen toplam CO ₂ emisyonunun değişimi (Tier 1)	62
Tablo 6.2.	Türkiye nüfus değişimi (1990 ve 2000 resmi nüfus sayımları)	64
Tablo 6.3.	Türkiye'nin gayri safi milli hasıla toplam değerleri ve kişi başı GSMH değerleri (ABD Doları, Cari fiyatlarla)	65
Tablo 6.4.	Karayollarında otomobil ve minibüslerle taşınan yolcu sayıları ...	67
Tablo 6.5.	Karayolları yolcu ve yük istatistikleri	68
Tablo 6.6.	CO ₂ emisyonuna neden olan temel sektörler (2003 yılı)	78
Tablo 6.7.	Yakıtların yanmasına göre CO ₂ emisyonlarının dağılımı (2003 yılı)	78
Tablo 6.8.	Sektörlere göre CO ₂ emisyonu (2003 yılı)	79
Tablo 6.9.	Ulaştırma sektöründe CO ₂ emisyonlarının dağılımları (%)	81
Tablo 6.10.	Ulaştırma sektöründe CH ₄ emisyonlarının dağılımları (%)	83
Tablo 6.11.	Ulaştırma sektöründe N ₂ O emisyonlarının dağılımları (%)	83
Tablo 6.12.	Ulaştırma sektöründe NO _x emisyonlarının dağılımları (%)	84
Tablo 6.13.	Ulaştırma sektöründe CO emisyonlarının dağılımları (%)	84
Tablo 6.14.	Ulaştırma sektöründe NMVOC emisyonlarının dağılımları (%) ..	85
Tablo 6.15.	Ulaştırma sektöründe SO ₂ emisyonlarının dağılımları (%)	85
Tablo 6.16.	İstanbul-Ankara arası seyahati örneklenen taşıtların özellikleri ...	86
Tablo 6.17.	İstanbul-Ankara arası seyahati örneklenen taşıtların emisyonları .	87
Tablo 6.18.	İstanbul-Ankara arası seyahati örneklenen taşıtların yolcu başına düşen yakıt tüketimleri ve emisyonları	87

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Küresel iklim sisteminin elemanları.....	3
Şekil 3.1 :Tier 2 yaklaşımıyla uçak emisyonlarının hesabında uygulanan metod	27
Şekil 6.1 :Kişi başına karayollarından kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının değişimi	65
Şekil 6.2 :Kişi başına GSMH ile ton-km ve yolcu-km değerlerinin değişimi	66
Şekil 6.3 :GSMH değerinin ve GSMH başına CO ₂ emisyonlarının değişimi	67
Şekil 6.4 :Otomobiller ve minibüsler tarafından salınan CO ₂ emisyonunun, taşınan tahmini yolcu sayısına oranı (ton CO ₂ /yolcu)	68
Şekil 6.5 :CO ₂ emisyonlarının ton-km ve yolcu-km değerlerine göre değişimi	69
Şekil 6.6 :Benzinli otomobillerden kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının ve benzinli otomobil başına düşen CO ₂ emisyonlarının değişimi	69
Şekil 6.7 :Karayolu ulaşımından kaynaklanan NO _x emisyonunun ve kişi başına düşen NO _x emisyonunun değişimi	70
Şekil 6.8 :Karayolu ulaşımından kaynaklanan CH ₄ emisyonunun ve kişi başına düşen CH ₄ emisyonunun değişimi	71
Şekil 6.9 :Karayolu ulaşımından kaynaklanan NMVOC emisyonunun ve kişi başına düşen NMVOC emisyonunun değişimi	71
Şekil 6.10 :Karayolu ulaşımından kaynaklanan CO emisyonunun ve kişi başına düşen CO emisyonunun değişimi	72
Şekil 6.11 :Karayolu ulaşımından kaynaklanan N ₂ O emisyonunun ve kişi başına düşen N ₂ O emisyonunun değişimi	73
Şekil 6.12 :Havayollarında tüketilen yakıt miktarının ve sefer sayılarının değişimi	73
Şekil 6.13 :Havayolu ulaşımından kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının miktarının ve bu emisyonların kişi başına düşen değerinin değişimi	74
Şekil 6.14 :Kişi başına GSMH ve kişi başına havayolu CO ₂ emisyonu değişimi	75
Şekil 6.15 :Demiryolu ulaşımında yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonları.....	76
Şekil 6.16 :Demiryolu ulaşımında kişi başına düşen CO ₂ emisyonunun yıllara göre değişimi	76
Şekil 6.17 :Tren kilometre değerinin yıllara göre değişimi ve tren-km başına CO ₂ emisyonunun değişimi	77
Şekil 6.18 :Denizyolu ulaşımından kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi	77

Şekil 6.19	:Türkiye'nin CO ₂ emisyonunun sektörlere göre dağılımı (2003 yılı verileri)	79
Şekil 6.20	:Ülkelere göre kişi başına düşen CO ₂ emisyonları.....	80
Şekil 6.21	:Ülkelere göre CO ₂ emisyonunda ulaştırma sektörünün payı	80
Şekil 6.22	:Ulaştırma sektöründe CO ₂ emisyonunun dağılımı (2004 yılı Tier 1 hesap değerleri)	82

SEMBOL LİSTESİ

°C	: Derece santigrad
a	: Yakıt tipi (dizel, benzin, LPG gibi)
b	: Sektör faaliyeti (karayolu, havayolu gibi)
c	: Emisyon kontrol özellikleri
C	: Karbon
CF₄	: Tetraflor metan
C₂H₆	: Etan
C₃H₈	: Propan
CH₄	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbon dioksit
EF	: Emisyon faktörü
EF_{SO₂}	: SO ₂ gazının emisyon faktörü (kg/TJ)
ET	: Enerji tüketim değeri
Ex	: İhraç edilen yakıt miktarı
g	: Gram
Gg	: Gigagram
H₂O	: Su buharı
HC	: Hidro karbon
IB	: Uluslararası kullanıma satılan yakıt miktarı
Im	: İthal edilen yakıt miktarı
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kt	: Kiloton
kWh	: Kilowatt-saat
l	: Litre
MJ	: Megajoule
n	: Kükürt azaltma teknolojisinin verimi (%)
N₂O	: Diazot monoksit
NO₂	: Azot dioksit
NO_x	: Azot oksitleri
O₂	: Oksijen
O₃	: Ozon
OH	: Hidroksil radikali
Pb	: Kurşun bileşikleri
Pr	: Üretilen yakıt miktarı
ppm	: Parts Per Million
ppmv	: Hacimsel ppm
Q	: Net kalori değeri (TJ/kt)
r	: Külde kalan kükürt miktarı (%)
R.CHO	: Aldehitler

s	: Yakıtın kükürt içeriği (%)
SC	: Stoklarda meydana gelen değişim miktarı
SF₆	: Kükürt hekzaflorid
SO₂	: Kükürt dioksit
t	: Ton
t C/TJ	: Birim TJ enerji başına düşen ton karbon miktarı
Tg CO₂ Eq.	: Teragram karbondioksit eşdeğeri
TJ	: Terajoule
w	: Araç tipi (özel otomobil, hafif dizel, ağır dizel gibi)
\$	: Dolar

ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI

ÖZET

İnsan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan sera gazı emisyonlarının miktarı sanayi devriminden günümüze hızla artmaktadır. Sera gazları, ısı tutma kapasiteleri nedeniyle küresel ısınmaya neden olmaktadır. Antropojenik sera gazı üretiminde önemli bir pay ulaştırma sektörüne aittir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları belirlenmiştir. Emisyon hesaplamaları sırasında IPCC tarafından önerilmiş ve Tier yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji kullanılmaktadır. Ulaştırma sektörü nedeniyle açığa çıkan sera gazlarının içinde büyük oranda CO₂ gazı bulunmasından dolayı, özellikle CO₂ gazlarının analizi üzerinde durulmaktadır. CO₂ dışında, NO_x, CO, CH₄, NMVOC, N₂O ve SO₂ gazları da hesaplanmıştır.

Hesaplamalar sonucunda bütün sera gazı emisyonlarında artış olduğu ve özellikle yakıt tüketimlerinin artması sonucunda CO₂ emisyonlarının hızla arttığı gözlemlenmiştir. Ulaştırma sektöründeki alt gruplar içinde en büyük emisyon kaynağının karayolu olduğu bilinmektedir. Karayolu kaynaklı CO₂ emisyonlarının toplam ulaştırma sektörü içindeki payı 1990 yılında %93 oranındayken, 2004 yılına gelindiğinde %84 değerine gerilemiş, havayollarından kaynaklanan emisyonların toplam içindeki payı %4 oranından %12'ye yükselmiştir. Karayolu emisyonlarının toplam içinde oran olarak azalmasında havayolu ulaşımının kullanımındaki artış etken olmuştur. Ancak karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyon miktarı sürekli artış göstermeye devam etmektedir.

Elde edilen bulgular ışığında, karayolu taşıt parkında bulunan eski model araçların trafikten çekilmesi, daha az yakıt tüketen ve emisyon regülasyonuna uygun araçların parka eklenmesi, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, toplu taşıma araçlarının kullanımının artması, karayolu dışında alternatif ulaşım gruplarının kullanılması, trafik akımının düzenlenmesi, yakıt tüketimlerine göre vergilendirmeye gidilmesi ve araç performanslarının iyileştirilmesini sağlayacak yasal düzenlemeler getirilmesi ile özellikle karayolu kaynaklı emisyonlarda belirgin bir iyileşme sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS PRODUCED BY TRANSPORTATION SECTOR

SUMMARY

The amount of greenhouse gases in the Earth's atmosphere has increased since the Industrial Revolution as a result of human activities. Greenhouse gases cause the global warming due to the capability of heat absorption. Transportation sector has significant effects on anthropogenic production of greenhouse gases.

In this study, the greenhouse gases produced by transportation sector in Turkey are determined. Greenhouse gas emissions are calculated by using the methodologies explained as Tier approaches which are recommended by the IPCC. Due to the fact that the great amount of greenhouse gases produced by transportation sector is CO₂ emissions, this study focuses on the analysis of the CO₂ emissions. Besides CO₂, some other gases such as NO_x, CO, CH₄, NMVOC, N₂O and SO₂ are calculated.

As a result of the calculations, it is observed that the amount of all the greenhouse gases has increased, especially the amount of CO₂ emissions has increased rapidly due to the increase in total fuel consumption. It is known that the road transport is the main source of greenhouse gases. The rate of CO₂ gases produced by road transport has decreased from 93% in 1990 to 84% in 2004, and the rate of emissions produced by aviation has increased from 4% to 12% since 1990. As a result of increased use of air transportation, the rate of emissions produced by road transport has decreased. However, the amount of greenhouse gases produced by road transport continues to rise.

According to the data obtained, some solutions can be suggested, such as, reducing the number of old fleet vehicles on the road, adding new vehicles which have emission abatement technologies and low fuel consumption, using the alternative energy resources, increasing the use of public transportation systems, creating new transportation options alternative to road transport, regulating the traffic, adapting supplementary taxation system for high fuel consumption, approval of legal arrangement for optimizing the vehicle performance. Therefore, it is expected that a significant improvement can be achieved by putting these suggestions into practice.

1. GİRİŞ

İklim sistemi, yerkürenin yaklaşık 4.5 milyar yıllık jeolojik tarihi boyunca, milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde değişme eğilimi göstermiştir.

Son araştırma sonuçlarına göre, küresel ortalama sıcaklıkların geçen 10000 yıldaki herhangi bir yüzyılda 1°C'den daha fazla değişmesi olası görülmemiştir. Bu dönemde, atmosferdeki CO₂ birikimi yaklaşık 280±10 ppm dolaylarında değişen bir dalgalanma göstermiştir.

Ancak 19. yüzyılın ortalarından (sanayi devriminden) beri, iklimdeki doğal değişebilirliğe ek olarak, ilk kez insan etkinliklerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Özellikle fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaşma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleri sonucunda, atmosferdeki sera gazı birikimleri hızla artış göstermiştir.

Sonuçta, küresel ortalama hava sıcaklıklarının geçen yüzyılda 0.4 ile 0.8°C arasında artmış oluşudur. Bu ısınma, geçen 1000 yılın herhangi bir dönemindeki artıştan daha büyük ve dikkat çekicidir.

Küresel iklimde gözlenen ısınmanın yanı sıra, en gelişmiş iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 döneminde 1.4 ile 5.8°C arasında bir artış olacağını öngörmektedir. Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. [1]

Bu çalışmadaki amaç, küresel ısınmaya önemli oranda etkisi olan fosil yakıtların tüketimi sonucu, ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının, Türkiye'de ulaştırma sektöründeki payının araştırılması ve 1990 yılı ve sonrasında ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların envanterinin oluşturulmasıdır.

Yapılan araştırmada, özellikle ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları içinde en büyük paya sahip olan CO₂ üzerinde özellikle durulmuş, bunun dışında NO_x, CH₄, CO, N₂O, SO₂, NMVOC gibi ulaştırma sektörü kaynaklı emisyonların da hesaplamaları yapılmıştır.

Türkiye'nin ulaştırma sektöründeki emisyon envanteri hesaplamalarında IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından önerilen yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak IPCC Tier 1 yaklaşımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Sonrasında, daha detaylı hesaplamaya imkan tanıyan Tier 2 yaklaşımı ile hesaplamalar yapılmıştır. IPCC 1996 rehberinin kullanılmasındaki amaç, elde edilecek verilerin daha sonra, D E tarafından yürütülen çalışma kapsamında kullanımında kolaylık sağlamaktır.

 klim Değişikliği Koordinasyon Kurulu ( DKK), Teknik  alışma Komisyonu  klim Değişikliği  er eve Sözleşmesi kapsamında, iklim değişikliğinin zararlı etkilerinin önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması, yapılacak çalışmaların daha verimli olabilmesi, kamu ve özel sektör kurum ve kuruluşları arasında koordinasyon ve görev dağılımının sağlanması ve bu konuda ülkemizin şartlarına uygun i  ve dış politikaların belirlenmesi amacıyla çalışmalara 04 Mart 2004 tarihinde 2004/1 sayılı toplantısı ile başlamıştır. Ülkemiz, 24 Mayıs 2004 tarihi itibariyle Birleşmiş Milletler  klim Değişikliği  er eve Sözleşmesine 189. taraf olarak katılmıştır. Bu çerçevede ihtiyaç duyulan çalışmaların yapılabilmesi amacıyla alt çalışma grupları oluşturulmuştur. Bu  alışma gruplarından biri de Sera Gazları Emisyon Envanteri  alışma Grubudur. Bu  alışma grubunun koordinator kurumu Devlet  statistik Enstitüsü Başkanlığı olup  yeleri,  evre ve Orman Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik  retim A.ř.,  niversiteler ve ilgili özel kurum/kuruluşlardır. 18 Mayıs 2004 tarihinde D E Başkanlığınca gerçekleştirilen toplantı ile, emisyon hesaplamalarında IPCC 1996 rehberinde önerilen metodolojinin kullanılacağı kararlaştırılmıştır. [2]

Şekil 2.1’de küresel iklim sistemi gösterilmektedir. Koyu oklarla gösterilenler iklim değişikliğiyle ilişkilendirilebilecekleri ve iklim değişiminden etkilenebilecekleri ifade ederken, ince oklar ile gösterilenler bunların prosesleri ve etkileşimlerini göstermektedir.

Bilimadamlarının yaptıkları çalışmalar sonucunda, dünyanın yüzey sıcaklığı geçtiğimiz yüzyılda 0.4°C civarında bir artış gösterdiği saptanmıştır. Son 20 yıllık süreçte ise bu ısınmanın hızında artış görülmüştür. Son 50 yılda meydana gelen ısınmanın büyük kısmının insan faaliyetleri sonucunda oluştuğuna dair yeni ve güçlü kanıtlar bulunmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucunda, atmosferdeki kimyasal yapı, sera gazları üretecek şekilde değişime uğramakta; özellikle karbondioksit, metan ve azotoksit üretimine yol açmaktadır. Dünya ikliminin bu gazlara nasıl tepki verdiği konusunda belirsizlikler bulunmasına rağmen, bu gazların ısı tutma özellikleri bilinmektedir.

Güneşten gelen enerji, atmosferden geçerek dünyanın yüzeyini ısıtır; buna karşılık, yerküre bu enerjinin bir kısmını uzaya geri yayar. Atmosferde bulunan sera gazları (su buharı, karbondioksit, ve diğer gazlar) bu geri gönderilen enerjinin bir kısmını hapseder. Bu doğal sera etkisi olmasaydı, sıcaklıklar şu anda olduğundan daha düşük olurdu ve şu anki yaşam mümkün olmazdı. Sera gazları sayesinde dünyanın ortalama sıcaklığı daha yaşanabilir bir seviyede 16°C civarındadır. Ancak, sera gazlarının atmosferdeki oranının artması problemler doğuracaktır.

Sanayi devriminin başlarından itibaren, atmosferdeki CO₂ oranı %30 artmış, CH₄ oranı iki katından fazla artmış, N₂O oranı ise %15 kadar yükselmiştir. Bu gazların artışı, atmosferin ısı tutma yeteneğini de arttırmıştır. Hava kirliliğinde önemli bir sebep olan sülfat aerosollerı güneş ışığını uzaya geri yansıtarak atmosfere soğumasını sağlamaktadır; fakat, sülfat atmosferde kısa süre kalır ve bölgesel olarak değişir.

Sera gazı yoğunluğundaki artışın nedeni bilimadamları tarafından şu şekilde belirtilmektedir. Karbondioksit oranının artışında temel faktör, fosil yakıtların yakılması ve diğer insan faaliyetleridir. Bitkilerin solunumu sonucu ve organik maddelerin yapısal değişiklikleri sonucu, insan faaliyetleri sonucunda üretilen CO₂ miktarından 10 kat daha fazla CO₂ üretilmektedir. Ama, bu CO₂ üretimi, bitkilerin fotosentezi ve okyanusların CO₂ depolama yetenekleri sayesinde yüzyıllardır

dengede kalmayı başarmıştır; fakat sanayi devriminden itibaren bu denge değişmektedir. Son birkaç yüzyılda değişen ise insan faaliyetleri sonucunda oluşan CO₂ miktarının artmasıdır. Örneğin ABD’de fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan gazlar, toplam ABD CO₂ emisyonunun %98’i, metan emisyonunun %24’ü, NO_x emisyonunsa %18’ini oluşturmaktadır.

Gelecekteki emisyon miktarını tahmin etmek kolay değildir; çünkü demografik, ekonomik, teknolojik, siyasi ve kurumsal gelişmelere bağlıdır. Bu bahsedilen faktörlerin ön plana alınmasıyla çok çeşitli projeksiyonlar geliştirilebilmektedir. Örneğin, 2100 yılında, emisyon kontrol kanunları olmaması durumunda, CO₂ emisyonları bugünkü değerin %30-150 katı daha fazla olacağı öngörülmektedir. Bu orandaki değişim diğer faktörlerin değişimine göre en iyi %30 en kötü %150 seviyelerinde olabilir.

Küresel ortalama yüzey sıcaklıkları 19. yüzyıldan beri artmaktadır. 20. yüzyıldaki en sıcak 10 yıl ise, yüzyılın son 15 yıllık döneminde yaşanmıştır. Bunların içinde 1998 en sıcak yıl olarak kayıtlara geçmiştir. Kuzey yarımküredeki kar örtüsü ve kutup denizindeki yüzen buz miktarı azalmıştır. Küresel olarak deniz seviyesi geçtiğimiz yüzyılda 10-20 cm arasında artmıştır. Tüm dünyada karaya düşen yağış miktarı %1 artmıştır.

Sera gazı yoğunluğunun artışı, iklim değişimini de hızlandırmış gibi görünmektedir. Bilimadamları küresel yüzey sıcaklıklarının önümüzdeki 50 yıllık dönemde 0.6-2.5°C, 100 yıllık dönemde ise 1.4-5.8°C artacağını ve bunların bölgesel olarak büyük dalgalanmalar göstereceğini belirtmektedirler. İklimin ısınması sonucunda buharlaşma artacaktır, bunun sonucunda da ortalama küresel yağış miktarı artacaktır. Toprak nemi çoğu bölgede azalma eğilimi gösterirken, güçlü sağnak yağışlar da daha sık yaşanacaktır. Deniz seviyesinde de yükselme meydana gelecektir. [4]

İnsan faaliyetleri birkaç yoldan iklimi değiştirebilir;

1. Fosil yakıtları, yani petrol ve kömürü yakıp atmosferin karbondioksit konsantrasyonunu artırarak.
2. Fabrikalardan, otomobillerden, soba ve ocaklardan toz, sülfat ve sıvı parçacıkları halinde taneli maddeleri enjekte etmek suretiyle atmosferin ışık geçirgenliğini, yani şeffaflığını azaltarak.

3. Çarptığı yüzeylerden dışarıya yansıyan radyasyonun gelen güneş radyasyonuna nisbeti olan albedo değerini, sulama, şehirleşme, orman tahribi ve zirai faaliyet yoluyla bütün yeryüzünde değiştirerek.

4. Fosil yakıtlar ve nükleer enerji kullanmak suretiyle atmosferi doğrudan ısıtarak.

5. Tankerlerden ve denizaltı petrol kıyılarından sızan petrolün deniz üstünde bir tabaka teşkil etmesi dolayısıyla denizler ile atmosfer arasında ısı alış verişi hızını değiştirerek.

İnsan faaliyetlerinin mahalli iklimler üzerinde etkili olduğuna ve ileride bölgesel iklimleri, hatta dünyanın genel iklimini tesir altına alabileceğine dair bazı işaretler bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen bu faktörler, insan faaliyetlerinin iklim değişikliğine etkilerinin örnekleridir. [5]

2.2 Sera Gazlarının Çeşitleri ve Özellikleri

Uzun dönemde, yeryüzünün, güneşten aldığı kadar bir enerjiyi uzaya vermesi gerekir. Güneş enerjisi yeryüzüne kısa dalga boyu radyasyon olarak ulaşır. Gelen radyasyonun bir bölümü, yeryüzünün yüzeyi ve atmosfer tarafından geri yansıtılır. Ama bunun büyük bölümü, atmosferden geçerek yeryüzünü ısıtır. Yeryüzü bu enerjiden, uzun dalga boyu, kızılötesi radyasyonla kurtulur (başka bir deyişle onu uzaya geri gönderir).

Gezegeneimizin yüzeyi tarafından yukarıya salınan kızılötesi radyasyonun büyük bölümü atmosferdeki su buharı, karbondioksit ve doğal olarak oluşan diğer “sera gazları” tarafından emilir. Bu gazlar enerjinin, yeryüzünden geldiği gibi doğrudan uzaya geçmesini engeller. Birbiriyle etkileşimli birçok süreç (radyasyon, hava akımları, buharlaşma, bulut oluşumu ve yağmur dahil) enerjiyi atmosferin daha üst tabakalarına taşır ve enerji oradan uzaya aktarılır. Bu daha yavaş ve dolaylı süreç bizim için şanstır; çünkü yeryüzünün yüzeyi enerjiyi uzaya hiç engelsiz gönderebilseydi, o zaman yeryüzü soğuk ve yaşanmaz bir yer olurdu. [6]

Bazı sera gazları doğal olarak oluşurlar fakat insan faaliyetlerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenirler. Diğer bazı sera gazları ise tamamen insan faaliyetleri sonucu (antropojenik) meydana gelir. Doğal olarak oluşan sera gazlarından bazıları şunlardır; su buharı (H_2O), karbon dioksit (CO_2), ozon (O_3), metan (CH_4), nitrit oksit (N_2O). Tamamen insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazları ise, kloroflorokarbon

(CFCs), hidrokloroflorokarbon (HCFCs), hidroflorokarbon (HFCs) (hepsine genel olarak halokarbonlar denir) ve tamamen florid bileşiği olan kükürt hekzaflorid (SF_6) gibi gazlardır. [3, 7, 8]

Bulutlar, güneş ışığını yansıtmasının yanında, ayrıca temel sera gazı organlarından biridir. Su buharı ve bulut parçaları atmosferdeki baskın absorbe edicilerdir. CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2O gazları birçok biyolojik işlemde üretilir veya kullanılır. H_2O gazının temel kaynağı ise okyanuslarda meydana gelen buharlaşmadır. Ozon atmosferde, güneş ışığı aracılığıyla gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda üretilir. CFC gazları sentetik gazlardır ve atmosfere insanlar tarafından salınır. Buna ek olarak SF_6 ve CF_4 gibi perflorokarbon gazları neredeyse asal sera gazı denebilecek kadar güçlüdürler ve atmosferdeki ömürleri 1000 yıldan daha uzundur. [7]

Bu gazlar dışında, doğrudan ısımaya neden olduğu tam olarak kabul edilmemiş olan başka gazlar da bulunmaktadır. Bu troposfer gazları, hava kirletici gazlar olarak da bilinir, karbon monoksit (CO), nitrojen dioksit (NO_2), kükürt dioksit (SO_2), ve troposferik (yer seviyesi) ozon gazıdır (O_3). Troposfer ozonu, iki kirletici olan, uçucu organik bileşikler (VOCs) ve nitrojen oksitler (NO_x) tarafından ultraviyole ışınların (güneş ışığı) bulunduğu ortamda oluşturulur. Aerosoller (çok küçük partiküller veya sıvı damlacıkları) genellikle kükürt bileşiklerinden, karbon yanma ürünlerinden ve diğer insan kaynaklı kirleticilerden meydana gelmektedirler. Aerosoller, atmosferin soğurma (absorbe etme) karakteristiğini etkileyebilirler. Ancak aerosoller bilimsel açıdan henüz ileri seviyede anlaşılamamıştır. [3, 8]

2.2.1 Su Buharı (H_2O)

Atmosferdeki en dominant ve bol bulunan sera gazı su buharıdır. Su buharı uzun ömürlü veya atmosferde iyi karışmış bir yapıda değildir ve konuma göre %0-2 arasında değişmektedir. Ayrıca, atmosferik su gaz, sıvı ve katı gibi çeşitli fiziksel formlarda bulunabilir. İnsan faaliyetlerinin ortalama küresel su buharı konsantrasyonunu doğrudan etkilemediği düşünülmektedir; fakat diğer sera gazlarının konsantrasyonundaki artış sonucunda oluşan ısıma zorlaması dolaylı olarak hidrolojik döngüyü etkileyebilir. Atmosferdeki ısınma su tutma kapasitesini artırır ve bunun sonucunda su buharı konsantrasyonunun artışı bulut oluşumunu etkiler. Bulutlar ise hem güneşten gelen hem de karadan yansıyan ışınları hem absorbe eder hem de yansıtır. Uçakların, jet motorlarından saldıkları, ve gökyüzüne

bakıldığında çizgi şeklinde bir bulut gibi görünen karışımın içeriğinde de su buharı bulunur. Uçakların arkalarında bıraktıkları sudan ve diğer atıklarından oluşan bu iz şeklindeki yapı da, ışımaya etkileri bakımından bulutlara benzemektedir. [8]

2.2.2 Karbondioksit (CO₂)

Sera etkisine sahip olan gazların başında saydam bir gaz olan CO₂ gelir. Aynı bir seranın veya otomobilin camı gibi, ısı veren güneş ışınlarını içeri alır; fakat, ısı radyasyonunu, yani içerisinin ısınıp geri vermez. CO₂ bir örtü gibi dünyayı sarmaktadır, şayet bu durum olmasaydı dünyanın ortalama sıcaklığı -18°C olacaktı. Bu örtü sayesinde sıcaklık +15°C civarındadır. Yer ısınıp geri verirken kızılötesi ışınlar salar ve CO₂ bunları tutup ısının uzaya kaçmasını önler. [5]

Doğada karbon, atmosfere bağlı, okyanuslara bağlı, kara ve deniz bitkilerine bağlı ve mineral rezervlere bağlı olan çeşitli çevrimlere katılır. En büyük akış (döngü) atmosfer ile kara bitki örtüsü arasında ve atmosfer ile okyanus yüzeyi arasında meydana gelmektedir. Atmosferde karbon çoğunlukla oksitlenmiş formu olan CO₂ şeklinde bulunur. Atmosferik karbondioksit bu küresel karbon çevriminin bir parçasıdır ve bu nedenle varlığı jeokimyasal ve biyolojik proseslerin karmaşık bir fonksiyonudur. Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu, sanayi devrimi öncesi dönemdeki 280 ppmv (hacimsel olarak ppm) değerinden 1999 yılında 367 ppmv değerine, %31'lik bir artış göstermiştir. [8]

Doğal yollardan CO₂ bitki örtüsü ve okyanuslar tarafından absorbe edilir ve üretilir. Ayrıca odun, kömür, petrol ve doğal gaz yakılması sonucu da üretilmektedir. CO₂ artışında temel nedenin fosil yakıtların yakılması olduğu, hem kararlı hem de radioaktif yapıdaki karbon izotoplarındaki azalma ve atmosferdeki oksijende azalma ile kanıtlanabilmektedir. Yıllık CO₂ artışı değişken olduğundan, ortalama yıllık artışın son 20 yılda 1.5 ppmv/yıl olduğu belirtilmektedir. [7]

2.2.3 Metan (CH₄)

Sera etkisinin %20'sini meydana getiren diğer bir gaz ise metandır. Karbondioksite nazaran 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynamaktadır. Metan, doğal gazın temel elemanıdır. Ayrıca, bataklık ve pirinç tarlası gibi düşük oksijenli ortamlardaki biyolojik proseslerle atmosfere salınabilmektedir. Pirinç ekimi, hayvancılık, kömür madenciliği, depolama işlemleri ve doğal gaz elde etme gibi insan faaliyetleri son 50

yılda artış göstermiştir. Bu aktivitelerden kaynaklanan emisyonlar atmosferdeki metan artışında pay sahibidir. Metanın atmosferdeki konsantrasyonu küresel olarak sadece son 20 yılda ölçülmüştür. Meydana gelmiş olan dünya çapındaki ısınma anaerobik çürümeyi de hızlandırmış, CO₂ kadar, metan üretimini de artırmıştır. [5, 7]

Metan temel olarak, biyolojik sistemlerde organik maddelerin anaerobik dekompozisyonu ile üretilir. Atmosferdeki metan kompozisyonu sanayi devrimi öncesinden bu zamana %150 artış göstermiştir. IPCC, atmosfere katılan CH₄ miktarının yarısından fazla kısmının insan faaliyetleri sonucu gerçekleştiğini belirtmektedir. Metan, atmosferde hidroksil radikali (OH) ile reaksiyona girer ve en sonunda CO₂'e dönüşmektedir. [8]

2.2.4 Diazot Monoksit (N₂O)

Azot oksitleri içinde en önemlisi diazot monoksittir. Sera etkisinin %15'inin bu gazdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Diazotmonoksitin insan faaliyetleri sonucunda üretilmesinde en büyük payı, tarım arazilerinde sentetik ve doğal gübre kullanımı, özellikle ulaşımda kullanılan fosil yakıtların yakılması, nitrik asit üretimi, atık su arıtımı ve atık yakılması, ve biokütlelerin yakılması oluşturmaktadır. Atmosferdeki N₂O konsantrasyonu 1750'den beri %16 artmıştır. Stratosferde güneş ışığının fotolitik (güneş enerjisi ile elementin atomlarına ayrılması) davranışı sonucu N₂O atmosferden eksilmektedir. [5, 8]

2.2.5 Ozon (O₃)

Ozon, oksijenin değişik bir şeklidir. Troposferin soğuk kısımlarında ozon, doğal yollardan nadiren teşekkül eder. Esas ozon teşekkülü stratosferde olur. Yüksek enerjili ultraviyole ışınlarının bombardımanına maruz kalan oksijen molekülleri parçalanır ve açığa çıkan serbest oksijen atomlarının bir kısmının O₂ ile birleşmesinden O₃ oluşur. Böylece meydana gelen ozonun, oksijenin sahip olmadığı bazı özellikleri mevcuttur. Ozon ultraviyole ışınlarını emme özelliğine sahiptir. Stratosferden geçerken bu zararlı ışınlar tutulacağından alt tabakalarda yani troposferde oksijen parçalanmaktan kurtulmuş olur. Fakat, ozonun bir kısmı atmosfere alt tabakalarına yani troposfere doğal yollardan geçebilir. Bu bölgede ozonu oluşturabilecek veya yokedeabilecek kimyasal prosesler gerçekleşebilir. Bu troposferdeki ozon miktarı 20.yüzyılda, karbon ve azot içeren kirletici moleküllerin (fosil yakıt kullanan araçların egzozlarında, güç tesislerinin egzozlarında ve

biokütlelerin yakılması sırasında oluşan gazlarda salınan azot oksitleri, karbon monoksit ve etilen gibi bileşiklerin) güneş ışığı ile etkimesi sonucu oluşan ek ozonun da katılmasıyla artmıştır. [5, 7]

Aynı zamanda bir sera gazı olan troposfer ozonu, doğrudan ısımaya tesiri bakımından sanayi devriminden bu yana artarak CO₂ ve CH₄ gazlarının ardından üçüncü sırayı almıştır. Troposfer ozonu, uçucu organik bileşiklerin güneş ışığı etkisi altında nitrojen oksitlerle karışması sonucu oluşturulmaktadır. [8]

2.2.6 Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorid (SF₆)

Halokarbonlar, ısımaya doğrudan ve dolaylı olarak etki eden insan yapımı bir kimyasaldır. Klor içeren (kloroflorokarbonlar CFC, hidrokloroflorokarbonlar HCFC, metil kloroform, karbon tetraklorid) ve brom içeren (halonlar, metil bromid, hidrobromoflorokarbonlar HBFC) halokarbonlar, stratosferde bulunan ve faydalı olan ozonun azalmasına neden olduğu için Montreal Protokolünde Ozon Tabakasına Zararlı Maddeler arasına alınmıştır. CFC ve HCFC gazları küresel ısınmaya neden olan gazlar içermekle beraber, bir taraftan da stratosferdeki ozonu azalttıkları için, ısımaya olan net zorlayıcı etkileri azalmaktadır. Çünkü ozon dünyayı güneşten gelen ultraviyole ışıklardan korumasının yanında aynı zamanda önemli bir sera gazıdır. Hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar (PFC) ve kükürthekzaflorid (SF₆) ozonu azaltıcı maddeler olmadıkları için Montreal Protokolü kapsamına alınmamıştır. Ancak bu gazlar da güçlü sera gazlarıdır. Hidroflorokarbonlar ozonu incelten maddeler yerine kullanılmaktadır ve şu anda ısımaya olan zorlayıcı etkileri küçüktür, ancak, toplamda sera gazı özelliği gösteren maddelere katkısı bulunmaktadır. PFC ve SF₆, alüminyum ergitme, yarı iletken imalatı, elektrik güç aktarımı ve dağıtımı, magnezyum dökümü gibi sanayi işlemlerinde açığa çıkmaktadır. PFC ve SF₆ gazları ısmayı zorlayıcı etkileri düşük olmakla birlikte, hızlı bir büyüme oranına ve çok uzun atmosfer ömürlerine sahip olmaları ve kızılötesi ışınları tutabilme özellikleri nedeniyle gelecekte iklimi etki edebilmeleri açısından büyük bir potansiyele sahiptir. [8]

2.2.7 Karbon Monoksit (CO)

Karbonmonoksit, CH₄ ve troposfer ozonunun, diğer atmosfer elemanlarıyla (hidroksil radikali gibi) kimyasal reaksiyona girmesine katkıda bulunduğunda, CH₄ ve troposfer ozonunun konsantrasyonlarının artmasından dolayı olarak sorumludur.

Karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucunda CO oluşur. Atmosferdeki doğal prosesler sonucunda CO₂ şeklini alır. CO konsantrasyonları atmosferde kısa ömürlüdür ve konuma göre değişkenlik göstermektedir. [8]

2.2.8 Azot Oksitleri (NO_x)

Azot oksitlerin (NO ve NO₂ gibi) temel iklim değişimi etkileri, doğrudan değil, dolaylı olarak yani troposferde ozon oluşmasındaki (troposfer ozonu sera gazı özelliği taşımaktadır) rollerinin sonucunda gerçekleşmektedir. Ek olarak, uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyonları metan konsantrasyonunu azaltmaktadır. NO_x emisyonları, yıldırım düşmesinden, topraktaki mikrobik aktivitelerden, biokütlelerin doğal veya insan nedeniyle yanmasından, yakıt yakılmasından, ve strotosferde N₂O'nun indirgenmesinden oluşturulabilmektedir. NO_x konsantrasyonları atmosferde kısa ömürlüdür ve konumsal olarak farklılık gösterir. [8]

2.2.9 Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)

NMVOC gazları, propane, bütan ve etan gibi bileşikleri içermektedir. Bu bileşikler, NO_x ile beraber, troposfer ozonunun ve diğer fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasında rol alırlar. NMVOC emisyonları temel olarak ulaştırmadan, sanayi işlemlerinden, biyokütlelerin yakılmasından ve organik solventlerin endüstri dışı tüketiminden kaynaklanmaktadır. NMVOC konsantrasyonları atmosferde kısa ömürlüdür ve konumsal olarak çeşitlilik gösterir. [8]

2.3 Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)

Küresel Isınma Potansiyeli değerleri, çeşitli sera gazlarının sera etkisini gösterme gücünün global ortalamalar şeklinde ifadesidir. Buradaki hesapta, referans seçilen bir gaza göre (CO₂), birim gazın belli bir süre içinde doğrudan ve dolaylı olarak sera gazı tesiri gösterme özelliği belirlenmektedir. Referans gaz olarak seçilen gaz karbondioksittir. Gazın kendisi eğer sera gazı ise doğrudan etki oluşturur. Orjinal gazın, sera gazı üretecek şekilde kimyasal dönüşüme girmesi veya diğer gazların atmosferik ömürlerini etkileyecek şekilde tepkime vermesi durumunda dolaylı sera gazı etkisi gösterdiği kabul edilmektedir. Herhangi bir gazın CO₂ eşdeğeri cinsinden ısınmaya potansiyel etkisi, gigagram (Gg) değeri ile teragram karbondioksit eşdeğeri (Tg CO₂ Eq.) arasındaki ilişki IPCC birimleri cinsinden Denklem 2.1 ile ifade edilir.

$$Tg \text{ CO}_2 \text{ Eq} = (Gg \text{ gas}) \times (GWP) \times \left(\frac{Tg}{1000Gg} \right) \quad (2.1)$$

Burada;

Tg CO₂ Eq: Karbon dioksit eşdeğerlerinin teragram cinsinden değeri

Gg gas: Gigagram (1000 metric ton'a eşdeğer) cinsinden yakıtın miktarı

GWP: Küresel Isınma Potansiyeli

Tg: Teragram

şeklinde ifade edilmiştir.

GWP değerleri, emisyonların etkilerinin kıyaslanması ve farklı gazların azaltılması gibi konularda fikir sahibi olunmasında yardımcı olmaktadır. IPCC'ye göre, küresel ısınma potansiyelleri kabaca ±%35 gibi bir belirsizliğe sahiptir. Özellikle atmosfer ömürleri belirlenmemiş olan gazlarda bu belirsizlik değerleri diğerlerine göre daha büyüktür. Atmosfer ömürleri izafi olarak uzun olan sera gazları (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ gibi) atmosferde daha eşit şekilde dağılmışlardır ve sonuç olarak da küresel olarak ortalama konsantrasyonları belirlenebilmektedir. Su buharı, CO, troposfer ozonu, diğer çevre kirleticiler (NO_x ve NMVOC), troposferdeki aerosoller (SO₂ ürünleri ve is) gibi kısa ömürlü gazlar, konumsal olarak değişiklik göstermektedir ve bu nedenle küresel sera gazı etkilerini belirlemek güçtür. GWP değerleri genel olarak bu tip kısa ömürlü ve konumsal olarak homojen olmayan dağılım gösteren gazlar için uygulanmamaktadır. [8]

Tablo 2.1: Bazı gazların küresel ısınma faktörleri (GWP) ve atmosfer ömürleri (20, 100 ve 500 yıllık ömürleri)

Gaz	Atmosfer Ömrü	100 Yıllık GWP	20 Yıllık GWP	500 Yıllık GWP
CO ₂	50-200	1	1	1
CH ₄	12±3	21	56	6.5
N ₂ O	120	310	280	170
HFC-23	264	11700	9100	9800
CF ₄	50000	6500	4400	10000
SF ₆	3200	23900	16300	34900

Tablo 2.1'deki değerler IPCC 1996 değerleridir. Her sera gazı atmosferde ısı tutma kapasitesine göre farklılık göstermektedir. HFC ve PFC'ler en çok ısı hapsedme özelliğine sahip gazlardır. Örneğin metan, karbondioksit'e göre molekül başına 21 kat daha fazla ısı hapsedmektedir.

3. IPCC METODOLOJİSİ

3.1 Tanım

1992 yılında Rio de Janeiro’da 150 civarında ülke tarafından imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ile küresel olarak çevreye ve ekonomik gelişmeye karşı temel tehlikenin iklim değişikliği olduğu kabul edilmiştir. Sözleşmenin temel olarak, iklim sistemine insan etkisi sonucu verilen sera gazları ile oluşacak zararı düzenlemeyi amaçlamaktadır. Sözleşme ayrıca bütün taraflara; periyodik olarak ulusal envanterlerini geliştirmesi, yenilemesi ve yayınlaması, ve sera gazı emisyon envanterlerinde kıyaslamalı metodolojiler kullanması için çağrıda bulunmaktadır.

Tekrar düzenlenmiş olan 1996 IPCC Kılavuzuyla, bu bahsedilen hedefleri tamamlamak isteyen sözleşmeye taraf olan ülkelere yardımcı olunması amaçlanmaktadır. [9]

IPCC Kılavuzu 3 kitaptan oluşmaktadır. Birinci kitap, ulusal envanter oluşturmak için, adım adım nasıl veri toplanacağı, bu verilerin nasıl değerlendirileceği ve elde edilen sonuçların en son adımda nasıl bildirileceğini içeren raporlama bilgilerini içermektedir. İkinci kitap, raporlamada kullanılacak olan tabloları içeren ve hesaplamaların nasıl yapılacağını gösteren bir çalışma kitabıdır. Üçüncü kitap ise kullanılabilecek metodları anlatan, ülkelerin kendi başlarına elde edemediği verilerin yerine kullanılabilecek ortalama değerleri içeren referans kitabıdır. (Bu üç dökümanın ayrıntılı isimleri, bu çalışmanın kaynaklar bölümünde 9, 10, 11 numaralı kaynaklar olarak listelenmiştir).

Sera gazı envanteri hesaplamalarında IPCC şu şekilde ana başlıklar kullanmıştır:

- Enerji
- Endüstriyel İşlemler
- Solvent ve diğer ürünlerin kullanımı
- Tarım

- Yeryüzü coğrafyasının ve ormanların kullanımı
- Atıklar

Bu çalışmada, “Enerji” başlığı altında, mobil kaynakların neden olduğu emisyonlar bölümünün içeriğinden yararlanılmıştır.

Ulaştırma kısmında, sektöre bağlı olmaksızın bütün ulaştırma faaliyetlerinde kullanılan yakıtların yakılması ve buharlaşmasından kaynaklanan emisyonlar hesaplanmaktadır. Uluslararası ulaştırmaya satılan bütün yakıt miktarı bu ulusal envanterden hariç tutulmaktadır. [9]

Enerji sistemlerinden kaynaklanan emisyon envanterinde CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO ve NMVOC ile beraber SO₂ emisyonu gibi doğrudan ve dolaylı sera gazı özelliği içeren emisyonlar hesaplanmaktadır. Enerji sistemlerindeki emisyonlar, yakıtın yanmasından kaynaklanan emisyonlar ve kaçak emisyonlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Alt başlık olan ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonlar doğrudan yakıtın yanmasıyla ilgilidir. Özellikle CO₂ gazı diğer gazlardan farklı olarak daha kesin hesaplanabilmektedir, çünkü doğrudan yakıtın yakılmasıyla ilişkili bir gazdır. Yanma sonucunda ortaya çıkan CO₂, o yakıtın ne kadar verimli yakıldığının da bir göstergesidir, çünkü CO₂ yanmanın doğal ürünüdür. CO₂ emisyonu, yakıt satış veya tüketi değerlerinin kullanılarak birkaç düzeltme yardımıyla kolayca hesaplanabilmektedir. Her ülkenin yakıt tüketim değerleri özellikle ticari araçlar sektöründe bilinmektedir. Ancak burada uluslararası veriler ile o ülkenin kendi değerlerinin birbirlerini ne kadar tutacağı önem kazanmaktadır. Bir diğer fark da emisyon faktörleridir. IPCC Kılavuzu, önceden hesaplanmış olan ortalama değerlere sahiptir. Ama ulusal envanter aşamasında, o ülke eğer böyle bir imkana sahipse, kendi emisyon faktörlerini oluşturup bunları kullanması tavsiye edilmektedir.

CO₂ gazından farklı olarak, CH₄, N₂O, NO_x, CO ve NMVOC gazlarının hesabında daha detaylı bilgiye gerek duyulmaktadır. Yanma koşulları, teknolojisi, emisyon standartları, yakıt karakteristikleri gibi çeşitli faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu aşamada “Tier” kavramları önplana çıkmaktadır. [11]

3.2 IPCC Tier Yaklaşımları

Emisyonları hesaplama metodları “Tier” şeklinde ifade edilen çeşitli seviyede bölümlere ayrılmıştır. Burada seviyeyi belirleyen faaliyet ve teknoloji detaylarıdır. Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntemken, Tier 3 metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Genel olarak Tier 1 ve diğer Tier yöntemleri şeklinde de bir ayırım yapmak mümkündür. Çünkü daha yüksek kademe denilebilen Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri temel olarak aynı mantıkla kullanılmaktadır. Kullanılacak kategorileri daha detaylı hale getirdikçe yeni bir Tier aşamasına geçiliyor gibi de düşünülebilir.

3.2.1 Tier 1 Yaklaşımı

Ulaştırma sektöründen kaynaklanan bütün emisyon değerlerinin hesabı, yakıtın yanması üzerine kurulmuş durumdadır. Bu yöntemde, kullanılan yanma teknolojisi hiç hesaba katılmamaktadır. Basitçe ifade edilirse, top-down denilen yöntemle, eğer x kadar yakıt (ham petrol, kömür, doğal gaz) bir ülkede kullanılıyorsa, bununla orantılı olarak y kadar emisyon çıkacaktır mantığında hesaplama yapılmaktadır.

Özellikle CO₂ emisyonu hesabı için bu yöntem iyi bir şekilde düzenlenebilmiştir. CO₂ dışındaki gazlar için basit bir metod geliştirilmiştir. Gerçekte, bu gazların emisyonları için kullanılan yakıt tipi, yanma teknolojisi, çalışma koşulları, kontrol teknolojisi, araç yaşı ve özellikleri gibi veriler kullanılmalıdır. Ancak çoğu ülkenin bu tip detaylı verilere sahip olmadığı gerçeği düşünüldüğünde bu iyileştirmeler yapılmaksızın, yaklaşık bir sonuç vermesi planlanan bir hesaplama yöntemi izlenecektir. [10, 11]

3.2.1.1 Karbondioksit (CO₂) emisyonları

Karbon dioksit insan faaliyetleri sonucu oluşan en büyük oranlı sera gazıdır. Sanayi devriminden bu yana, sera gazı etkisi göstermek suretiyle radyoaktif ışımaya zorlama diğer bir ifade ile ısı hapsedme özelliğinde %60 artış göstermiştir. CO₂ emisyonunun açığa çıkmasında en büyük faktör fosil yakıtların yakılması işleminde karbonun oksitlenmesidir. Aynı zamanda fosil yakıt yakılması, insan faaliyetleri sonucu oluşan CO₂ emisyonlarından %70-90 oranında pay sahibidir. [11]

CO₂ emisyonlarının hesabında şu şekilde bir sıra izlenir:

1. Her sektörün yakıt tüketim değerleri belirlenir.
2. Bu yakıt tüketim değerinin enerji içeriği bulunur.
3. Her yakıt grubu için uygun karbon emisyon faktörleri seçilir ve bu değer kullanılarak yakıtın içeriğindeki toplam karbon miktarı bulunur.
4. Eğer varsa, ürünlerde depolanan karbon miktarı bulunur. (Ulaştırma sektöründe kullanılan yakıt değerlerinde bu adım gözardı edildi.)
5. Yanma sırasında oksitlenmeyen karbon miktarı bulunur ve böylece tamamen yanmaya katılan karbon değerine ulaşılır.
6. Son olarak net karbon değeri, CO₂'in moleküler ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı yardımıyla, CO₂ şekline dönüştürülür.

Referans yaklaşımına göre yakıt tüketim değerleri şu denklemlerle bulunmaktadır.

$$\text{Birincil Yakıt Tüketimi} = Pr + Im - Ex - IB - SC \quad (3.1)$$

$$\text{İkincil Yakıt Tüketimi} = Im - Ex - IB - SC \quad (3.2)$$

Burada;

Pr: Üretilen yakıt miktarı

Im: İthal edilen yakıt miktarı

Ex: İhraç edilen yakıt miktarı

IB: Uluslararası kullanıma satılan yakıt miktarı

SC: Stoklarda meydana gelen değişim miktarı

değerlerini ifade etmektedir.

Birincil yakıtlar, kömür, ham petrol, doğalgaz gibi doğada var oldukları şekliyle kullanılan yakıtlardır. İkincil yakıtlar ise, birincil yakıtlardan üretilen benzin, yağlayıcılar gibi yakıt ürünleridir. Hesaplarda birincil yakıtların üretim değeri kullanılırken, ikincil yakıtların üretim değeri hesaba katılmaz. Çünkü zaten ikincil yakıtlar da birincil yakıtlardan üretildiği için tekrar tüketim değerine katılmaz. Ama ithal edilen ikincil yakıtlar varsa o değerler hesaba katılmalıdır. Birincil yakıtlarda

Üretim değerini hesaba katarken, ikincil yakıtta da üretim hesaba katılsaydı, aynı değer iki kere hesaba katılmış olurdu. [11]

Bu çalışmada daha sonra hesap kısmında anlatılacağı üzere, ilk adımdaki birincil ve ikincil yakıt tüketim yöntemi kullanılmamıştır. Çünkü, bu hesaplamayı yapmak için yeterli veri elde edilememiştir. Bunun yerine resmi makamlardan alınan toplam tüketim değerleri kullanılmıştır. Zaten ulaştırma sektöründe birincil yakıtlar doğrudan kullanılmadığı için, ve işlenmiş şekilde piyasaya sürülen ikincil yakıtlar araçlar tarafından kullanıldığı için hesaplarda resmi makamlardan alınan bu tüketim değerleri ilk adımda hesaplanacak olandan farklı bir sonuç vermeyecektir.

İkinci adımda, yakıt tüketim değerlerini IPCC Kılavuzunda verilen dönüşüm faktörleri ile çarparak, yakıt grubunun enerji içeriği bulunur. İlk adımda kullanılan yakıt tüketim değerleri enerji biriminde verilmişse (TJ) bu adımda işlem yapmaya gerek yoktur. Ama ilk adımda bulunan yakıt tüketim değerleri kütle cinsinden (kg, ton) verilmişse, net kalori değerlerine göre belirlenmiş olan dönüşüm faktörleri (TJ/kt veya TJ/ton gibi) ile çarpılıp, enerji birimi olan TJ değerine geçiş yapılır. Tablo 3.1’de IPCC Kılavuzunda verilmiş bu net kalori değerlerinden bazıları bulunmaktadır. [10, 11]

Tablo 3.1: Yakıtların net kalori değerleri (dönüşüm faktörleri)

YAKIT	Net Kalori Değerleri (TJ/kt)
Benzin (Otomotiv ve havacılık)	44.80
Jet Yakıtı	44.59
Dizel Yakıt (Motorin)	43.33
Fuel Oil	40.19
LPG	47.31

Sonraki adımda karbon emisyon faktörleri yardımıyla yakıtların karbon içeriği bulunur. IPCC her ülkenin kendi karbon emisyon faktörlerini hesaplamasını önermektedir. Ama, bunu yapma imkanı veya zamanı olmayan ülkeler için bazı ortalama değerler sunmaktadır.

Tablo 3.2: Karbon emisyon faktörleri (CEF)

YAKIT	Karbon Emisyon Faktörü (t C/TJ)
Benzin	18.9
Jet Yakıtı	19.5
Dizel Yakıt (Motorin)	20.2
Fuel Oil	21.1
LPG	17.2
Doğal Gaz (Kuru)	15.3

Karbon emisyon faktörü ile önceki adımda hesaplanan yakıt tüketim değerini çarparak, karbon emisyonunun miktarı bulunur. Ton karbon cinsinden bulunan emisyon değerini 1000'e bölerek Gg birimine geçmek mümkün olmaktadır.

$$\text{Toplam Karbon (Gg C)} = \text{ET (TJ)} \times \text{CEF (t C/TJ)} \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

Burada;

ET: Enerji tüketimi (TJ biriminde)

CEF: Karbon emisyon faktörü (ton karbon / TJ biriminde)

ifadeleriyle verilmiştir.

Depo edilen karbon miktarı ulaştırma sektörünün emisyon değerlerinin hesabında gözardı edilecektir. Çünkü, zaten ulaştırma sektöründe kullanılan yakıtlar son yakıt halindedir ve bunların daha sonra başka bir işlemde geçirilip enerji dışı bir uygulamada kullanılması söz konusu değildir. Bu sektörde yakıt tamamen yakılmak ve enerji üretmek için kullanılmaktadır. Ulaştırma dışındaki uygulamalarda bu adımı da hesaplamak gerekir. Ama bu çalışmada incelenen sektör ulaştırma sektörü olduğu için bu adım atlanmıştır.

Beşinci adım olan oksitlenmeyen karbonun hesabında ise, yine IPCC tarafından önerilen, yakıtların oksitlenme yüzdeleri (diğer bir ifade ile yanma verimi) değerleri kullanılmaktadır. Yanma odasına giren karbonun tamamı oksitlenmez. Bu oksitlenmeden salınan miktar, sıvı yakıtlarda çok düşüktür. Bu adım özellikle katı yakıt kullanılan sektörler için önem taşımaktadır. Ulaştırma sektörü hesabında kullanılan yakıt sıvı yakıtlar olduğu için buradaki kayıp çok azdır. Ama yine de hassas bir hesap için bu adım da uygulanmıştır. IPCC tarafından önerilen değerler, petrol ürünlerinin %1'lik bir kayıpla yani 0.99 oranında oksitlendiği, gaz halindeki yakıtların ise 0.995 oranında oksitlendiğini belirtmektedir. Üçüncü adımda hesaplanan yakıtın karbon içeriği değerini buradaki oksitlenebilme yüzdesi ile çarparak ne kadarlık karbonun oksitlendiği bulunmaktadır.

Son aşamada ise, oksitlenmiş olan karbon değerini, CO₂ değerine dönüştürmek gereklidir. Bunun için CO₂'in molekül ağırlığının karbonun molekül ağırlığına oranı olan 44/12 oranı ile önceki adımda bulunan değer çarpılır. Bu son aşamada bulunan değer yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu değeridir. [10, 11]

3.2.1.2 CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC emisyonları

CO₂ dışındaki emisyonların hesabında (SO₂ hariç) yapılan işlem bütün gazlar için aynıdır. IPCC tarafından önerilmiş olan emisyon faktör değerleri ile yakıt tüketim değerleri çarpılarak her gazın emisyon değeri bulunur.

Tablo 3.3: Emisyon faktörleri (kg/TJ)

EF	CH ₄		N ₂ O		NO _x		CO		NMVOC	
SEKTÖR	Yakıt		Yakıt		Yakıt		Yakıt		Yakıt	
	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel	Benzin	Dizel
Karayolu	20	5	0.6	0.6	600	800	8000	1000	1500	200
Havayolu	0.5		2		300		100		50	
Demiryolu	5		0.6		1200		1000		200	
Denizyolu	5		0.6		1500		1000		200	

CH₄ emisyonu mobil kaynaklarda, yakıtın metan içeriği, motordan yanmadan geçen hidrokarbonların miktarı, motor tipi ve yanma sonrası kontrol teknolojilerine bağlıdır. Emisyon kontrolü olmayan araçlarda metan emisyonu oranı, düşük devirlerde çalışırken ve motor ralantideyken yüksektir. Kötü ayarlanmış bir motor yüksek CH₄ çıkmasına neden olmaktadır.

N₂O emisyonu da küresel olarak az oranda salınmaktadır ve belirsizlik yüksektir. Düşük yanma sıcaklıkları (özellikle 1200 K altında) N₂O emisyonunun en çok olduğu sıcaklıktır. Katalitik dönüştürücülerden dolayı da N₂O oluşmaktadır. Ulaştırma sektöründe N₂O değeri, toplam insan kaynaklı emisyonların içinde düşük değere sahip olsa da, özellikle karayolu araçlarında emisyon kontrol teknolojilerinin (katalitik dönüştürücü) kullanılması N₂O değerinin belirgin bir şekilde artmasına neden olmaktadır. 2 stroklu araçların emisyon faktörleri 4 strokluların emisyon faktöründen 3 kat daha yüksektir.

NO_x emisyonları (NO ve NO₂'yi içermektedir) dolaylı olarak sera gazı etkisi göstermektedir. NO_x emisyonları ozon oluşturulmasında role sahip oldukları için hesaba katılmalıdır, ayrıca doğrudan asitleştirme etkisi de bulunmaktadır. NO_x gazının insan kaynaklı oluşmasının en belirgin yolu yakıt yanmasıdır. Azot oksit oluşumunda iki mekanizmadan söz edilebilir; yakıttaki azotun kimyasal dönüşümlerle NO şeklini alması (yakıt azot oksidi), ve yanma prosesinde atmosferdeki azotun ısının da etkisiyle NO şeklini alması (termal azot oksit). Termal NO_x oluşumu, yüksek yanma sıcaklığına ve yüksek hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Mobil kaynaklarda oluşan NO_x, hava-yakıt karışımı ve yanma sıcaklığının

yanında emisyon kontrol teknolojisine de bağlıdır. Emisyon kontrolü olmayan araçlarda, dizel yakıtlı araçların NO_x emisyonu oranı benzinli araçlara göre daha düşüktür. Aynı şekilde hafif dizellerin NO_x emisyonu da ağır dizellere göre daha düşüktür.

CO emisyonlarının çoğu motorlu taşıtlarda yakıtın yanması sonucu oluşmaktadır. Doğrudan sera gazı özelliği olmasa da dolaylı olarak daha önce anlatıldığı gibi sera gazı önemi taşımaktadır. CO yanma prosesinde bir ara üründür ve genel olarak stokiyometrik koşullardan daha düşük oksijen bulunması durumunda oluşur. Mobil taşıtlarda CO oluşumu yanmanın verimine ve yanma sonrası emisyon kontrol teknolojisine bağlıdır. Hava-yakıt karışımı zengin olduğunda, yani tam yanma için gerekenden az oksijen bulunduğunda CO emisyonları en yüksek değere ulaşır. Otto motorlarda bu durum özellikle ralantide, düşük devirlerde ve soğuk ilk hareket koşullarında oluşmaktadır.

Metan haricindeki uçucu organik bileşikler (NMVOC) dolaylı olarak sera gazı etkisi göstermektedir. NMVOC bileşikleri, hidrojen atomları kısmen veya tamamen diğer atomlarla (S, N, O, halojen gibi) yer değiştirmiş bütün hidrokarbon bileşiklerini içermektedir. NMVOC emisyonları (olefin, keton, aldehit gibi) eksik yanmanın ürünleridir. Mobil kaynaklarda NMVOC emisyonları, motordan yanmadan geçen hidrokarbon miktarının fonksiyonudur. Motor tipi, yakıt tipi, katalitik konvertör gibi yanma sonrası emisyon kontrol sistemleri ve sürüş rejiminden etkilenmektedir. Düşük hızlarda ve motor ralantideyken emisyonlar yüksektir. [11]

Bu bilgiler ışığında, deneysel olarak hesaplanmış olan ortalama emisyon faktörleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Bu değerler IPCC tarafından önerilen değerlerdir. Emisyon hesabında yapılan işlem ise şu şekilde formüle edilebilir:

$$\text{Emisyonlar} = \sum (EF_{ab} \times \text{Tüketim}_{ab}) \quad (3.4)$$

EF: Emisyon faktörü (kg/TJ)

Tüketim: Enerji değeri cinsinden yakıt tüketimi (TJ)

a: Yakıt tipi (dizel, benzin, LPG gibi)

b: Sektör faaliyeti (karayolu, havayolu gibi)

Emisyon hesabında, Tablo 3.3'teki emisyon faktörleri ile yakıt tüketim değerleri çarpılarak sonuca gidilir. Burada hesapları yakıt tipi ve sektöre göre gruplandırmak mümkündür.

3.2.1.3 Kükürtdioksit (SO₂) emisyonları

Kükürt dioksit bir sera gazı değildir ama atmosferde bulunması iklimi etkileyebilir. SO₂ Fotokimyasal olarak üretilmiş olan çeşitli oksitleyicilerle reaksiyona girerek sülfat aerosolleri oluşturabilir. Kükürt içeren yakıtların yakılması ile bu partiküllerin konsantrasyonu artmaktadır. SO₂ emisyon faktörleri şu şekilde bulunur:

$$EF_{SO_2} = 2 \times \left(\frac{s}{100}\right) \times \frac{1}{Q} \times 10^6 \times \left(\frac{100-r}{100}\right) \times \left(\frac{100-n}{100}\right) \quad (3.5)$$

EF: Emisyon faktörü (kg/TJ)

EF_{SO₂} SO₂ gazının emisyon faktörü (kg/TJ)

2: Moleküler ağırlıklar oranı SO₂/SO (kg/kg)

s: Yakıtın kükürt içeriği (%)

r: Külde kalan kükürt miktarı (%)

Q: Net kalori değeri (TJ/kt)

10⁶: Birim değiştirme katsayısı

n: Kükürt azaltma teknolojisinin verimi (%)

Tablo 3.4: Yakıtların kükürt içeriği

Yakıt	Ortalama Değeri (%)
Benzin	0.1
Dizel (Motorin)	0.3
Fuel Oil	3
Jet Yakıtı	0.05
Doğal gaz	Önemsiz

Külde kalan kükürt miktarı (r), ulaştırma sektöründe kullanılan yakıtların sıvı yakıt olması nedeniyle gözardı edilebilir ve hesaba katılmamaktadır. [11]

Kükürt azaltma teknolojisinin verim (n) değeri farklı teknolojilere göre değişmektedir. Bu çalışmada bu katsayı %50 alınmıştır.

Emisyon faktörleri Tablo 3.4'teki katsayılar yardımıyla ve 3.5 numaralı denklem kullanılarak hesaplanır. Bu emisyon faktörleri 3.4 numaralı denklemde diğer emisyon hesaplarında olduğu gibi, emisyon faktörü ve yakıt tüketimin çarpılması ile bulunur.

3.2.2 Detaylı Tier Yaklaşımları (Tier 2 ve Tier 3 Yaklaşımı)

Tier 1 yöntemleriyle, Tier 2 ve 3 arasındaki temel fark, yakıtın kullanıldığı yanma teknolojisi hakkında bilgi sahibi olmaya gereksizce rahatlıkla elde edilebilen yakıt tüketim veya dağıtım değerlerinin kullanılmasıdır. Tier 2 ve 3 arasındaki farkı belirlemek ise daha zordur, çünkü emisyon hesap işlemlerinin iyileştirilmesi sonucu bir yaklaşımdan diğerine geçilmiştir. Genel olarak Tier 2 yaklaşımıyla, uygun emisyon faktörleri kullanılabilecek şekilde yakıt tüketim gruplarını ayırmak amaçlanmaktadır. Tier 3 aşamasında ise yakıt tüketim değerlerinden farklı olarak araçların yaptıkları yol uzunluğu veya ton-km biriminde taşınan yük değeri gibi unsurlar hesaba katılarak, bunlara uygun emisyon faktörleri yardımıyla hesaplama yapılır. [11]

Bu çalışmada kullanılan yöntem ise karayolları için Tier 3 kategorisine alınabilir. Havayolu ve demiryolunda ise Tier 2 seviyesinde bir hesaplama yapılmıştır.

Mobil kaynaklarda oluşan emisyonlar, karayolu, demiryolu, havayolu ve denizyolundaki temel ulaştırma faaliyetlerinden faydalanarak hesaplanabilmektedir. Ancak mobil kaynaklarda oluşan emisyonların büyük bir kısmı karayolu ulaşımı (%82) ve ikinci olarak da havayolu ulaşımına (%13) ait olduğu için, emisyon modellerinin geliştirildiği sektörler genellikle kara araçları ve uçaklardır.

Mobil kaynaklarda oluşan emisyonların hesabı çeşitli parametrelerin bilinmesini gerektiren karmaşık bir işlemdir. Transport sınıfı, tüketilen yakıt, çalışma karakteristikleri, emisyon kontrol seviyesi, araç yaşları gibi çeşitli unsurların bilinmesi gereklidir. Genel emisyon hesap modeli şu şekilde ifade edilebilir.

$$\text{Emisyonlar} = \Sigma(\text{EF}_{a_w c} \times \text{Aktivite}_{a_w c}) \quad (3.6)$$

Buradaki semboller;

EF: Emisyon faktörü

Aktivite: Tüketilen enerji miktarı veya verilen mobil kaynağın katettiği yol uzunluğu

a: Yakıt tipi (dizel, benzin, LPG gibi)

w: Araç tipi (özel otomobil, hafif dizel, ağır dizel gibi)

c: Emisyon kontrol özellikleri

şeklinde verilmiştir.

Araçlar öncelikle ulaştırma grubuna göre ayrıldıktan sonra her grup kendi içinde kategorilerine (otomobil, kamyon, otobüs gibi) ve kullandıkları yakıt sınıfına (dizel, benzin, LPG gibi) göre düzenlenir. Eğer mevcutsa emisyon kontrol teknolojilerine göre de daha alt gruplara ayırmak mümkündür. Aktivite değeri olarak araçların aldıkları yol (menzil) göz önüne alınacaksa, her grup için bu değerler belirlenmelidir.

Araçların enerji tüketim ve/veya menzil değerleri de belirlendikten sonra her araç grubunu uygun olan emisyon faktörü ile çarpmak gereklidir. Her grup için ortaya çıkan emisyon değerleri de toplanarak genel toplama ulaşılır.

IPCC Kılavuzunda verilen emisyon faktörleri Kuzey Amerika ve Avrupa için iki ayrı bölüm halinde verilmiştir. 1996 IPCC kılavuzunda, Amerikan emisyon faktörleri MOBILE5 modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Bu model Amerikan Çevre Koruma Dairesi tarafından geliştirilmiş ve güncellenmiş olan modellerden biridir. Avrupa verileri ise CORINAIR COPERT (Co-ordinated Information on the Environment in the European Community AIR) modeli yardımıyla elde edilmiştir. Emisyon faktörleri CO₂, CO, NO_x, N₂O, CH₄ ve NMVOC gazları için karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşımında kullanılan farklı sınıfta araçlar için geliştirilmiştir. Uçaklar için ise daha detaylı bir analize imkan tanıyan metodoloji de 1996 IPCC Kılavuzunda verilmiştir. [11]

Bu çalışmada araç özelliklerinin Türkiye'deki taşıt parkına benzerliğinden ötürü Avrupa emisyon yaklaşımı kullanılmıştır. Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş olan COPERT modeli ile elde edilen emisyon faktörlerinden yararlanılarak Türkiye taşıt parkının oluşturduğu emisyonlar hesaplanmıştır. Burada tek fark, 1996 IPCC Kılavuzunda Avrupa emisyonları hesabı için verilen değerler COPERT90 modeli ile yapılmış olduğu için özellikle emisyon teknolojileri konusunda günümüzde daha yeni standartların geliştirilmiş olması nedeniyle araçları gruplandırma işlemi Türkiye taşıt parkı da göz önüne alınarak farklı bir şekilde düzenlenmiştir. Yani COPERT modeli ile verilmiş olan emisyon faktörleri, uygun olan taşıt grubu, tipi ve motor özelliklerine göre seçilerek yeniden gruplandırılmıştır. Bu aşamada karayolunda

dizel araçlarda emisyon kontrol teknolojisi sınıflandırması konusunda bir ayrıma gerek görülmemiştir. Ancak benzinli otomobillerin çok çeşitli motor tipi ve emisyon teknolojisine sahip olmaları nedeniyle, bu grupta Türkiye'ye özel düzenlemeler yapılmıştır. Bu ayarlamaların detayları ileriki bölümlerde anlatılmıştır.

3.2.2.1 Karayolu detaylı metod

1996 IPCC Kılavuzu, karayolu emisyonlarının hesabında, COPERT90 modeli ile hesaplanmış olan emisyon faktörlerinin içinden, Türkiye taşıt parkına göre uygun olanları seçilerek gruplandırılmıştır. Burada verilmiş olan emisyon faktörleri içinden bazı değerlerin, Türkiye'ye uygunmuş gibi kabul edilmesi dolayısıyla, bu hesaplamalardan alınacak sonuçlar ile ilgili belirsizlikler sözkonusu olmaktadır. Bu nedenle yapılan kabuller ile elde edilecek sonuçların mümkün olduğu kadar Tier 1 ile elde edilen sonuçlarla orantılı olması amaçlanmaktadır. Zaten bu çalışmanın sonuç kısmında da anlatılacağı üzere, bu yapılan çalışma gelecekteki çalışmalar için taslak niteliği taşımaktadır. Burada oluşacak hataların daha sonra değerlendirilebilmesi için, hangi verilerin daha düzenli toplanması, ne tip istatistikler tutulması ve gelecekte hangi çalışmaların yapılması gerektiği ile ilgili yorumlar sonuç bölümünde açıklanmıştır. Türkiye'de bu çapta detaylı bir metod kullanımı için yeterli veri olmamasından dolayı bu çalışmada Avrupa ülkelerinin değerlerinden Türkiye şartlarına uygun olanları seçilmek zorunda kalınmıştır.

Tablo 3.5: Benzinli otomobil emisyon faktörleri

Birimler	NO _x	CH ₄	NM _{VOC}	CO	N ₂ O	CO ₂
Emisyon Kontrolü Yok (Ortalama Yakıt Tüketimi 11.2 l/100 km)						
g/km	2.2	0.07	5.3	46	0.005	270
g/kg yakıt	27	0.8	63	550	0.06	3180
g/MJ	0.6	0.02	1.5	13	0.001	73
ECE 15/04 Emisyon Standardı (Ortalama Yakıt Tüketimi 8.3 l/100 km)						
g/km	2.3	0.07	4.5	19	0.005	200
g/kg yakıt	37	1.1	72	300	0.08	3180
g/MJ	0.8	0.03	1.7	6.9	0.002	73
Euro I Emisyon Standardı (Ortalama Yakıt Tüketimi 8.5 l/100 km)						
g/km	0.5	0.02	0.5	2.9	0.05	205
g/kg yakıt	8.2	0.3	7.1	45.9	0.8	3180
g/MJ	0.12	0.007	0.2	1	0.02	73

Tablo 3.6: Dizel otomobil emisyon faktörleri

Birimler	NOx	CH ₄	NMVOC	CO	N ₂ O	CO ₂
Ortalama Yakıt Tüketimi 7.3 l/100 km						
g/km	0.7	0.005	0.2	0.7	0.001	190
g/kg yakıt	11	0.08	3.0	12	0.2	3140
g/MJ	0.3	0.002	0.07	0.3	0.004	74

Tablo 3.7: Hafif dizel (minibüs ve kamyonet) emisyon faktörleri

Birimler	NOx	CH ₄	NMVOC	CO	N ₂ O	CO ₂
Ortalama Yakıt Tüketimi 10.9 l/100 km						
g/km	1.4	0.005	0.4	1.6	0.02	280
g/kg yakıt	16	0.06	4.6	18	0.2	3140
g/MJ	0.4	0.001	0.1	0.4	0.004	74

Tablo 3.8: Ağır dizel (otobüs ve kamyon) emisyon faktörleri

Birimler	NOx	CH ₄	NMVOC	CO	N ₂ O	CO ₂
Ortalama Yakıt Tüketimi 29.9 l/100 km						
g/km	10	0.06	1.9	9.0	0.03	770
g/kg yakıt	42	0.2	8.0	36	0.1	3140
g/MJ	1.0	0.006	0.2	0.9	0.003	74

Tablo 3.9: LPG otomobil emisyon faktörleri

Birimler	NOx	CH ₄	NMVOC	CO	N ₂ O	CO ₂
Ortalama Yakıt Tüketimi 11.2 l/100 km						
g/km	2.2	0.06	1.5	7.1	---	180
g/kg yakıt	37	1.0	25	120	---	3030
g/MJ	0.9	0.02	0.6	2.6	---	65

3.2.2.2 Havayolu detaylı metod

Havayolu emisyon hesabında kullanılan faaliyet değerleri, sivil ticari kullanımdaki yolcu ve yük taşımacılığında, tarifeli veya charter uçakların trafiğini kapsamaktadır. Askeri ve özel kullanımlar bu trafiğe dahil değildir. Çalışma koşulları iki şekilde ifade edilir:

1. İniş/Kalkış Faaliyetleri: İngilizce literatür ifadesi ile Landing/Take Off cycle (LTO), 914 m (3000 feet) altında havameydanı civarında gerçekleşen bütün motor çalışır konumdaki, bekleme, yolcu indirme ve bindirme, tırmanma ve iniş aktivitelerini içermektedir. Bu çalışmada bu faaliyet ile ilgili değerlerden “LTO sayısı” şeklinde kısaltılmış olarak bahsedilecektir.
2. Seyir Faaliyetleri: 914 metre üstündeki bütün aktiviteleri içerir (Literatürde “Cruise activity” şeklinde geçmektedir). Bir üst sınırı yoktur. 914 metre üstündeki tırmanma veya iniş aktivitesi de seyir durumundaki aktivitelerdir.

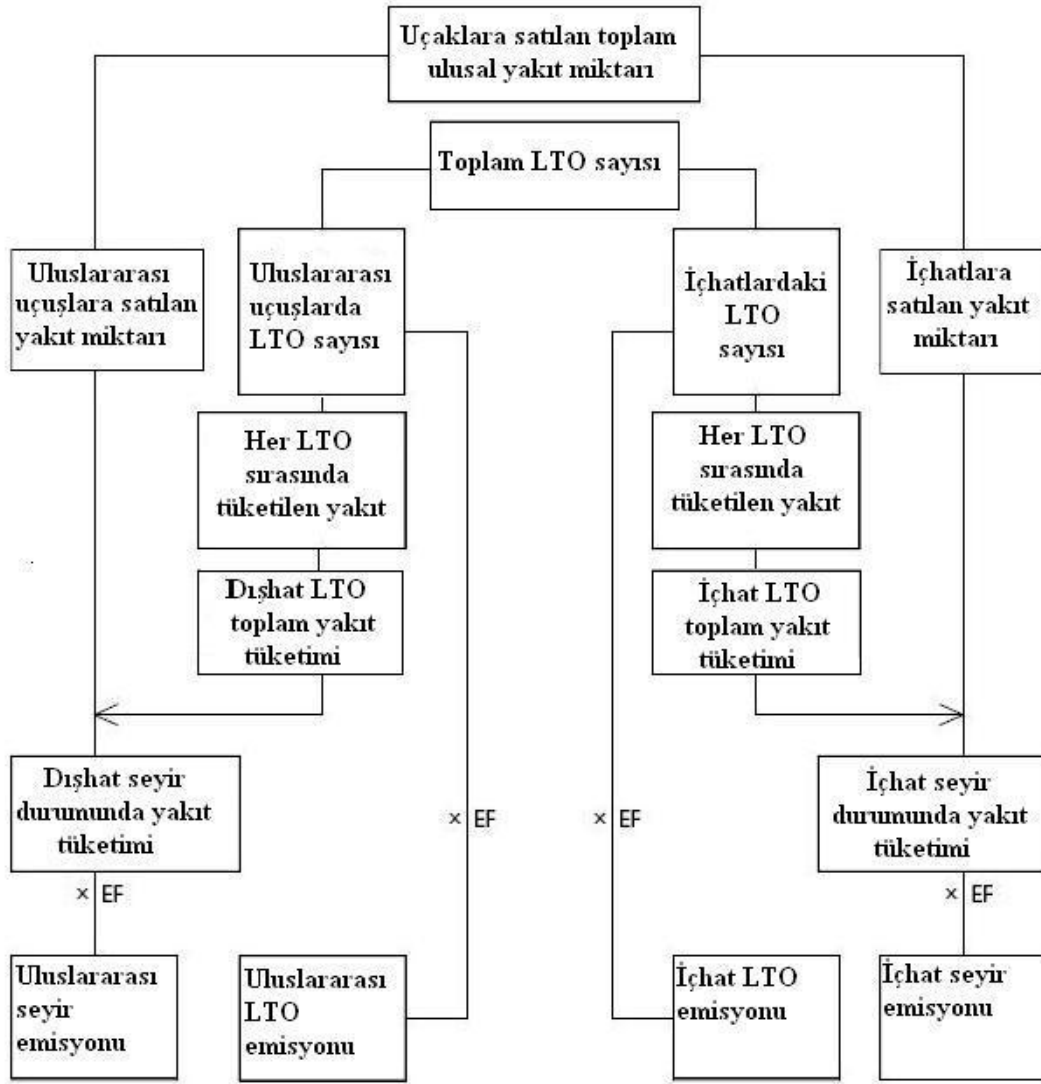
Ulusal emisyon envanter hesabında, uluslararası uçuşlar envantere katılmaz. Sadece yurt içi uçuş aktiviteleri hesaba katılır. Uluslararası bir uçuşta, eğer uçak ülkenin bir havaalanından kalkıp, bir diğerinde inip, tekrar havalanırsa ve yurt dışına çıkarsa, ilk yapılan aktivite yurt içi, ikincisi yurt dışı sayılır.

LTO emisyon faktörleri, Uluslararası Sivil Havacılık Kurumu (ICAO, International Civil Aviation Organization) veritabanından seçilmiş olan değerlerdir. Emisyon hesaplarında 1996 IPCC Kılavuzunda verilen ortalama değerler kullanılmıştır. [10, 11]

Havayolu trafiğinden kaynaklanan emisyonlar, kullanılan yakıt tipine, egzoz gazının salındığı yüksekliğe, motorun tipi ve verimine, uçuşun uzunluğuna bağlıdır. Emisyonlar, uçaklarda yakıt olarak kullanılan jet kerosen ve uçak benzininden kaynaklanmaktadır. 1996 IPCC Kılavuzunda önerilen Tier 2 metodu sadece jet yakıtı kullanan jet uçaklarında geçerlidir. Uçak benzini küçük uçaklarda kullanılmaktadır ve havacılıkta kullanılan tüm yakıtın %1 gibi bir miktarına karşılık gelmektedir. Bu nedenle küresel tüketimde bu kadar az bir orana sahip olan ve özel havacılıktan gelen bu düşük miktar için emisyon faktörleri hesaplanmamıştır. Enerji kullanımı ve bu nedenle oluşan emisyonların miktarı, uçağın çalışma koşullarına ve her kademede (LTO veya seyir durumu) harcadığı zamana bağlıdır.

Ulusal havacılıkta oluşan NO_x miktarının %60-80 kısmı, SO_2 ve CO_2 'nin %80-90'ı 914 metre üstündeki yüksekliklerde oluşmaktadır. CO için bu değer %50, ve VOC için %20-40 civarındadır. Genel olarak bu emisyonların %80-90'lık kısmı 914 metre üstündeki yüksekliklerde oluşmaktadır. [11]

Uçaklardan kaynaklanan emisyonların hesabında Şekil 3.1'de gösterilen metod kullanılacaktır. Öncelikle Türkiye'de uçaklara satılan yakıt miktarı ve bunun ne kadarının yerel uçuşlara satıldığı bulunmaktadır. İç hatlar uçuşlarındaki LTO sayısı, her LTO başına düşen yakıt tüketim değeriyle çarpıldığında LTO sayılarından kaynaklanan yakıt tüketimleri elde edilir. Bu değer iç hatlara satılan yakıt miktarından çıkartılırsa aradaki fark seyir halindeki yakıt tüketimini verecektir. LTO ve seyir sırasında tüketilen yakıt miktarları da bulunmuş olduğu için bu değerler uygun olan emisyon faktörleri ile çarpılırsa her uçağa ait emisyon ve toplam emisyonları bulmak mümkün olmaktadır. (Yöntemin uygulaması sonraki bölümlerde yapılmıştır.)



Şekil 3.1: Tier 2 yaklaşımıyla uçak emisyonlarının hesabında uygulanan metod

Emisyon faktörleri değerleri 1996 IPCC Kılavuzunda bulunan değerlerden seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu aşamada kılavuzda bazı uçaklara ait olan emisyon değerleri bulunmaktadır. Ancak Türkiye’de uçan her uçağın modeli kılavuzda bulunmamaktadır. Bu nedenle IPCC, model veya özellik olarak benzer uçaklar için tablolarda bulunan emisyon faktörlerinden uygun olanların seçilmesini, bu tip seçime uygun olmayan uçaklar içinse ortalama değerlerin verildiği tablodaki emisyon faktörlerinin seçilmesini önermektedir. Bu ortalama emisyon faktörleri Tablo 3.10’da görülmektedir.

Tablo 3.10: Yerel uçuşlarda kullanılan ortalama emisyon faktörleri

	Yakıt Tüketimi	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
LTO yeni filo (kg/LTO)	850	2680	0.3	0.1	10.2	8.1	2.6	0.8
LTO eski filo (kg/LTO)	1000	3150	0.4	0.1	9.0	17	3.7	1.0
Seyir (kg/t yakıt)	--	3150	0	0.1	11	7	0.7	1.0

3.2.2.3 Demiryolu ve denizyolu taşıtları detaylı metod

Demiryollarından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında kullanılan emisyon faktörleri 1996 IPCC Kılavuzundaki tablolardan seçilmiş olup, uygulanan metod karayollarındaki ve havayollarındaki gibi detaylı bir metod değildir. Yakıt başına emisyon miktarı şeklinde verilmiş olan emisyon faktörleri ile demiryollarında tüketilen yakıt miktarlarının çarpılması ile sonuç bulunmaktadır. Bu bakımdan uygulanan bu yöntem Tier 1 yönteminde çok farklı değildir. Zaten elde edilen sonuçlar da hemen hemen aynıdır.

Tablo 3.11: Dizel lokomotifler için seçilen emisyon faktörleri

	NO _x	CH ₄	NMVOC	CO	N ₂ O	CO ₂
g/kg yakıt	74.3	0.25	5.5	26.1	0.08	3188
g/MJ	1.8	0.006	0.13	0.61	0.002	75.0

Denizyolu emisyonlarının hesabı için ise yeterli kaynak bulunamadığından Tier 2 yöntemleri kullanılamamıştır. Burada yapılacak işlem de demiryollarındaki yöntemden çok farklı değildir. Yine 1996 IPCC Kılavuzunda önerilen emisyon faktörleri değerleri tüketilen yakıt ile çarpılıp toplam emisyon değeri bulunur. Ancak denizyollarındaki araçlar yeterli bir şekilde gruplandırılmadığı ve teknik veri toplanamadığı için bu sektörde sadece Tier 1 hesabı yapılmıştır.

4. TIER I YAKLAŞIMI İLE EMİSYON HESAPLAMALARI

Türkiye emisyon envanteri çalışmasında, verilerin elde edilebilmesi kaydıyla, 1990 ve 2004 yılları arasında 15 yıl için hesaplamalar yapılmıştır. Burada belirleyici olan faktör, temel verilerin resmi makamlardan alınabilmesidir. Değerlerin tahmin edilebileceği veya yaklaşık değerlerin alınabileceği durumlarda, bu değerler konu içinde ayrıca belirtilmektedir. Ancak tahmin edilmesi veya kabul edilmesi mümkün olmayan bazı ana değerler elde edilemediği takdirde o yılların hesaplamalarının yapılması mümkün olmamaktadır. Çalışma sırasında bu problemle, özellikle Tier 2 metodlarının uygulanmasında karşılaşmıştır.

4.1 CO₂ Emisyonu Hesaplanması

Tier 1 metodu ile emisyon hesaplamalarında 3. bölümde anlatılmış olan yöntemler izlenecektir. İlk aşamada Türkiye'nin tüm ulaştırma sektörlerindeki yakıt tüketim değerleri belirlenmektedir. Burada yakıt tüketim değerleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan dökümanlardan ve TCDD yıllıklarından elde edilmiştir.

Tablo 4.1: 1990-2004 Yılları arasında her sektörün yakıt kullanımı [12, 13]

YAKIT TÜKETİMLERİ (TON)								
YIL	KARAYOLU			HAVAYOLU		DEMİRYOLU	DENİZYOLU	
	Benzin	Motorin	LPG	Jet Yakıtı	Benzin	Motorin	Fuel Oil	Motorin
1990	2698435	4954663	0	292223	1166	162062	90000	69376
1991	2619631	4573530	0	330900	2342	165000	95000	75000
1992	2946504	4426348	0	350945	1539	156000	120000	80000
1993	3533735	5478490	0	468153	1460	183000	120977	87000
1994	3555025	4912182	0	521906	286	194000	103059	92000
1995	3945675	5245145	0	867237	0	194000	133918	93724
1996	4259870	5507139	0	956326	0	198300	124774	94356
1997	4388170	4448150	405000	1009831	0	198000	123190	95500
1998	4545391	3542895	550000	1038409	0	200000	122300	105000
1999	4305850	4358322	705073	899443	0	200000	101000	105000
2000	3655455	4943075	1307492	970991	0	149851	90000	105000
2001	3171274	5327839	1302331	1055046	0	118395	95000	155000
2002	3143248	5728410	1095436	1199223	0	119045	97800	159000
2003	2958066	6193132	1212668	1314199	0	123772	104300	174000
2004	2961803	6682964	1260207	1526855	0	117399	109300	274000

Yakıt tiplerine göre tüketim değerleri (ton biriminde) her sektör için belirlendikten sonra, uygun olan dönüşüm faktörü ile çarpılır. Bu dönüşüm faktörleri daha önce Tablo 3.1’de verilen ve net kalori değerlerine göre belirlenmiş olan TJ/kt birimindeki değerlerdir. Böylece tüketilen yakıtın enerji içeriğine veya enerji tüketimi birimine (TJ) geçilmiş olur.

$$\text{Enerji Tüketimi [TJ]} = \text{Yakıt Tüketimi [t]} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü [TJ/kt]} \quad (4.1)$$

Bir sonraki adımda Tablo 3.2’de verilmiş olan karbon emisyon faktörleri yardımıyla, tüketilen yakıtın karbon içeriği bulunur. Burada uygun olan karbon emisyon faktörleri seçilip (TJ enerji birimi başına ton karbon içeriği), Denklem 4.1’de bulunan enerji tüketimi değeri ile çarpılıp, yakıtın karbon içeriği bulunur. Ardından bu değer 10^{-3} ile çarpılarak IPCC tarafından kullanılan Gg (gigagram) birimine geçilir.

$$\text{Karbon İçeriği [t C]} = \text{Karbon Emisyon Faktörü [t C/TJ]} \times \text{Enerji Tüketimi [TJ]} \quad (4.2)$$

$$\text{Karbon İçeriği [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [t C]} \times 10^{-3} \quad (4.3)$$

Dördüncü adımda, oksitlenen karbon yüzdesi (oksitlenme oranı) değerleri yardımıyla, ne kadar karbonun yanma sırasında oksidasyona uğradığı hesaplanır. Petrol ürünlerinde, sıvı yakıtlar 0.99 gaz yakıtlarda ise 0.995 oranında oksitlenmektedir. [11]

$$\text{Karbon Emisyonu [Gg C]} = \text{Karbon İçeriği [Gg C]} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (4.4)$$

Son olarak CO₂ emisyonunu bulmak için, CO₂ ve karbonun mol ağırlıklarının oranından yararlanılır. CO₂’in mol ağırlığı 44, karbonun mol ağırlığı 12 olduğu için, Denklem 4.4 ile bulunan karbon emisyonu değeri 44/12 oranı ile çarpılarak gerçek CO₂ emisyonu değeri elde edilir.

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu [Gg CO}_2\text{]} = \text{Karbon Emisyonu [Gg C]} \times (44/12) \quad (4.5)$$

Tablo 4.1’de verilmiş olan 1990-2004 yılları arasındaki ulaştırma sektörüne ait olan yakıt tüketim değerlerinden, bu yöntemler yardımıyla, ne kadar emisyon salınacağı bulunmaktadır. Örneğin 2004 yılında karayolunda benzin tüketimi sonucunda açığa çıkan CO₂ emisyonu hesabı şu şekildedir:

$$\text{Yakıt Tüketimi}_{\text{Karayolu 2004}} = 2961803 \text{ (ton benzin)} = 2961.803 \text{ kt}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44.80 \text{ TJ/kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 2961.803 \times 44.80 = 132688.8 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzinin Karbon Emisyon Faktörü} = 18.9 \text{ t C/TJ}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 132688.8 \times 18.9 = 2507817.8 \text{ t C}$$

$$\text{Karbon İçeriği} = 2507817.8 \times 10^{-3} = 2507.82 \text{ Gg C}$$

$$\text{Benzinin Karbon Oksitlenme Oranı} = 0.99$$

$$\text{Gerçek Karbon Emisyonu} = 2507.82 \times 0.99 = 2482.74 \text{ Gg C}$$

$$\text{Karbondiyoksit Emisyonu} = 2482.74 \times 44/12 = 9103.38 \text{ Gg CO}_2$$

Bu şekilde yapılan hesap ile 2004 yılında, karayollarında tüketilen 2961803 ton benzin, 9103.38 Gg CO₂ emisyonu vermektedir. Bu da 9.1 milyon ton CO₂ emisyonuna eşittir. Tablo 4.2’de 2004 yılına ait bütün ulaştırma sektörünün hesabı görülmektedir.

Tablo 4.2: 2004 yılına ait emisyon hesap tablosu

2004	ADIM 1	ADIM 2		ADIM 3			ADIM 4		ADIM 5
Ulaştırma Grubu	A Yakıt Tüketimi	B Dönüşüm Faktörü	C Enerji Tüketimi	D Karbon Emisyon Faktörü	E Karbon İçeriği	F Karbon İçeriği	G Oksitlenen Karbon Yüzdesi	H Gerçek Karbon Emisyonu	I Gerçek CO2 Emisyonu
	(t)	(TJ/kt)	(TJ)	(t C/TJ)	(t C)	(Gg C)		(Gg C)	(Gg CO2)
			C=AxBx10 ⁻³		E=CxD	F=Ex10 ⁻³		H=GxF	I=[Hx(44/12)]
Ulusal Havacılık									
Uçak Benzini	0	44.80	0	18.9	0	0	0.99	0	0
Jet Yakıtı	1526855	44.59	68082.5	19.5	1327608.1	1327.61	0.99	1314.33	4819.22
		Aratoplam	68082.5					Aratoplam	4819.22
Karayolu									
LPG	1260207	47.31	59620.4	17.2	1025470.8	1025.47	0.995	1020.34	3741.26
Benzin	2961803	44.80	132688.8	18.9	2507817.8	2507.82	0.99	2482.74	9103.38
Dizel	6682964	43.33	289572.8	20.2	5849371.2	5849.37	0.99	5790.88	21233.22
		Aratoplam	481882.0					Aratoplam	34077.86
Demiryolu									
Dizel	117399	43.33	5086.9	20.2	102755.4	102.76	0.99	101.73	373.00
		Aratoplam	5086.9					Aratoplam	373.00
Ulusal Denizcilik									
Dizel	274000	43.33	11872.4	20.2	239822.9	239.82	0.99	237.42	870.56
Fuel Oil	109300	40.19	4392.8	21.1	92687.4	92.69	0.99	91.76	336.46
		Aratoplam	16265.2					Aratoplam	1207.01
	Toplam		571316.5	Toplam Ulaştırma Emisyonu					40477.09

Diğer yılların hesabı da bu yöntemle aynı şekilde yapılmaktadır. Tablo 4.1'deki değerler her yıl için Tablo 4.2'deki gibi kullanılarak sonuç emisyonlarına ulaşılır. Bu hesaplamalarla oluşan değerler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları (kt)

CO ₂ Emisyonları (kiloton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam CO ₂
1990	24035.9	925.9	514.9	497.5	25974.2
1991	22582.8	1051.6	524.2	530.7	24689.4
1992	23119.8	1112.4	495.6	623.6	25351.5
1993	28267.6	1482.1	581.4	648.8	30980.0
1994	26533.8	1648.2	616.4	609.5	29407.9
1995	28792.4	2737.3	616.4	710.0	32856.0
1996	30590.5	3018.5	630.0	683.9	34922.9
1997	28822.5	3187.3	629.1	682.6	33321.6
1998	26860.0	3277.5	635.4	710.1	31483.1
1999	29175.0	2838.9	635.4	644.5	33293.8
2000	30822.2	3064.7	476.1	610.7	34973.7
2001	30541.2	3330.0	376.2	784.9	35032.3
2002	31113.6	3785.1	378.2	806.2	36083.1
2003	32368.9	4148.0	393.3	873.9	37784.1
2004	34077.9	4819.2	373.0	1207.0	40477.1

4.2 CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC Emisyonlarının Hesaplanması

CO₂ dışındaki emisyonların hesaplanmasında, üçüncü bölümde anlatılan yöntemler kullanılmaktadır. Temel olarak yapılan işlem şu şekilde açıklanabilir:

$$\text{Emisyon}_{a,b} = \text{Yakıt Tüketimi}_{a,b} \times \text{Emisyon Faktörü}_{a,b} \quad (4.6)$$

a: Yakıt türü (benzin, motorin, LPG vb.)

b: Ulaştırma sektörünün alt grubu (karayolu, demiryolu vb.)

Yani, bir gazın emisyonunun hesabı için, her alt sektör grubundaki yakıt çeşidine ait tüketim miktarını, o yakıt çeşidine ait olan emisyon faktörü ile çarparak sonuca ulaşılır. Burada kullanılacak yakıt tüketim değerleri Tablo 4.1'de verilmiş olan yakıt tüketimleridir. Ancak, emisyon faktörleri kg/TJ (Tablo 3.3) biriminden verildiği için, tıpkı CO₂ emisyonu hesabında olduğu gibi bu yakıt tüketim değerini öncelikle enerji içeriği (enerji tüketimi) şeklinde ifade etmek ve daha sonra da emisyon faktörü ile çarpmak gerekir. Bunun için 4.1 denklemi ile gösterilen işlem yapılmaktadır. Bu işlem sırasında daha önce Tablo 3.1'de verilmiş olan dönüşüm faktörleri kullanılır. Yakıt tüketimi ile dönüşüm faktörü çarpıldıktan ve enerji tüketimi değerine

ulaşıldıktan sonra, daha önce Tablo 3.3'te verilmiş olan emisyon faktörleri kullanılarak, o yakıt tüketime ait emisyonlar hesaplanır. Hesaplamada yapılan işlemlere bir örnek olarak, 2004 yılı karayolu benzin tüketimi için CH₄ emisyonu hesabı şu şekildedir:

$$\text{Yakıt Tüketimi}_{\text{Karayolu 2004}} = 2961803 \text{ ton benzin}$$

$$\text{Dönüşüm Faktörü} = 44.80 \text{ TJ/kt}$$

$$\text{Enerji Tüketimi} = 2961803 \times 44.80 \times 10^{-3} = 132688.8 \text{ TJ}$$

$$\text{Benzinin CH}_4 \text{ Emisyon Faktörü} = 20 \text{ kg/TJ}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu}_{\text{Karayolu 2004}} = 132688.8 \times 20 = 2653776 \text{ kg}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu}_{\text{Karayolu 2004}} = 2653776 \text{ kg} = 2653.8 \text{ ton CH}_4$$

Bu örnekte görüldüğü gibi öncelikle yakıt tüketim değeri (Tablo 4.1), o yakıt türüne ait olan dönüşüm faktörü ile (Tablo 3.1) çarpılır. Ardından hesaplanmak istenen emisyon türüne ait olan emisyon faktörü (Tablo 3.3) kullanılarak o gazın emisyonu bulunur. Üstteki örnekte 2004 yılında, karayolunda benzin tüketimi sonucu açığa çıkan CH₄ emisyonları hesaplanmıştır. 2004 yılında, karayollarında, 2961803 ton benzin tüketilmiş olup, bunun sonucunda 2653.8 ton CH₄ emisyonu açığa çıkmıştır.

N₂O, NO_x, CO ve NMVOC emisyonlarının hesabı için de yine CH₄ emisyonu hesabında yapılanlarla aynı işlemler uygulanmaktadır. Tek fark Tablo 3.3'ten seçilen emisyon faktörü hesaplanmak istenen emisyon gazına ait olmalıdır. Örneğin karayolunda benzin tüketimi için verilmiş olan emisyon faktörleri CH₄ için 20 kg/TJ, N₂O için 0.6 kg/TJ, NO_x için 600 kg/TJ, CO için 8000 kg/TJ ve NMVOC için 1500 kg/TJ şeklinde ifade edilmiştir. Bu değerler 1996 IPCC Kılavuzunda verilmiş olan ve deneysel çalışmalar ile bulunmuş olan ortalama emisyon faktörleridir.

Yukarıda verilen örnek diğer bütün sektörler ve emisyonlar için uygulandığında 2004 yılı hesaplamaları Tablo 4.4'te görülmektedir.

Tablo 4.4: Ulaştırma sektöründe 2004 yılı emisyon hesaplamaları

2004 YILI	A		B		C	
Sektör	Yakıt Tüketimleri (TJ)		Emisyon Faktörleri (kg/TJ)		Emisyonlar (kg)	
					C=AxB	
CH ₄ Emisyonları						
	Yakıt		Yakıt		Yakıt	
Havayolları	68082.46		0.5		34041.2	
Karayolları	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin
	132688.77	289572.83	20	5	2653775.5	1447864.2
Demiryolları	5086.90		5		25434.5	
Denizyolları	16265.19		5		81325.9	
N ₂ O Emisyonları						
	Yakıt		Yakıt		Yakıt	
Havayolları	68082.46		2		136164.9	
Karayolları	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin
	132688.77	289572.83	0.6	0.6	79613.3	173743.7
Demiryolları	5086.90		0.6		3052.1	
Denizyolları	16265.19		0.6		9759.1	
NO _x Emisyonları						
	Yakıt		Yakıt		Yakıt	
Havayolları	68082.46		300		20424739.3	
Karayolları	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin
	132688.77	289572.83	600	800	79613264.6	231658264.1
Demiryolları	5086.90		1200		6104278.4	
Denizyolları	16265.19		1500		24397780.5	
CO Emisyonları						
	Yakıt		Yakıt		Yakıt	
Havayolları	68082.46		100		6808246.4	
Karayolları	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin
	132688.77	289572.83	8000	1000	1061510195.2	289572830.1
Demiryolları	5086.90		1000		5086898.7	
Denizyolları	16265.19		1000		16265187.0	
NMVOC Emisyonları						
	Yakıt		Yakıt		Yakıt	
Havayolları	68082.46		50		3404123.2	
Karayolları	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin	Benzin	Motorin
	132688.77	289572.83	1500	200	199033161.6	57914566.0
Demiryolları	5086.90		200		1017379.7	
Denizyolları	16265.19		200		3253037.4	

Hesaplamalar Tablo 4.4'te görüldüğü gibi yapılmaktadır. Diğer yıllar için yapılan işlemler de buradakiyle aynıdır. Yakıt tüketim sütununa o yıla ait olan değer girilerek, emisyon faktörü ile çarpılıp sonuç elde edilir. Burada bir tek karayolları için benzin ve motorin ayrımı yapılmıştır. Diğer sektörlerde zaten benzin tüketimi olmadığı için o ulaştırma gruplarında tek değer girilmiştir.

Bu yöntemlerle 1990-2004 yılları için hesaplamalar yapıldığında elde edilen emisyon değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Tablo 4.5 CH₄ emisyonlarının yıllar içindeki değişimini göstermektedir. Toplam CH₄ emisyonları içinde en büyük payın karayolu ulaşımına ait olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CH₄ emisyonları (t)

CH ₄ Emisyonları (Ton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam CH ₄
1990	3491.2	6.5	35.1	33.1	3566.0
1991	3338.0	7.4	35.7	35.3	3416.6
1992	3599.0	7.9	33.8	41.4	3682.1
1993	4353.1	10.5	39.6	43.2	4446.4
1994	4249.5	11.6	42.0	40.6	4343.8
1995	4671.7	19.3	42.0	47.2	4780.3
1996	5010.0	21.3	43.0	45.5	5119.8
1997	4895.5	22.5	42.9	45.4	5006.3
1998	4840.2	23.2	43.3	47.3	4954.0
1999	4802.3	20.1	43.3	43.0	4908.7
2000	4346.2	21.6	32.5	40.8	4441.2
2001	3995.7	23.5	25.7	52.7	4097.6
2002	4057.4	26.7	25.8	54.1	4164.0
2003	3992.2	29.3	26.8	58.7	4106.9
2004	4101.6	34.0	25.4	81.3	4242.4

N₂O emisyonlarının 1990-2004 yılları arasındaki değişimi Tablo 4.6’da verilmiştir. Her emisyon grubunda olduğu gibi yine en yüksek payın karayolu emisyonlarında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan N₂O emisyonları (t)

N ₂ O Emisyonları (Ton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam N ₂ O
1990	201.3	26.2	4.2	4.0	235.7
1991	189.3	29.7	4.3	4.2	227.6
1992	194.3	31.4	4.1	5.0	234.7
1993	237.4	41.9	4.8	5.2	289.2
1994	223.3	46.6	5.0	4.9	279.8
1995	242.4	77.3	5.0	5.7	330.5
1996	257.7	85.3	5.2	5.5	353.6
1997	233.6	90.1	5.1	5.5	334.3
1998	214.3	92.6	5.2	5.7	317.8
1999	229.0	80.2	5.2	5.2	319.6
2000	226.8	86.6	3.9	4.9	322.2
2001	223.8	94.1	3.1	6.3	327.2
2002	233.4	106.9	3.1	6.5	350.0
2003	240.5	117.2	3.2	7.0	368.0
2004	253.4	136.2	3.1	9.8	402.3

NO_x emisyonlarında da en büyük pay karayolu ulaşımına aittir. NO_x emisyonları büyüklük olarak, CO₂ dışındaki emisyonlar arasında, CO emisyonunun ardından en büyük paya sahip ikinci gazdır. NO_x gazından sonra en büyük pay NMVOC emisyonlarına aittir.

Tablo 4.7: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan NO_x emisyonları (t)

NO _x Emisyonları (Ton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam NO _x
1990	244282.4	3924.7	8426.6	9934.7	266568.4
1991	228952.5	4457.9	8579.3	10601.7	252591.5
1992	232637.0	4715.3	8111.4	12433.8	257897.4
1993	284893.2	6282.1	9515.3	12947.7	313638.2
1994	265834.9	6985.4	10087.2	12192.5	295100.0
1995	287877.5	11601.0	10087.2	14164.8	323730.5
1996	305404.8	12792.8	10310.8	13654.7	342163.0
1997	272144.7	13508.5	10295.2	13633.5	309581.9
1998	244991.0	13890.8	10399.2	14197.3	283478.4
1999	266818.1	12031.8	10399.2	12913.3	302162.4
2000	269605.4	12988.9	7791.7	12250.1	302636.1
2001	269928.1	14113.4	6156.1	15801.3	305998.8
2002	283060.1	16042.0	6189.9	16230.1	321522.1
2003	294191.5	17580.0	6435.6	17596.9	335804.1
2004	311271.5	20424.7	6104.3	24397.8	362198.3

CO emisyonları Tablo 4.8’de görülmektedir. CO emisyonları, CO₂ dışındaki emisyonlar arasında (CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC), en büyük paya sahip olan emisyonlardır. CO oluşmasında en büyük pay karayoluna aittir. Karayolu ulaşımında da, benzin kullanan araçların verdiği emisyon aynı enerji içeriği başına yaklaşık 8 kat daha fazladır. Zaten karayolu ulaşımında kullanılan toplam yakıt miktarları, diğer ulaşım sistemlerinde tüketilene göre çok daha fazla olduğu için, açığa çıkan CO emisyonlarının içinde en büyük paya karayolunun sahip olması beklenen bir sonuçtur.

CO emisyonlarının dağılımına benzer bir durum NMVOC (metan harici uçucu organik bileşikler) için de geçerlidir. Yine en büyük değerler karayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır. Karayolu taşıtlarından kaynaklanan NMVOC emisyonları 1990 yılından 2004 yılına gelindiğinde %20 artmıştır. NMVOC emisyonları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO emisyonları (t)

CO Emisyonları (Ton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam CO
1990	1181804.7	1308.2	7022.1	6623.2	1196758.2
1991	1137046.8	1486.0	7149.5	7067.8	1152750.0
1992	1247820.7	1571.8	6759.5	8289.2	1264441.1
1993	1503873.6	2094.0	7929.4	8631.8	1522528.8
1994	1486965.8	2328.5	8406.0	8128.3	1505828.6
1995	1641402.1	3867.0	8406.0	9443.2	1663118.3
1996	1765361.7	4264.3	8592.3	9103.1	1787321.5
1997	1765458.5	4502.8	8579.3	9089.0	1787629.7
1998	1782581.8	4630.3	8666.0	9464.9	1805342.9
1999	1732062.7	4010.6	8666.0	8608.8	1753348.2
2000	1524298.5	4329.6	6493.0	8166.8	1543288.0
2001	1367439.9	4704.5	5130.1	10534.2	1387808.6
2002	1374752.1	5347.3	5158.2	10820.1	1396077.7
2003	1328519.3	5860.0	5363.0	11731.2	1351473.6
2004	1351083.0	6808.2	5086.9	16265.2	1379243.4

Tablo 4.9: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan NMVOC emisyonları (t)

NMVOC Emisyonları (Ton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam NMVOC
1990	224271.9	654.1	1404.4	1324.6	227655.1
1991	215673.4	743.0	1429.9	1413.6	219259.9
1992	236363.8	785.9	1351.9	1657.8	240159.4
1993	284943.6	1047.0	1585.9	1726.4	289302.8
1994	281466.6	1164.2	1681.2	1625.7	285937.7
1995	310603.8	1933.5	1681.2	1888.6	316107.1
1996	333988.1	2132.1	1718.5	1820.6	339659.3
1997	333432.7	2251.4	1715.9	1817.8	339217.8
1998	336153.0	2315.1	1733.2	1893.0	342094.3
1999	327122.3	2005.3	1733.2	1721.8	332582.6
2000	288483.3	2164.8	1298.6	1633.4	293580.0
2001	259280.7	2352.2	1026.0	2106.8	264765.7
2002	260868.7	2673.7	1031.6	2164.0	266738.0
2003	252451.7	2930.0	1072.6	2346.2	258800.6
2004	256947.7	3404.1	1017.4	3253.0	264622.3

4.3 Kükürt Dioksit (SO₂) Emisyonu Hesaplanması

Kükürt dioksit emisyonlarının hesaplanmasında, ilk olarak, daha önce 3. bölümde 3.5 denklemi ile verilen formül yardımıyla emisyon faktörü hesaplanır, ardından bu emisyon faktörü ile yakıt tüketimi değeri çarpılarak SO₂ emisyonu bulunur.

İlgili ifade şu şekildedir:

$$EF_{SO_2} = 2 \times \left(\frac{s}{100}\right) \times \frac{1}{Q} \times 10^6 \times \left(\frac{100-r}{100}\right) \times \left(\frac{100-n}{100}\right) \quad (4.7)$$

EF: Emisyon faktörü (kg/TJ)

2: Moleküler ağırlıklar oranı SO₂/SO (kg/kg)

s: Yakıtın kükürt içeriği (%)

r: Külde kalan kükürt miktarı (%)

Q: Net kalori değeri (TJ/kt)

10⁶: Birim değiştirme katsayısı

n: Kükürt azaltma teknolojisinin verimi (%)

Emisyon faktörü hesabında ilk olarak yukarıdaki denklemde “s” ile gösterilmiş olan yakıtın kükürt içeriği değeri Tablo 3.4’ten seçilir. Net kalori değerleri (Q), daha önceki hesaplarda kullanılan dönüşüm faktörü ile aynı değerlerdir. Üçüncü bölümde anlatıldığı gibi, “r” ile gösterilen külde kalan kükürt miktarı değeri, ulaştırma sektöründe kullanılan yakıtların sıvı yakıt olmaları nedeniyle gözardı edilecektir. Kükürt azaltma teknolojisinin verimi (n) ise ortalama bir değer olarak %50 seçilmiştir. Bu belirlemelere göre emisyon faktörleri şu şekilde hesaplanır.

Benzinin emisyon faktörü:

$$EF_{Benzin SO_2} = 2 \times \left(\frac{0.1}{100}\right) \times \frac{1}{44.8} \times 10^6 \times \left(\frac{100-0}{100}\right) \times \left(\frac{100-50}{100}\right) \quad (4.8)$$

$$EF_{Benzin SO_2} = 22.32 \text{ kg/TJ}$$

Motorinin emisyon faktörü:

$$EF_{Motorin SO_2} = 2 \times \left(\frac{0.3}{100}\right) \times \frac{1}{43.33} \times 10^6 \times \left(\frac{100-0}{100}\right) \times \left(\frac{100-50}{100}\right) \quad (4.9)$$

$$EF_{Motorin SO_2} = 69.24 \text{ kg/TJ}$$

Jet yakıtının emisyon faktörü:

$$EF_{Jet\ SO_2} = 2 \times \left(\frac{0.05}{100}\right) \times \frac{1}{44.59} \times 10^6 \times \left(\frac{100-0}{100}\right) \times \left(\frac{100-50}{100}\right) \quad (4.10)$$

$$EF_{Jet\ SO_2} = 11.21 \text{ kg/TJ}$$

Fuel oil emisyon faktörü:

$$EF_{fueloil\ SO_2} = 2 \times \left(\frac{3}{100}\right) \times \frac{1}{40.19} \times 10^6 \times \left(\frac{100-0}{100}\right) \times \left(\frac{100-50}{100}\right) \quad (4.11)$$

$$EF_{fueloil\ SO_2} = 746.45 \text{ kg/TJ}$$

Emisyon faktörleri bulunduktan sonra yapılan işlem, diğer emisyonlar için yapılan işlemlerle aynıdır. Yakıt tüketim değeri ile emisyon faktörü çarpılarak emisyon değerleri elde edilir. Tablo 4.10’da 2004 yılındaki yakıt tüketimlerine göre yukarıda hesaplanan emisyon faktörleri yardımıyla SO₂ emisyonlarının hesabı yapılmıştır.

Tablo 4.10: SO₂ emisyonunun 2004 yılı değerleriyle hesaplanması

YIL: 2004	Yakıt Tüketim	SO ₂ Emisyon Faktörü	SO ₂ Emisyonları
	(TJ)	(kg/TJ)	(t)
Havayolları			
Benzin	0	22.32	0
Jet Yakıtı	68082.46	11.21	763427.5
		Toplam	763427.5
Karayolları			
Benzin	132688.77	22.32	2961803.0
Motorin	289572.83	69.24	20048892.0
		Toplam	23010695.0
Demiryolları			
Motorin	5086.90	69.24	352197.0
		Toplam	352197.0
Denizyolları			
Motorin	11872.42	69.24	822000.0
Fuel Oil	4392.77	746.45	327900.0
		Toplam	410100.0

Yukarıda izlenen yönteme göre 1990-2004 yılları arasında Türkiye’de ulaştırma sektöründen kaynaklanan SO₂ emisyonları Tablo 4.11’de verilmiştir. Bu değerlere göre en büyük SO₂ emisyonu kaynağı karayolu ulaşımıdır. Karayolundan sonra ise denizyolları büyük bir SO₂ kaynağıdır. Denizyolları için belirleyici olan faktör yakılan fuel oil olmaktadır. Fuel oil yüksek miktarda kükürt içeriği nedeniyle

yakıldığında SO₂ emisyonunu yüksek değerlerde vermektedir. Havayolu ve demiryolu ulaşımı ise toplam içinde en düşük paylara sahiptir.

Tablo 4.11: Ulaştırma sektöründen kaynaklanan SO₂ Emisyonları (t)

SO ₂ Emisyonları (Ton)					
Yıl	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Toplam SO ₂
1990	17562.4	147.3	486.2	2908.1	21104.0
1991	16340.2	167.8	495.0	3075.0	20078.0
1992	16225.5	177.0	468.0	3840.0	20710.6
1993	19969.2	235.5	549.0	3890.3	24644.1
1994	18291.6	261.2	582.0	3367.8	22502.6
1995	19681.1	433.6	582.0	4298.7	24995.4
1996	20781.3	478.2	594.9	4026.3	25880.6
1997	17732.6	504.9	594.0	3982.2	22813.7
1998	15174.1	519.2	600.0	3984.0	20277.3
1999	17380.8	449.7	600.0	3345.0	21775.5
2000	18484.7	485.5	449.6	3015.0	22434.7
2001	19154.8	527.5	355.2	3315.0	23352.5
2002	20328.5	599.6	357.1	3411.0	24696.2
2003	21537.5	657.1	371.3	3651.0	26216.9
2004	23010.7	763.4	352.2	4101.0	28227.3

5. DETAYLI TIER (TIER II VE III) YAKLAŞIMLARI İLE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ EMİSYONLARININ HESAPLAMALARI

Tier 1 yöntemiyle, detaylı Tier yöntemleri (Tier 2 ve 3) arasındaki temel fark, yakıtın kullanıldığı yanma teknolojisi hakkında bilgi sahibi olmaya gerek duyulmamasıdır. Çünkü ulusal kurumlardan edinilebilen yakıt tüketim değerleri veya yakıt tedarikçilerinden elde edilebilen dağıtım değerlerinin kullanılması ile hesaplamalar yapılmaktadır.

Detaylı metodlar olan Tier 2 ve 3 arasındaki farkı belirlemek ise daha zordur, çünkü emisyon hesap işlemlerinin adım adım iyileştirilmesi sonucu bir yaklaşımdan diğerine geçilmiştir. Genel olarak Tier 2 yaklaşımıyla, yakıt tüketim grupları ayrılmakta ve bunlara uygun olan emisyon faktörleri kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Tier 3 aşamasında ise yakıt tüketim değerlerinden farklı olarak araçların aldıkları yol uzunluğu veya ton-km biriminde taşınan yük değeri gibi unsurlar hesaba katılarak, bunlara uygun emisyon faktörleri yardımıyla hesap yapılır. Özellikle bu aşamada araçların kullandıkları emisyon teknolojisi de hesaba katılmaktadır. [11]

Bu çalışmada, daha önce de belirtildiği üzere, kullanılan yöntem karayolları için Tier 3 kategorisine alınabilir. Havayolu ve demiryolunda ise Tier 2 seviyesinde bir hesaplama yapılmıştır. Denizyolu taşımacılığında açığa çıkan emisyonlar, yeterli derecede veri toplanamadığı için detaylı metodlarla hesaplanamamıştır. Bu nedenle denizyollarında sadece Tier 1 yöntemi ile bulunan emisyonlar dikkate alınmalıdır.

5.1 Karayolu Detaylı Metod

Karayollarından kaynaklanan emisyonların detaylı metod ile hesaplanmasında kullanılan veriler resmi makamlardan alınmaktadır. Emisyon faktörleri, IPCC metodolojisinin anlatıldığı üçüncü bölümdeki Tablo 3.5 ile 3.9 arasındaki tablolarda verilen değerlerden seçilmektedir.

İlk aşamada Türkiye araç parkı değerleri düzenlenmelidir. Bunun için gerekli olan veriler, Devlet İstatistik Enstitüsü tarafından yayınlanan araç parkı raporlarından, trafiğe kayıt olan ve kaydı silinen araç raporları yardımıyla elde edilmektedir. [14]

Tablo 5.1: Trafiğe yeni kayıt olan araç sayıları [14]

YIL	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Dizel	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	86383	345530	815	37638	211505	19276	11979	92187
2003	5649	88495	82073	10221	100926	6729	5519	27039
2002	3347	63590	3254	4328	44073	4303	2231	16054
2001	5741	109081	2195	3739	40398	4806	2032	20165
2000	5507	104640	239326	16300	101156	15596	6955	35654
1999	5424	130172	102478	9312	67524	11456	4266	34931
1998	5229	169055	97559	19179	96977	15614	6985	35945
1997	870	28118	270120	22973	87632	15824	7447	51131
1996	6577	212653	0	14520	45751	10766	5196	34507
1995	5996	193875	0	15242	23970	7627	3002	31416
1994	7344	237444	0	15376	20883	7524	3641	45746
1993	8829	432635	0	29388	46810	15588	9012	88253
1992	6401	313643	0	108401	27989	12680	6969	88253
1991	4349	213116	0	18456	18184	9233	5623	88253
1990	16499	1633380	0	257353	263407	125399	63700	479401

Tablo 5.2: Trafikten kaydı silinen araç sayıları [14]

YIL	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Dizel	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	50123	200492	15	14838	21662	4829	1922	2643
2003	4492	70374	1148	4212	2850	3035	2116	531
2002	153	2905	1796	1796	1867	1984	1440	368
2001	152	2894	1527	1527	1727	1316	1181	241
2000	200	3802	145	1075	972	1491	805	164
1999	130	3123	87	1332	847	1268	646	153
1998	99	3197	21	1400	793	1123	467	132
1997	83	2700	0	2250	678	1384	473	172
1996	95	3071	0	2489	740	1067	396	286
1995	90	2910	0	2400	700	1000	350	280
1994	90	2910	0	2400	700	1000	350	280
1993	60	2940	0	2400	700	1000	350	280
1992	60	2940	0	2400	700	1000	350	280
1991	60	2940	0	2400	700	1000	350	280
1990	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.3’de gösterilmiş olan araç parkı bu çalışmada esas olarak kullanılmıştır. Bu araç parkı elde edilirken DİE raporlarındaki değerler arasında tutarlılık sağlamak amacıyla yeni kayıt ve hurda sayıları yardımıyla, araç parkı buradaki yeni değerler ile düzenlenmiştir. Burada 2003 yılı öncesinde çok büyük farklar olmamakla beraber, özellikle 2003 ve 2004 yıllarında, DİE tarafından verilmiş olan araç sayıları ile yeni

kayıt ve hurda değerleri birbirlerini tutmamaktadır. Bu sebeplerden dolayı, araç sayılarında bir düzenleme yapılması mecburi bir hal almıştır.

Tablo 5.3: Türkiye araç parkı

ARAÇ SAYILARI										
YIL	TOPLAM ARAÇ	Otomobil Toplam	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
			Benzin	Dizel	LPG					
2004	8136754	4879568	3968231	118256	793081	539507	1161549	259924	133361	1162845
2003	7627965	4697470	3823193	81996	792281	516707	971706	245477	123304	1073301
2002	7390072	4597267	3805072	80839	711356	510698	873630	241783	119901	1046793
2001	7261201	4531930	3744387	77646	709898	508166	831424	239464	119110	1031107
2000	7083609	4419486	3638199	72057	709230	505954	792753	235974	118259	1011183
1999	6567129	4074160	3537362	66749	470049	490729	692569	221869	112109	975693
1998	6209152	3839426	3410312	61456	367658	482749	625892	211681	108489	940915
1997	5769841	3570900	3244454	56326	270120	464970	529708	197190	101971	905102
1996	5293466	3274575	3219035	55540	0	444247	442754	182750	94997	854143
1995	4971640	3058511	3009453	49058	0	432216	397743	173051	90197	819922
1994	4698242	2861640	2818488	43152	0	419374	374473	166424	87545	788786
1993	4368014	2619852	2583954	35898	0	406398	354290	159900	84254	743320
1992	3745229	2181388	2154259	27129	0	379410	308180	145312	75592	655347
1991	3188623	1864344	1843556	20788	0	273409	280891	133632	68973	567374
1990	2839139	1649879	1633380	16499	0	257353	263407	125399	63700	479401

Araç sayılarının elde edilmesinden sonra, her araç grubunun 100 km'deki yakıt tüketimleri belirlenmelidir. Bunun için 1996 IPCC Kılavuzunda verilmiş olan araç gruplarından seçim yapılır. [11]

Yakıt tüketimlerinin belirlenmesinde araçların gruplandırılması aşamasında dizel araçlar tek bir emisyon teknolojisine sahip olarak düşünülmektedir. Sadece benzinli otomobillerde 4 emisyon standardına göre araçlar gruplanmıştır ve bu gruplamaya göre de yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir.

Benzinli otomobillerin emisyon standartlarının belirlenmesinde, egzoz emisyon standartları uyum programı göz önüne alınmıştır. Bu aşamada 1990 yılı sonrasında Türkiye'de üretilen araçların emisyon standartları, bu araçların ne kadarının ihraç edildiği ve ne kadarının trafiğe eklendiği, ithal gelen araçların emisyon standartları gibi faktörler değerlendirilerek, araç parkındaki otomobillerin emisyon standartlarıyla ilgili ortalama değerler elde edilmiştir. Bu aşamada Otomotiv Sanayii Derneği'nden (OSD) alınan bilgilerden yararlanılmıştır.

Tablo 5.4: Benzinli otomobillerin trafiğe eklendikleri yıllara ait emisyon teknolojileri

YIL	Emisyon Standardı
2004	Euro III
2003	Euro III
2002	Euro III
2001	% 32 Euro I + % 68 ECE 15.04
2000	% 30 Euro I + % 70 ECE 15.04
1999	% 21 Euro I + % 79 ECE 15.04
1998	% 15 Euro I + % 85 ECE 15.04
1997	% 9.4 Euro I + % 90.6 ECE 15.04
1996	% 4 Euro I + % 96 ECE 15.04
1995	% 1.8 Euro I + % 98.2 ECE 15.04
1994	% 1 Euro I + % 99 ECE 15.04
1993	Emisyon Kontrolü Yok
1992	Emisyon Kontrolü Yok
1991	Emisyon Kontrolü Yok
1990	Emisyon Kontrolü Yok

Tablo 5.4’de her sene trafiğe eklenen benzinli otomobillerin emisyon standartları görülmektedir. 1994 yılına kadar otomobillerin gelişmiş bir emisyon teknolojisi kullanmadığı belirlenmiştir. 1994-2001 yılları arasında trafiğe hem Euro I hem de ECE 15.04 standardında araç eklenmiştir. Örneğin Tablo 5.3’de 2000 yılında trafiğe eklenen araç sayısının %30’u Euro I standardında iken, %70’i ECE 15.04 standardındadır.

Bu şekilde emisyon standartlarının belirlenmesinden sonra 1996 IPCC Kılavuzunda verilmiş olan araç gruplarında Türkiye için uygun olduğu belirlenen yakıt tüketim değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: Araçların 100 km’deki yakıt tüketimleri (litre/100 km)

YIL	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG					
2004	8.50	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2003	8.50	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2002	8.50	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2001	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
2000	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1999	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1998	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1997	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1996	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1995	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1994	8.30	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1993	11.20	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1992	11.20	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1991	11.20	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00
1990	11.20	7.30	11.20	29.90	10.90	10.90	29.90	4.00

Tablo 5.5'deki şekilde taşıtların 100 km'de tükettikleri yakıtların belirlenmesinden sonra, her taşıt grubunun bir yılda gittiği mesafeyi belirlemek gereklidir. Bu değer için kesin bir kaynak bulunmamakla beraber, daha önce kullanılan Türkiye'deki toplam yakıt tüketim değerleri ile bir yakıt dengesi sağlayacak şekilde, araç sayısı ve 100 km'deki ortalama yakıt tüketimleri yardımıyla, araçların yıllık menzillerini ortalama olarak elde etmek mümkün olmaktadır. Burada izlenen yöntem, Türkiye'deki araç parkının değişim trendi ve toplam yakıt tüketimlerinin değişim trendi baz alınır, çeşitli otomotiv sanayi firmalarının da önerdiği değerler dikkate alınarak, her araç grubuna ait yıllık km değerlerinin belirlenmesidir. Bu yaklaşıma göre elde edilen ortalama yıllık menziller Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6: Araçların ortalama yıllık menzilleri (km)

YIL	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	Dizel	LPG					
2004	10300	10300	24000	35700	19900	20400	68300	1750
2003	10700	10700	24200	32800	17400	18450	66750	1800
2002	11400	11400	24500	30750	15100	16100	61500	1800
2001	12000	12000	28500	27800	14700	15700	58800	2000
2000	14200	14200	28000	25300	13700	15200	55820	2250
1999	17250	17250	23500	21700	12100	13100	50500	3250
1998	18800	18800	23200	17750	8400	9450	41800	3250
1997	19150	19150	23200	21800	11250	12270	54100	3500
1996	18750	18750	0	26850	14100	15330	69900	3700
1995	18580	18580	0	25500	13525	14640	67600	3700
1994	17875	17875	0	25000	12930	13975	68300	3350
1993	14370	14370	0	28000	16400	17535	77250	3350
1992	14370	14370	0	25000	14200	15135	72000	3350
1991	14930	14930	0	35000	17300	18300	82500	3000
1990	17400	17400	0	42000	19500	20500	89000	3000

Bu temel veriler elde edildikten sonra emisyonların hesabında şu yöntem izlenir:

$$\text{Emisyon [kt]} = \text{Emisyon Faktörü [g/km]} \times \text{Menzil [km]} \times 10^{-9} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'de tek bir araç için verilmiş olan emisyon değeri, o yıla ait araç sayısı ile çarpılara toplam emisyon elde edilir.

$$\text{Toplam Emisyon [kt]} = \text{Emisyon [kt]} \times \text{Araç Sayısı} \quad (5.2)$$

Toplam emisyon hesaplanırken, araç sayılarının belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken birkaç nokta bulunmaktadır. İlk olarak o yıl trafikteki araçların hangi emisyon standardına sahip olduğu ve dolayısıyla o araçlar için hangi emisyon

faktörlerinin kullanılması gerektiğine dikkat edilmelir. Bunun için hesabı yapılacak olan yılın araç parkı değerini doğrudan kullanmak yerine, önceki yılın araç parkından hurda sayısı çıkarılıp, bu elde edilen değerle o yıla ait emisyon faktörü çarpılır. Hesabı yapılan yıl için ise, yeni kayıt olan araç sayısı ile o yıla ait emisyon faktörü çarpılır. Bu iki hesap sonucu elde edilen değerler toplanarak o yıla ait emisyon değeri elde edilmiş olur.

Örneğin 1990 yılındaki benzinli otomobillerden kaynaklanan emisyonların hesabı şu şekilde yapılır:

$$\text{Yeni kayıt olan benzinli otomobil sayısı} = 1633380$$

$$\text{Araçların ortalama yıllık menzili} = 17400 \text{ km}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 270 \text{ g/km}$$

$$\text{Emisyon} = 1633380 \times 17400 \times 270 \times 10^{-9} = 7670 \text{ kt}$$

1991 yılındaki benzinli otomobillerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının hesabı şöyledir;

$$\text{Yeni kayıt olan benzinli otomobil sayısı} = 213116$$

$$\text{Araçların ortalama yıllık menzili} = 14930 \text{ km}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 270 \text{ g/km}$$

$$\text{Emisyon}_{1991 \text{ yeni}} = 213116 \times 14930 \times 270 \times 10^{-9} = 859 \text{ kt}$$

Bu değer 1991 yılında yeni kayıt olan araçların emisyon değeridir. Önceki seneden devreden araç sayısından o senenin hurda sayısı çıkarılarak, elde edilen sayı ile emisyon faktörü ve araç km'leri çarpılarak 1990 yılının parkından kalan araçlardan kaynaklanan emisyonlar elde edilir.

$$\text{Önceki yıldan kalan benzinli otomobil sayısı} = 1633380$$

$$\text{1991 yılında hurdaya çıkan araç sayısı} = 2940$$

$$\text{Araçların ortalama yıllık menzili} = 14930 \text{ km}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon Faktörü} = 270 \text{ g/km}$$

$$\text{Emisyon}_{1991 \text{ eski}} = (1633380 - 2940) \times 14930 \times 270 \times 10^{-9} = 6572 \text{ kt}$$

Bulunan bu değer, 1991 yılının yeni kayıt emisyonuna eklenerek, 1991 yılına ait toplam emisyon bulunur;

$$\text{Toplam Emisyon}_{1991} = \text{Emisyon}_{1991 \text{ yeni}} + \text{Emisyon}_{1991 \text{ eski}} \quad (5.3)$$

$$\text{Toplam Emisyon}_{1991} = 859 + 6572 = 7431 \text{ kt}$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, önceki yıldan devreden araçların emisyon faktörleri olarak hesabı yapılan yıla ait değerler değil, araçların model yıllarına uygun olan emisyon faktörlerinin seçilmesidir. Üstteki örnekte 1990 ve 1991 yılına ait araçların emisyon faktörlerinin aynı olması yanıltıcı olmamalıdır. 1990 model araçların emisyon faktörü 270 g/km, 1991 model araçların emisyon faktörü de 270 g/km'dir. Örneğin 2004 yılının hesabı yapılıyorsa, 2004 yılında araç parkında bulunan tüm modellerin kendi model yıllarına ait emisyon faktörleri kullanılarak bu hesaplamalar yapılır.

Bu hesaplamalar, 1990 yılından başlayıp 2004 yılına kadar yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan verileri içeren tablolar Tablo 5.1 ve 5.6 arasında verilmiştir. Gerekli olan emisyon faktörleri de daha önce anlatılan üçüncü bölümde verilmiştir. Yukarıdaki örnek hesaplama yardımıyla karayollarında bütün taşıt grupları için hesaplamalar yapıldığında açığa çıkan emisyonların 15 yıllık değişimi aşağıdaki tablolarda görülmektedir.

Tablo 5.7: Karayollarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)

CO ₂ Emisyonları (kiloton)								
	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
YIL	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	9989	3426	231	14485	5977	1441	6775	193
2003	10059	3451	167	13050	4734	1268	6338	184
2002	10727	3137	175	12092	3694	1090	5678	179
2001	11145	3642	177	10878	3422	1053	5393	196
2000	12887	3575	194	9856	3041	1004	5083	216
1999	15308	1988	219	8200	2346	814	4359	301
1998	16208	1535	220	6598	1472	560	3492	291
1997	15876	1128	205	7805	1669	677	4248	301
1996	15452	0	198	9185	1748	784	5113	300
1995	14537	0	173	8487	1506	709	4695	288
1994	13306	0	147	8073	1356	651	4604	251
1993	10025	0	98	8762	1627	785	5012	237
1992	8358	0	74	7304	1225	616	4191	209
1991	7432	0	59	7368	1361	685	4382	162
1990	7674	0	55	8323	1438	720	4365	137

Karayollarında açığa çıkan CO₂ emisyonları Tablo 5.7’de görülmektedir. Yapılan hesaplamalara göre CO₂ emisyonlarında en büyük payın kamyonlara ait olduğu bulunmuştur. Hesaplamalarda kamyonların tamamının dizel oldukları göz önüne alınmıştır. 2004 yılında CO₂ emisyonları içinde, kamyonlar %34 paya sahipken, benzinli otomobiller %24 paya sahiptir. Otomobillerin tamamına bakıldığında ise (benzin, LPG ve dizel toplamı) toplam karayolu CO₂ emisyonları içinde %32 oranında bir payı bulunmaktadır.

CO₂ dışındaki emisyonların hesabında da CO₂ için yapılanlarla aynı işlemler yapılmaktadır. Yukarıda anlatılan hesaplamalarda, emisyon değeri bulunmak istenen gazın emisyon faktörü kullanılarak sonuç bulunur.

Örneğin 1990 yılındaki benzinli otomobillerden kaynaklanan NO_x emisyonları şu şekilde hesaplanır;

Yeni kayıt olan benzinli otomobil sayısı = 1633380

Araçların ortalama yıllık menzili (1990) = 17400 km

NO_x Emisyon Faktörü = 2.20 g/km

Emisyon = $1633380 \times 17400 \times 2.20 \times 10^{-6} = 62525 \text{ t} = 62.5 \text{ kt}$

Bu kullanılan yöntem, CO₂ emisyonu hesabındaki ile aynıdır. Tek fark emisyon faktörleridir. Her araç grubu için, uygun emisyon faktörleri kullanılarak hesaplamalar yapılır. 1991 yılı ve sonrasının hesabında CO₂ emisyonu hesabında verilen örneğe de dikkat edilmelir. Çünkü bu sefer önceki yıldan kalan eski modelleri araçlardan eksilen hurdaları da hesaba katmak gerekir.

NO_x emisyonu için, CO₂ hesabında verilen örnekteki değerleri alırsak, 1991 yılı hesabı şu şekilde yapılır;

Yeni kayıt olan benzinli otomobil sayısı = 213116

Araçların ortalama yıllık menzili (1991) = 14930 km

NO_x Emisyon Faktörü = 2.20 g/km

Emisyon_{1991 yeni} = $213116 \times 14930 \times 2.20 \times 10^{-6} = 7000 \text{ t}$

Bu değer 1991 yılında yeni kayıt olan araçların NO_x emisyon değeridir. Önceki seneden devreden araç sayısından o senenin hurda sayısı çıkarılarak, elde edilen sayı

ile emisyon faktörü ve araç km'leri çarpılarak 1990 yılının parkından kalan araçlardan kaynaklanan emisyonlar elde edilir.

Önceki yıldan kalan benzinli otomobil sayısı = 1633380

1991 yılında hurdaya çıkan araç sayısı = 2940

Araçların ortalama yıllık menzili = 14930 km

NO_x Emisyon Faktörü = 2.20 g/km

Emisyon_{1991 eski} = (1633380 - 2940) × 14930 × 2.20 × 10⁻⁶ = 53533 t

Bulunan bu değer, 1991 yılında yeni kayıt olan araçların neden olduğu NO_x emisyonuna eklenerek, 1991 yılına ait toplam emisyon bulunur;

$$\text{Toplam NO}_x \text{ Emisyon}_{1991} = \text{Emisyon}_{1991 \text{ yeni}} + \text{Emisyon}_{1991 \text{ eski}} \quad (5.4)$$

$$\text{Toplam NO}_x \text{ Emisyon}_{1991} = 7000 + 53533 = 60533 \text{ t} = 60.5 \text{ kt}$$

Bu hesaplama ile net olarak görülebilecek durum, aynı emisyon faktörüne sahip araçlarda, bir önceki yıla göre araç sayısı artmasına rağmen (verilen örnekte benzinli otomobiller kullanılmıştır), bir önceki yıldan daha az yol yapıldığı için toplam emisyonda azalma gerçekleşmiştir.

Örneğin 1990 yılında araç parkında 1633380 adet benzinli otomobil, araç başına yılda 17400 km yol yaptığında 62.5 kt NO_x emisyonu açığa çıkarırken, 1991 yılında 1843556 adet benzinli otomobil yılda 14930 km yol yaparak 60.5 kt NO_x emisyonu açığa çıkarmıştır.

Diğer yılların hesapları için de bu yöntem kullanılmaktadır. Ancak yıllar ilerledikçe hesaplama adımı sayısı arttığı için burada gösterilmesi mümkün olmamaktadır. Hesaplamalar yapıldığında elde edilen sonuç değerler Tablo 5.8'de verilmiştir. Bu hesaplamalar sırasında her araç grubunu kendi emisyon faktörü ile çarpmak gereklidir. Gözden kaçmaması gereken diğer konu ise, eski araçların içinden hurdaların eksiltilmesidir. Yani bir sonraki yılın araç parkına geçildiğinde, en eski model araçlardan hurdalar eksiltilmelidir.

Tablo 5.8: Karayollarından kaynaklanan NO_x emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)

NO _x Emisyonları (kiloton)								
	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
YIL	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	80.23	41.87	0.85	188.11	29.88	7.20	87.99	0.16
2003	85.88	42.18	0.61	169.48	23.67	6.34	82.31	0.15
2002	92.76	38.34	0.65	157.04	18.47	5.45	73.74	0.15
2001	97.34	44.51	0.65	141.27	17.11	5.26	70.04	0.16
2000	112.60	43.69	0.72	128.01	15.21	5.02	66.01	0.18
1999	133.75	24.30	0.81	106.49	11.73	4.07	56.62	0.25
1998	141.20	18.77	0.81	85.69	7.36	2.80	45.35	0.24
1997	137.39	13.79	0.76	101.36	8.34	3.39	55.17	0.25
1996	133.51	0	0.73	119.28	8.74	3.92	66.40	0.25
1995	123.62	0	0.64	110.22	7.53	3.55	60.97	0.24
1994	111.19	0	0.54	104.84	6.78	3.26	59.79	0.21
1993	81.69	0	0.36	113.79	8.13	3.93	65.09	0.20
1992	68.10	0	0.27	94.85	6.13	3.08	54.43	0.18
1991	60.55	0	0.22	95.69	6.80	3.42	56.90	0.14
1990	62.53	0	0.20	108.09	7.19	3.60	56.69	0.12

Diğer emisyonların hesapları da bu şekilde yapılabilmektedir. Gerekli olan emisyon faktörleri Tablo 3.5 ile 3.9 arasındaki tablolarda verilmiştir. Araçlarla ilgili değerler de Tablo 5.1 ve 5.6 arasındaki tablolarda bulunmaktadır. Bu yöntemler izlenerek elde edilen diğer emisyonlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 5.9: Karayollarından kaynaklanan CH₄ emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (t)

CH ₄ Emisyonları (ton)								
	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
YIL	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	2547.9	1142.0	6.1	1128.7	106.7	25.7	527.9	305.2
2003	2709.4	1150.4	4.4	1016.9	84.5	22.6	493.8	289.8
2002	2922.7	1045.7	4.6	942.2	66.0	19.5	442.4	282.6
2001	3063.7	1213.9	4.7	847.6	61.1	18.8	420.2	309.3
2000	3544.6	1191.5	5.1	768.0	54.3	17.9	396.1	341.3
1999	4211.2	662.8	5.8	638.9	41.9	14.5	339.7	475.7
1998	4448.1	511.8	5.8	514.1	26.3	10.0	272.1	458.7
1997	4332.9	376.0	5.4	608.2	29.8	12.1	331.0	475.2
1996	4211.5	0	5.2	715.7	31.2	14.0	398.4	474.0
1995	3908.6	0	4.6	661.3	26.9	12.7	365.8	455.1
1994	3524.5	0	3.9	629.1	24.2	11.6	358.8	396.4
1993	2599.2	0	2.6	682.7	29.1	14.0	390.5	373.5
1992	2167.0	0	1.9	569.1	21.9	11.0	326.6	329.3
1991	1926.7	0	1.6	574.2	24.3	12.2	341.4	255.3
1990	1989.5	0	1.4	648.5	25.7	12.9	340.2	215.7

Tablo 5.9'daki CH₄ emisyonları incelendiğinde en düşük etkiyi dizel otomobillerin yaptığı görülmektedir. Bunun başlıca nedeni dizel otomobillerin CH₄ emisyon faktörlerinin düşük olmasıdır (0.005 g/km). Ayrıca etkili olan diğer bir faktör de dizel otomobillerin sayıca çok düşük kalmasıdır (2004 yılı toplamı 118256). Diğer yandan benzinli otomobillerin sayısı dizellerin 34 katı kadardır. Ayrıca benzinli otomobillerin CH₄ emisyon faktörleri dizel otomobillere göre 4-14 kat arasında daha fazla olduğu için açığa çıkan CH₄ emisyonlarının değeri oldukça yüksektir.

Tablo 5.10: Karayollarından kaynaklanan NMVOC emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)

NMVOC Emisyonları (kiloton)								
YIL	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	176.98	28.55	0.24	35.74	8.54	2.06	16.72	32.56
2003	193.04	28.76	0.18	32.20	6.76	1.81	15.64	30.91
2002	209.41	26.14	0.18	29.84	5.28	1.56	14.01	30.15
2001	220.24	30.35	0.19	26.84	4.89	1.50	13.31	33.00
2000	255.85	29.79	0.20	24.32	4.34	1.43	12.54	36.40
1999	305.19	16.57	0.23	20.23	3.35	1.16	10.76	50.74
1998	323.97	12.79	0.23	16.28	2.10	0.80	8.62	48.93
1997	317.70	9.40	0.22	19.26	2.38	0.97	10.48	50.69
1996	309.15	0	0.21	22.66	2.50	1.12	12.62	50.57
1995	289.51	0	0.18	20.94	2.15	1.01	11.58	48.54
1994	263.45	0	0.15	19.92	1.94	0.93	11.36	42.28
1993	196.80	0	0.10	21.62	2.32	1.12	12.37	39.84
1992	164.07	0	0.08	18.02	1.75	0.88	10.34	35.13
1991	145.88	0	0.06	18.18	1.94	0.98	10.81	27.23
1990	150.63	0	0.06	20.54	2.05	1.03	10.77	23.01

Metan olmayan uçucu organik bileşiklere (NMVOC) bakıldığında, yine toplam içinde en büyük pay benzinli otomobillere aittir. Özellikle emisyon kontrolü olmayan eski model otomobillerde NMVOC emisyon faktörü, Euro I ve III standartındaki benzinli otomobillere göre yaklaşık 11 kat daha fazladır. Bunun da etkisiyle, özellikle son yıllarda NMVOC emisyonlarının benzinli otomobillerde azaldığı Tablo 5.10'da görülmektedir. Emisyon kontrolü olmayan otomobillerin trafikten ayrılmasıyla birlikte NMVOC değerinin azalacağı açıktır.

Tablo 5.11: Karayollarından kaynaklanan CO emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (kt)

CO Emisyonları (kiloton)								
	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
YIL	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	1309.03	135.14	0.85	169.30	34.15	8.23	79.19	44.77
2003	1445.85	136.13	0.61	152.53	27.05	7.25	74.07	42.50
2002	1574.42	123.74	0.65	141.34	21.11	6.23	66.37	41.45
2001	1656.67	143.65	0.65	127.14	19.56	6.02	63.03	45.37
2000	1940.84	140.99	0.72	115.21	17.38	5.74	59.41	50.05
1999	2335.15	78.43	0.81	95.84	13.41	4.65	50.95	69.76
1998	2509.45	60.56	0.81	77.12	8.41	3.20	40.81	67.28
1997	2505.29	44.49	0.76	91.23	9.53	3.87	49.65	69.69
1996	2446.07	0	0.73	107.35	9.99	4.48	59.76	69.53
1995	2353.99	0	0.64	99.19	8.61	4.05	54.88	66.74
1994	2202.22	0	0.54	94.36	7.75	3.72	53.81	58.13
1993	1708.05	0	0.36	102.41	9.30	4.49	58.58	54.78
1992	1424.01	0	0.27	85.37	7.00	3.52	48.98	48.30
1991	1266.12	0	0.22	86.12	7.78	3.91	51.21	37.45
1990	1307.36	0	0.20	97.28	8.22	4.11	51.02	31.64

CO emisyonlarına bakıldığında en büyük payın benzinli otomobiller olduğu görülmektedir. Tablo 5.11’de görüldüğü gibi, katalitik konvertörlü araçların sayısı arttıkça CO emisyonu azalmaya başlamıştır. Emisyon azaltma teknolojisi olmayan benzinli otomobillerdeki CO emisyon faktörü, Euro I ve III araçlara göre yaklaşık 15 kat daha büyüktür. Yani aynı miktar yakıtı yaktıklarında 1990 model araç 2004 model araçtan 15 kat daha fazla CO emisyonu vermektedir.

Tablo 5.12: Karayollarından kaynaklanan N₂O emisyonlarının araç gruplarına göre dağılımı (t)

N ₂ O Emisyonları (ton)								
	Otomobil			Kamyon	Kamyonet	Minibüs	Otobüs	Motosiklet
YIL	Benzin	LPG	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Dizel	Benzin
2004	530.80	0	12.18	564.34	426.91	102.90	263.96	4.07
2003	343.26	0	8.77	508.44	338.15	90.58	246.92	3.86
2002	319.28	0	9.22	471.12	263.84	77.85	221.22	3.77
2001	298.11	0	9.32	423.81	244.44	75.19	210.11	4.12
2000	322.91	0	10.23	384.02	217.21	71.74	198.04	4.55
1999	359.21	0	11.51	319.46	167.60	58.13	169.85	6.34
1998	356.42	0	11.55	257.06	105.15	40.01	136.05	6.12
1997	325.32	0	10.79	304.09	119.18	48.39	165.50	6.34
1996	313.91	0	10.41	357.84	124.86	56.03	199.21	6.32
1995	284.48	0	9.11	330.65	107.59	50.67	182.92	6.07
1994	253.81	0	7.71	314.53	96.84	46.52	179.38	5.28
1993	185.66	0	5.16	341.37	116.21	56.08	195.26	4.98
1992	154.78	0	3.90	284.56	87.52	43.99	163.28	4.39
1991	137.62	0	3.10	287.08	97.19	48.91	170.71	3.40
1990	142.10	0	2.87	324.26	102.73	51.41	170.08	2.88

Tablo 5.12'deki N₂O emisyonları incelendiğinde, dikkat çeken nokta, emisyon teknolojisi iyileşen benzinli otomobillerde N₂O emisyonu artmaktadır. Bunun nedeni, daha önce de bahsedildiği gibi, katalitik konvertör bulunan araçlarda CO, HC ve NO_x gazları azaltılırken, N₂O gazı açığa çıkarılmaktadır. Bu nedenle emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobillerdeki N₂O emisyon faktörü, Euro I ve III araçlardan daha yüksektir. Diğer taraftan benzinli otomobillerin N₂O üretimi dizel araçlara göre daha fazladır. LPG'li araçlarda bu tip bir emisyon açığa çıkmamaktadır.

5.2 Havayolu Detaylı Metod

Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların hesabında, 1996 IPCC Kılavuzunda önerilen metod kullanılmaktadır. Metodolojiyle ilgili konular üçüncü bölümde anlatılmaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken en çok kullanılan iki ifade şu şekilde tanımlanır;

1. İniş/Kalkış Faaliyetleri: İngilizce literatür ifadesi ile Landing/Take Off cycle (LTO), 914 m (3000 feet) altında havameydanı civarında gerçekleşen bütün motor çalışır konumdaki, bekleme, yolcu indirme ve bindirme, tırmanma ve iniş aktivitelerini içermektedir. Bu faaliyet ile ilgili değerler “LTO sayısı” şeklinde kısaltılmış olarak ifade edilmektedir.
2. Seyir Faaliyetleri: 914 metre üstündeki bütün aktiviteleri içerir (Literatürde “Cruise activity” şeklinde geçmektedir). Bir üst sınırı yoktur. 914 metre üstündeki tırmanma veya iniş aktivitesi de seyir durumundaki aktivitelerdir.

Uçaklardan kaynaklanan emisyonların hesabında daha önce anlatılmış olan şekil 3.1'de gösterilen metod kullanılmaktadır. Öncelikle Türkiye'de uçaklara satılan yakıt miktarı ve bunun ne kadarının yerel uçuşlara satıldığı belirlenmelidir. Bu değerler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan Ulaştırma Sektörü Yakıt Tüketim Raporları'nda bulunmaktadır. [12]

Tablo 5.13: Yurt içi uçuşlarda tüketilen jet yakıtı (t)

Yıl	Tüketilen jet yakıtı (ton)
2004	1526855
2003	1314199
2002	1199223
2001	1055046
2000	970991
1999	899443
1998	1038409
1997	1009831
1996	956326
1995	867237
1994	521906
1993	468153
1992	350945
1991	330900
1990	292223

Bir sonraki adımda yurt içi uçuşlarda kullanılan uçak modellerine göre hava trafiğinin dağılımı ile ilgili bilgilerin belirlenmesi gereklidir. Bu değerler Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan raporlardan elde edilmektedir. [15]

Her uçağın LTO sayıları DHMİ raporlarında bulunmaktadır. Uçakların LTO sayılarının belirlenmesinden sonra, 1996 IPCC Kılavuzu'nda verilmiş olan uçak yakıt tüketimleri ve emisyon faktörleri yardımıyla hesaplama yapılmaktadır.

Hesaplama ile ilgili bir örnek Airbus A320 için verilmiştir. 2004 yılında A320 numaralı uçakların LTO sayıları 14141'dir. 1996 IPCC Kılavuzunda, A320 için LTO başına düşen yakıt tüketimi 820 kg/LTO olarak verilmiştir. Bu uçağın yaptığı tüm LTO'larda tükettiği yakıt Denklem 5.3 ile bulunur.

$$\text{LTO Yakıt Tüketimi} = \text{LTO Sayısı} \times \text{LTO Başına Yakıt Tüketim} \quad (5.5)$$

$$\text{LTO Yakıt Tüketimi}_{A320} = 14141 \times 820 \times 10^{-3}$$

$$\text{LTO Yakıt Tüketimi}_{A320} = 11453.9 \text{ ton}$$

Böylece A320 uçağının 14141 adet LTO ile 2004 yılında 11453.9 ton yakıt tükettiği anlaşılmaktadır. Bu şekilde 2004 yılında yurt içi uçuş yapmış olan bütün uçakların LTO sayıları ve LTO başına yakıt tüketimleri çarpılarak, her uçağın 2004 yılında LTO sırasında tükettiği yakıtlar bulunur. Bu değerler de alt alta toplanırsa, 2004 yılında bütün iç hat uçaklarının LTO sırasında tükettiği yakıt miktarı bulunmuş olur.

Daha önceden yurt içi uçuşlarda tüketilen yakıt miktarı bilindiği için (Tablo 5.13), LTO sırasında tüketilen toplam yakıt miktarı bu değerden çıkarılırsa, geriye kalan değer uçakların 914 metre üstü yüksekliklerde tükettiği yakıtı, yani seyir halinde tüketilen yakıtı vermektedir.

$$\text{Toplam Seyir YT} = \text{Toplam Yurtiçi YT} - \text{Toplam LTO YT} \quad (5.6)$$

burada;

Toplam Seyir YT: Seyir sırasında (914 metre üstü yüksekliklerde) tüketilen toplam yakıt

Toplam LTO YT: LTO sırasında (914 metre altı yüksekliklerde) tüketilen toplam yakıt

Toplam Yurt içi YT: Yurt içi uçuşlar için havayollarında tüketilen yakıt şeklinde ifade edilmektedir.

2004 senesinin yurt içi yakıt tüketimi Tablo 5.13'den 1526855 ton olarak okunmaktadır. Yapılan hesaplarda 2004 senesinin tüm uçaklar için LTO'lardaki toplam yakıt tüketimi 178376 ton olarak bulunmuştur. Bu nedenle seyir sırasında tüketilen yakıt;

$$\text{Toplam Seyir YT}_{2004} = 1526855 - 178376 = 1348479 \text{ ton}$$

olarak bulunmaktadır.

Uçakların LTO sayıları, aynı zamanda o uçakların yaptığı sefer sayısını da ifade ettiği için, her uçağın sefer sayısı ve toplam o yıla ait sefer sayısı da bilinmektedir. Bu bilgilerden yararlanarak, her uçağın seyir sırasında tükettiği yakıt miktarı şu şekilde bulunur;

$$\text{Uçak Seyir YT} = \text{Toplam Seyir YT} \times \frac{\text{Uçak LTO}}{\text{Toplam LTO}} \quad (5.7)$$

Burada;

Uçak Seyir YT: Herhangi bir uçağın seyir sırasında tükettiği yıllık yakıt miktarı

Toplam Seyir YT: Bütün uçakların tükettiği yıllık toplam yakıt miktarı

Uçak LTO: Hesaplanan uçağın toplam LTO sayısı

Toplam LTO: Bütün uçakların LTO sayılarının toplamı

şeklinde ifade edilmektedir.

2004 senesinde yurt içi uçuşlardaki toplam LTO sayısı 184900'dür. Örnekte verilen A320 uçağının seyir sırasında 2004 yılı boyunca tükettiği yakıt;

$$\text{A320 Seyir YT} = 1348479 \times \frac{14141}{184900} = 103127 \text{ ton}$$

olarak bulunur. Böylece A320 uçağının LTO sırasında tükettiği toplam yakıt miktarı ve seyir sırasında tükettiği toplam yakıt miktarı bulunmuştur.

Bundan sonraki aşamada emisyonların hesabı için yapılması gereken tek işlem yakıt tüketim değerleri ile emisyon faktörlerinin çarpılmasıdır. 1996 IPCC Kılavuzunda bazı uçakların emisyon faktörleri verilmiştir. Emisyon faktörleri verilmeyen uçaklar için ise ortalama emisyon faktörleri önerilmiştir. Bu değerler daha önce Tablo 3.10'da verilmiştir.

LTO sırasında açığa çıkan emisyonları bulmak için, her uçak tipine göre, kg/LTO biriminde verilmiş olan emisyon faktörleri ile her uçağın LTO sayıları çarpılır. Seyir sırasında açığa çıkan emisyonlar için ise, her uçağın seyir sırasında tükettiği yakıt miktarı ile kg/t biriminde verilmiş olan emisyon faktörleri çarpılır. LTO sırasında açığa çıkan emisyon değeri ile seyir sırasında açığa çıkan emisyon değeri toplandığında o yıla ait toplam emisyon bulunmuş olur. [10]

$$\text{LTO Emisyonu} = \text{LTO sayısı} \times \text{EF}_{\text{LTO}} \quad (5.8)$$

$$\text{Seyir Emisyonu} = \text{Seyir YT} \times \text{EF}_{\text{Seyir}} \quad (5.9)$$

A320 için IPCC tarafından önerilen emisyon faktörleri Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14: A320 uçağın LTO aktivitesi için emisyon faktörleri (kg/LTO)

Uçak	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
A320	2560	0.04	0.1	11.0	5.3	0.4	0.8

Seyir halindeki emisyon faktörleri ise daha önce Tablo 3.10'da verilmiş olan ortalama değerlerden seçilmektedir. Örneğin A320'nin 2004 yılındaki CO₂ emisyon değeri şu şekilde bulunur;

$$A320 \text{ LTO CO}_2 \text{ Emisyonu} = 14141 \times 2560 \text{ kg/LTO} \times 10^{-3}$$

$$A320 \text{ LTO CO}_2 \text{ Emisyonu} = 36200 \text{ ton}$$

$$A320 \text{ Seyir CO}_2 \text{ Emisyonu} = 103127 \text{ ton} \times 3150 \text{ kg/ton} \times 10^{-3}$$

$$A320 \text{ Seyir CO}_2 \text{ Emisyonu} = 324851 \text{ ton}$$

$$A320 \text{ Toplam CO}_2 \text{ Emisyon} = 36200 + 324851 = 361051 \text{ ton}$$

Böylece A320 uçağının yurt içi uçuşlarda 2004 yılında oluşturduğu CO₂ emisyonları bulunmuş olur. Diğer emisyonlar da aynı şekilde hesaplanmaktadır. Yapılacak tek değişiklik emisyon faktörü değerinin değiştirilmesidir. 2004 yılı için tüm iç hat uçuşlarındaki yakıt tüketimi hesabı Tablo 5.15’de, iç hat uçuşlarından kaynaklanan toplam emisyonların örnek hesabı Tablo 5.16’de görülmektedir.

Tablo 5.15: 2004 yılı Tier 2 havayolu yakıt tüketim hesabı

	A	B	C	D	E	F
Uçak Tipi	Her uçağın LTO sayısı	LTO başına yakıt tüketimi	LTO yakıt tüketimi	Toplam Satılan Yakıt	Seyir sırasında tüketilen toplam yakıt	Seyir aktivitesinde tüketilen yakıt
		t/LTO	t	t	t	t
			C=AxB		E=D _{toplam} -C _{toplam}	F=E _{toplam} x(A/A _{toplam})
A300	4355	1.73	7534	--	--	31761
A310	6691	1.55	10372	--	--	48801
A320	14141	0.81	11454	--	--	103127
A321	9920	0.81	8035	--	--	72347
.	.	.	.	--	--	.
.	.	.	.	--	--	.
B734	16523	0.83	13714	--	--	120501
B73B	8363	0.83	6942	--	--	60995
B737	24093	0.83	19997	--	--	175713
B738	27181	0.83	22560	--	--	198230
B752	1732	1.3	2251	--	--	12629
B757	4097	1.3	5326	--	--	29877
.	.	.	.	--	--	.
.	.	.	.	--	--	.
.	.	.	.	--	--	.
Toplam	192698	Toplam	185004	1526855	1348479	1341851

Bu yakıt tüketim değerlerini kullanılarak CO₂ emisyonları elde edilir. LTO sırasında oluşan emisyonlar ve seyir sırasında oluşan emisyonlar hesaplanır ve toplanırsa toplam CO₂ emisyonu elde edilir.

Tablo 5.16: 2004 yılı Tier 2 havayolu CO₂ emisyonu hesabı

G	H	I	J	K
LTO emisyon faktörü	LTO sırasında oluşan CO ₂	Seyir emisyon faktörü	Seyir sırasında oluşan CO ₂	Toplam CO ₂ emisyonu
kg/LTO	t	kg/t		kiloton
	$H=G \times A / 1000$		$J=I \times F / 1000$	$K=(H+J) / 1000$
5470	23822	3150	100047	124
4900	32788	3150	153723	187
2560	36200	3150	324851	361
2560	25395	3150	227892	253
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
2625	43372	3150	379579	423
2625	21954	3150	192134	214
2625	63245	3150	553496	617
2625	71349	3150	624423	696
4110	7117	3150	39781	47
4110	16837	3150	94113	111
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Toplam	571873	Toplam	4226830	4799

Bu metod ile hesaplanan havayolu emisyonları Tablo 5.17’de verilmiştir. Tabloda dikkat edilmesi gereken değer CO₂ değeridir. Çünkü kiloton şeklinde ifade edilmiştir. Diğer emisyonlar ton biriminde verilmiştir.

Tablo 5.17: Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar (Tier 2)

Yıl	CO ₂ kiloton	CH ₄ ton	N ₂ O ton	NO _x ton	CO ton	NMVOC ton	SO ₂ ton
1990	900.9	34.1	29.4	2889.7	2393.5	456.8	284.8
1991	1033.5	35.9	33.6	3307.2	2766.2	494.7	326.8
1992	1070.5	39.5	35.5	3619.5	2875.1	525.0	338.6
1993	1439.6	44.0	46.8	4415.8	3878.4	634.6	456.4
1994	1619.8	52.2	52.4	5022.1	4432.1	725.9	511.9
1995	2714.1	55.0	87.6	8432.2	6953.8	985.1	860.3
1996	2975.8	55.5	96.1	9230.9	7564.5	1047.8	946.3
1997	3133.6	60.6	101.4	10130.1	8006.1	1124.4	996.6
1998	3218.7	61.7	104.3	10513.1	8220.6	1151.1	1024.4
1999	2833.5	53.4	91.9	9317.4	7342.8	1029.0	902.2
2000	3058.2	55.1	99.1	10178.0	7862.6	1076.5	973.7
2001	3322.6	57.2	107.5	11003.8	8432.4	1151.8	1057.7
2002	3745.6	60.2	121.2	11734.7	9411.9	1239.2	1193.6
2003	4128.1	67.9	133.5	14425.9	10378.3	1407.2	1305.0
2004	4798.7	75.8	155.2	16816.8	11905.4	1571.7	1516.8

Yakıt tüketimlerinin artmasıyla orantılı olarak CO₂ emisyonlarının arttığı tablolardan anlaşılabilmektedir. Toplam sera gazı emisyonları içinde en büyük pay yine CO₂ emisyonuna aittir. Uçakların neden olduğu en önemli ikinci sera gazı ise NO_x gazıdır. NO_x daha önce de bahsedildiği gibi doğrudan sera gazı etkisi göstermemekle birlikte, troposferde ozon oluşumunda önemli rol oynayarak, dolaylı yoldan sera gazı oluşumuna etki etmektedir.

5.3 Demiryolu Detaylı Metod

Daha önce, IPCC Metodolojisinin anlatıldığı üçüncü bölümde de değinildiği gibi, demiryollarından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında uygulanan metod, karayollarındaki ve havayollarındaki gibi detaylı bir metod değildir. Yakıt başına emisyon miktarı şeklinde verilmiş olan emisyon faktörleri, 1996 IPCC Kılavuzundaki tablolardan seçilmiş olup, demiryollarında tüketilen yakıt miktarlarının bu emisyon faktörleri ile çarpılması sonucunda hesaplama yapılmaktadır. Bu bakımdan uygulanan bu yöntem Tier 1 yönteminde çok farklı değildir ve elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır.

Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri daha önce Tablo 3.11’de verilmiştir. Yakıt tüketim değerleri ise, Tier 1 hesaplarında kullanılan demiryolu yakıt tüketim değerleri ile aynıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, hesaplamalarda sadece dizel lokomotiflerin yakıt tüketimlerinin kullanılmasıdır. Elektrikli lokomotifler doğrudan yakıt yakmadıkları için, bu trenler için kullanılan yakıtlar hesaba katılmamaktadır. Elektrikli trenlerin kullandığı elektriğin üretimi için de bir fosil yakıt yakılması sözkonusudur. Ancak bu yakılan yakıt, enerji santrallerinde kullanıldığı ve elektrik enerjisi üretildiği için, bu çalışmaya dahil edilmemektedir.

Demiryollarında tüketilen motorin değerleri TCDD İstatistiklerinden ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Raporları’ndan alınmaktadır. [12, 13]

IPCC Kılavuzunda önerilen emisyon faktörleri ile Türkiye demiryolları motorin tüketimi değerleri çarpılarak açığa çıkan emisyonlar hesaplanmaktadır. Örneğin 2004 yılı emisyonları şu şekilde hesaplanır:

2004 yılı motorin tüketimi = 117399 ton

CO₂ Emisyon Faktörü = 3188 g CO₂/kg yakıt

2004 yılı CO₂ emisyonu = $117399 \times 3188 \times 10^{-6}$

2004 yılı CO₂ emisyonu = 374 kiloton

NO_x Emisyon Faktörü = 74.3 g NO_x/kg yakıt

2004 yılı NO_x emisyonu = $117399 \times 74.3 \times 10^{-3}$

2004 yılı NO_x emisyonu = 8722 ton

CH₄ Emisyon Faktörü = 0.25 g CH₄/kg yakıt

2004 yılı CH₄ emisyonu = $117399 \times 0.25 \times 10^{-3}$

2004 yılı CH₄ emisyonu = 29.3 ton

NMVOC Emisyon Faktörü = 5.5 g NMVOC/kg yakıt

2004 yılı NMVOC emisyonu = $117399 \times 5.5 \times 10^{-3}$

2004 yılı NMVOC emisyonu = 646 ton

CO Emisyon Faktörü = 26.1 g CO/kg yakıt

2004 yılı CO emisyonu = $117399 \times 26.1 \times 10^{-3}$

2004 yılı CO emisyonu = 3064.1 ton

N₂O Emisyon Faktörü = 0.08 g N₂O/kg yakıt

2004 yılı N₂O emisyonu = $117399 \times 0.08 \times 10^{-3}$

2004 yılı N₂O emisyonu = 9.4 ton

Demiryolu sera gazı emisyonlarında da en büyük pay yine CO₂ gazına aittir. NO_x ve CO ise CO₂'e göre çok küçük kalsalar bile, diğer gazlar içinde büyük bir paya sahiptirler. Tablo 5.18'de 1990-2004 arasında üretilen emisyonlar görülmektedir.

Tablo 5.18: Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar (Tier 2)

Yıl	CO ₂ ton	NO _x ton	CH ₄ ton	NMVOC ton	CO ton	N ₂ O ton
1990	516653.7	12041.2	40.5	891.3	4229.8	13.0
1991	526020.0	12259.5	41.3	907.5	4306.5	13.2
1992	497328.0	11590.8	39.0	858.0	4071.6	12.5
1993	583404.0	13596.9	45.8	1006.5	4776.3	14.6
1994	618472.0	14414.2	48.5	1067.0	5063.4	15.5
1995	618472.0	14414.2	48.5	1067.0	5063.4	15.5
1996	632180.4	14733.7	49.6	1090.7	5175.6	15.9
1997	631224.0	14711.4	49.5	1089.0	5167.8	15.8
1998	637600.0	14860.0	50.0	1100.0	5220.0	16.0
1999	637600.0	14860.0	50.0	1100.0	5220.0	16.0
2000	477724.2	11133.9	37.5	824.2	3911.1	12.0
2001	377442.6	8796.7	29.6	651.2	3090.1	9.5
2002	379515.6	8845.0	29.8	654.7	3107.1	9.5
2003	394584.8	9196.3	30.9	680.7	3230.4	9.9
2004	374266.7	8722.7	29.3	645.7	3064.1	9.4

Demiryollarından kaynaklanan emisyonların içinde en büyük pay CO₂ gazına aittir. Yakıt tüketim değerleri demiryollarında yıllar içinde azaldığı için CO₂ emisyonlarında da azalma görülmektedir.

6. TÜRKİYE'DE ULAŞTIRMA SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ VE GELECEK YILLAR İÇİN BEKLENTİLER

IPCC Metodolojisi ile hesaplanan, Türkiye'nin ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyon değerleri, 4. ve 5. bölümlerde verilmiş olan tablolardan da anlaşılabileceği gibi artış göstermektedir. Hesaplamalarda dikkate alınan 1990-2004 döneminde bazı yıllarda dalgalanmalar olmakla beraber, bütün emisyon değerleri genel olarak bir artış eğilimindedir.

Örneğin 1990 yılında karayollarından kaynaklanan toplam CO₂ emisyonu 24 milyon ton iken, 2004 yılına gelindiğinde %42 artışla CO₂ emisyonu 34 milyon ton değerine ulaşmıştır. 1990 yılında bütün ulaştırma sektörlerinde toplam 26 milyon ton CO₂ emisyonu üretilirken, 2004 yılına gelindiğinde 1990 yılına göre %56 civarında bir artış ile 40.5 milyon ton CO₂ emisyonu üretilmiştir. Tablo 6.1'de 1990, 1998 ve 2004 yıllarında CO₂ emisyonu değerlerindeki değişim görülmektedir.

Tablo 6.1: Ulaştırma sektöründe üretilen toplam CO₂ emisyonunun değişimi (Tier 1)

YIL	CO ₂ (10 ⁶ ton)	Değişim (%) (1990 yılı baz alınmaktadır)
1990	26	--
1996	35	34.6
2004	40.5	56

Tablo 6.1'de görüldüğü gibi ulaştırma sektöründe üretilen CO₂ emisyonlarının toplam değerinde artış gerçekleşmektedir. 1996 senesinden sonra artışta bir yavaşlama görülmektedir. Bunun nedenleri arasında özellikle karayolu emisyonları açısından değerlendirildiğinde, daha düşük yakıt tüketimine sahip olan araçların kullanımının artması, araçların yıllık seyahat mesafelerinin azalması, akaryakıt fiyatlarındaki artışların yüksekliği nedeniyle insanların daha fazla toplu taşımalara yönelmesi ve özel araçlarını daha az kullanmaları gibi faktörlerden söz edilebilir.

Ulusal emisyon envanteri hesapları uluslararası standartlara uygun metodlar yardımıyla yapılmaktadır. Ancak bu envanterin yorumlanması o ülkenin özel şartlarıyla yakından ilgilidir. Örneğin, iki farklı ülkede karayolundaki toplam CO₂

emisyonları eşit değerler olarak bulunmuş olsa da, bu ülkelerin nüfuslarındaki değişim, iki ülkenin emisyon değerlerinin yorumlanmasında belirgin bir fark oluşmasını sağlayacaktır. Gelişmekte olan bir ülkede CO₂ emisyonlarının artış göstermesi beklenen bir sonuçtur. Kişi başına düşen emisyon değerlerine bakıldığında da, bu değer artması bir gelişme göstergesi olarak değerlendirilmektedir. CO₂ emisyonları, gayri safi milli hasıla değerlerine oranlandığında, milli gelirin artışıyla beraber bu oranda da bir artış görülürse, ülkenin gelişmişliği konusunda fikir sahibi olunabilir. Milli geliri düşük bir ülkede, CO₂ artışları çok yüksek seviyelere ulaşırsa, yanma koşullarında bir olumsuzluk olduğu yorumu yapılabilir.

6.1 Türkiye'nin Ulaştırma Sektörü Emisyonlarının İncelenmesi

Bölüm 4 ve 5'te hesapları yapılan ulaştırma sektörü emisyonlarının değişimlerini gösteren eğriler çizilirken Tier 1 ve 2 ile bulunan sonuçlar ortak olarak değerlendirilmelidir. IPCC tarafından önerilen raporlama yöntemine göre, ulusal envanter oluşturulurken sadece Tier 1, sadece Tier 2 veya farklı sektörler için uygun Tier seçimine imkan tanıyan karma Tier şeklinde ifade edilebilen bir yöntem kullanılmalıdır. IPCC aynı sektörün aynı emisyon grubu için, farklı Tier yöntemleri ile bulunan sonuçların hepsinin birden kullanılmasını istememektedir. Bu nedenle ulusal envanter oluşturulurken, ülkenin şartlarına en uygun değerlerin hesaplanabildiği Tier sonuçlarının raporlanması gereklidir. [9]

Bu çalışmada hesapları yapılan emisyonların incelenmesi aşamasında, karayollarından kaynaklanan emisyonlar, havayollarından kaynaklanan emisyonlar ve demiryollarından kaynaklanan emisyonlar için Tier 2 yöntemi ile elde edilen değerlerin yorumlanmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir. SO₂ gazı için ise, karayolu ve demiryolu emisyonlarında Tier 2 metodu kullanılmadığı için, bu gazın değerleri Tier 1 ile oluşturulan tablolardan seçilmelidir. Denizyolları için ise sadece Tier 1 ile hesaplama yapılabildiğinden, inceleme kısmında da sadece Tier 1 sonuçları değerlendirilmelir.

6.1.1 Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi

Emisyonların yorumlanması aşamasında özellikle CO₂ emisyonları üzerinde durulmalıdır. Çünkü oran olarak CO₂ emisyonları, toplam ulaştırma sektörü emisyonları içinde %95 gibi bir paya sahiptir. CO₂ emisyonları içinde en büyük pay ise karayollarından kaynaklanan emisyonlara aittir. Türkiye ulaştırma emisyonlarına bakıldığında, karayolları CO₂ emisyonları içinde yaklaşık olarak %85 civarında bir paya sahiptir. İkinci sırada ise havayolları %12 civarında bir pay sahibidir. Aslında bu da beklenen bir sonuçtur, çünkü Türkiye’de yurt içi yolcu taşımacılığının %95’i ve yük taşımacılığının %91’i karayollarında yapılmaktadır. [17]

Emisyonların değerlendirilmesi sırasında nüfusa göre de yorumlanması gereklidir. Türkiye’de ilk nüfus sayımı 1927 yılında gerçekleşmiştir. 1935 ve 1990 yıllarında arasında her 5 yılda bir yapılan nüfus sayımının, daha sonra her 10 yılda bir yapılması kararı alınmıştır. Bu sebeple sadece 1990 ve 2000 yıllarının resmi sayım değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir. Ara yıllar DİE tarafından belirtilen nüfus artış hızına göre düzenlenmiştir. [16]

Tablo 6.2: Türkiye nüfus değişimi (1990 ve 2000 resmi nüfus sayımları)

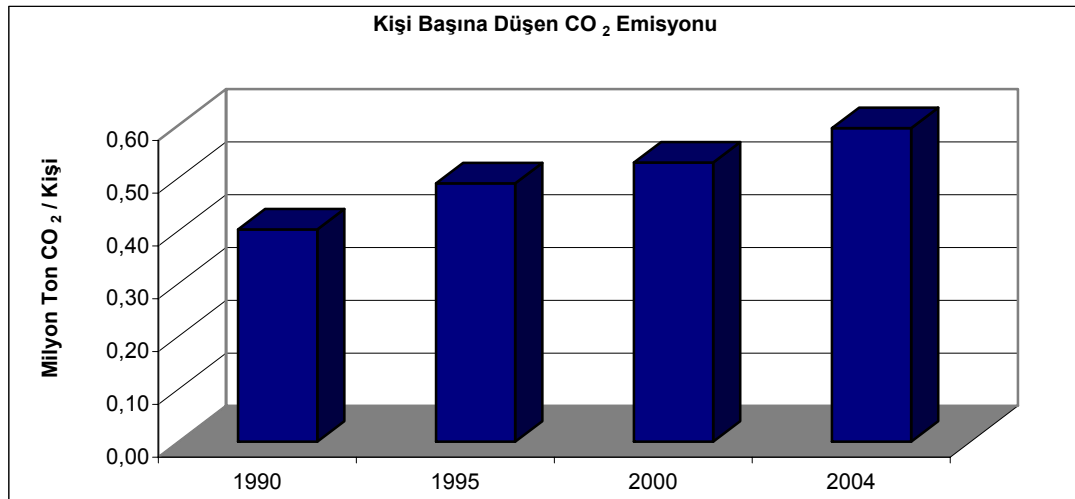
Yıl	Nüfus	Bir Önceki Yıla Göre Nüfus Artışı (%)
1990	56473035	--
1991	57596848	1.99
1992	58719987	1.95
1993	59847411	1.92
1994	60978527	1.89
1995	62106629	1.85
1996	63249391	1.84
1997	64406855	1.83
1998	65566179	1.80
1999	66720143	1.76
2000	67803927	1.62
2001	68759962	1.41
2002	69708850	1.38
2003	70649919	1.35
2004	71582498	1.32

Emisyonların yorumlanması sırasında ayrıca gayri safi milli hasıla (GSMH) değerlerinin de kullanılması, emisyonların değişimi hakkında fikir sahibi olmak açısından gereklidir. Tablo 6.3’de verilmiş olan GSMH değerleri DİE tarafından yayınlanan raporlardan alınmıştır. [18]

Tablo 6.3: Türkiye'nin gayri safi milli hasıla toplam değerleri ve kişi başı GSMH değerleri (ABD Doları, Cari fiyatlarla)

Yıl	GSMH (milyar \$)	Kişi Başı GSMH (\$)
1990	152	2682
1991	151	2621
1992	159	2708
1993	180	3004
1994	133	2184
1995	171	2759
1996	185	2928
1997	198	3079
1998	213	3255
1999	192	2879
2000	201	2965
2001	146	2123
2002	181	2598
2003	239	3383
2004	299	4172

Aşağıdaki şekilde, karayollarından kaynaklanan ve Tier 2 metodu ile hesaplanmış olan toplam CO₂ emisyonlarının, Türkiye nüfusuna oranlanması sonucu elde edilen, kişi başına CO₂ emisyonu değişimi grafiği görülmektedir. Buradaki toplam CO₂ değerinin içinde benzin, motorin ve LPG kullanan araçların tamamından açığa çıkan emisyonlar bulunmaktadır.

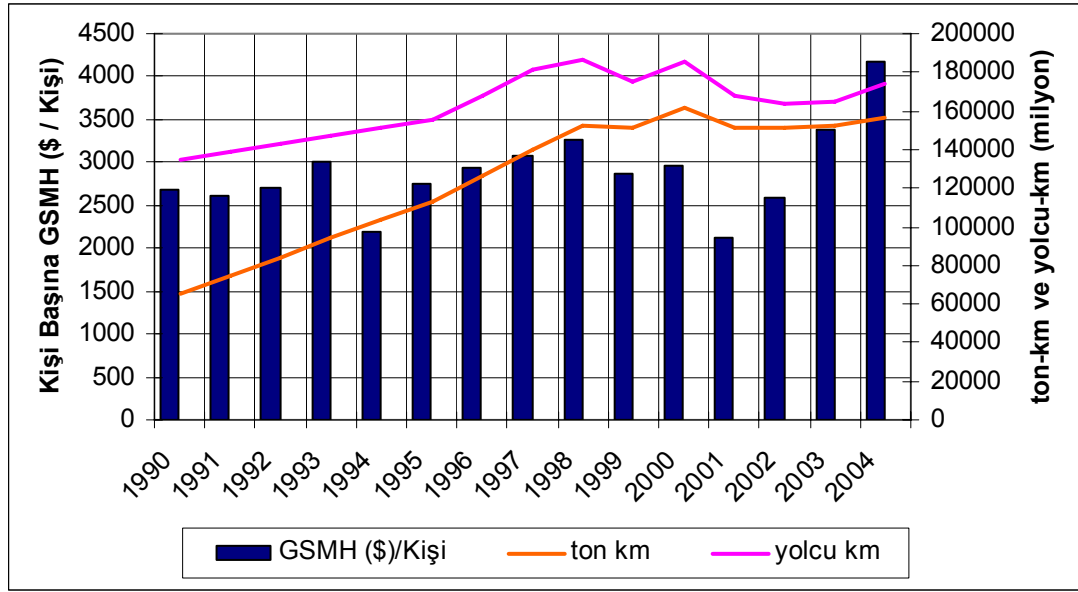


Şekil 6.1: Kişi başına karayollarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının değişimi

1990 yılında kişi başına düşen CO₂ emisyonu 0.4 milyon ton iken, bu değer 2004 yılında 0.6 milyon tona yükselmiştir. Yani son 15 yıl içinde, kişi başına düşen CO₂ emisyonu %50 artış göstererek 1990 değerinin 1.5 katına çıkmıştır. Bu artışın en önemli nedenlerinden biri, yakıt tüketimlerinin artış göstermesidir. Benzin kullanımı 1990-1996 periyodunda artış gösterirken, 1996 sonrasında düşmeye başlamıştır. Bu

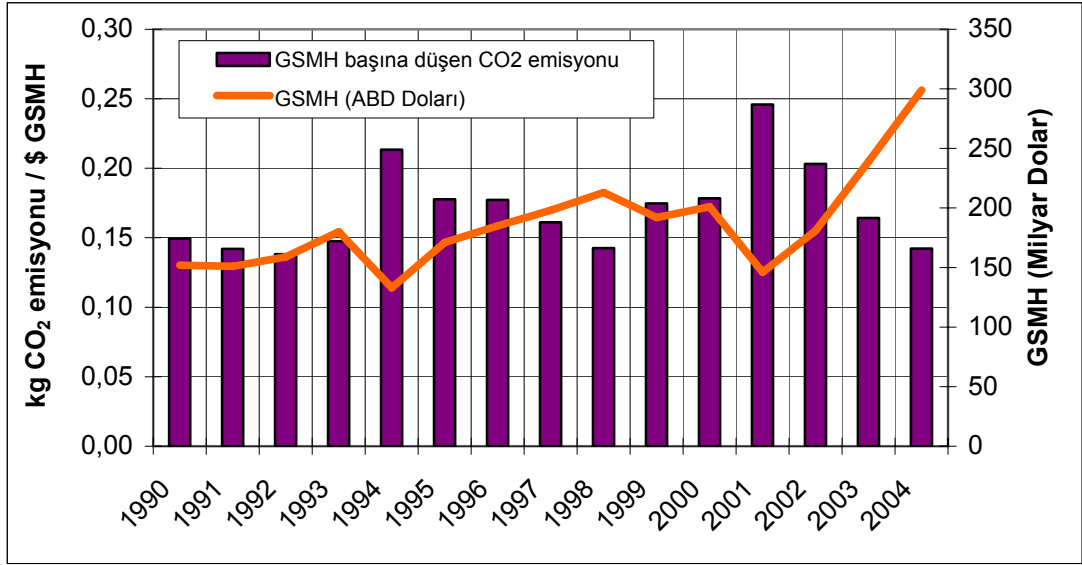
düşüşte, benzin fiyatlarının yükselmesi sonucu benzin kullanımının azlaması, toplu taşıma sistemlerinin daha yaygın hale gelmesi, araçların yakıt tüketim değerlerinin düşmesi, daha küçük motorlu otomobillere yönelim olması gibi faktörler etkin olmuştur. Motorin kullanımı ise sürekli olmasa da genel trend olarak artış göstermiştir. Motorin kullanımındaki dalgalanmalar ekonomik krizlerin yaşandığı dönemlere denk gelmektedir. Özellikle kriz dönemlerinin ertesinde, kaçak yakıt kullanımında da artış görülmektedir. Bu nedenle resmi kurumlardan edinilen yakıt satış ve kullanım değerleri, araçların normal koşullarda tüketmeleri gereken değerlerin hep altında kalmaktadır. Bu yakıt kullanımındaki belirsizlik nedeniyle de Tier 1 ve Tier 2 yaklaşımlarıyla yapılan hesaplar arasında az da olsa farklılıklar oluşmaktadır.

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün raporlarındaki ton-km ve yolcu-km değerlerinin değişimi Şekil 6.2'de görülmektedir. [19]



Şekil 6.2: Kişi başına GSMH ile ton-km ve yolcu-km değerlerinin değişimi

Şekil 6.2'de mavi sütunlar ile Türkiye'nin kişi başına düşen gayri safi milli hasıla değerleri gösterilmiştir. Karayolu ulaşımında her yıla ait ton-km ve yolcu-km değerleri de çizgi grafiklerle verilmiştir. Kişi başına düşen GSMH değerinin, 2001 yılından sonra hızla arttığı ve 2004 yılında yaklaşık olarak 2001 yılındakinin 2 katı değere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 6.3: GSMH değerinin ve GSMH başına CO₂ emisyonlarının değişimi

Toplam gayri safi milli hasıla değerinin değişimi Şekil 6.3’de turuncu eğri ile gösterilmiştir. CO₂ emisyonlarının, GSMH değerine oranındaki değişim ise mavi sütunlarda görülmektedir. 2001 yılından sonra GSMH değerlerinin artışıyla birlikte, GSMH başına düşen CO₂ emisyonu azalmıştır. Milli gelirin arttığı dönemde CO₂ emisyonundaki artışın göreceli olarak az olması nedeniyle, emisyonun GSMH’ye oranı azalma eğilimi göstermiştir.

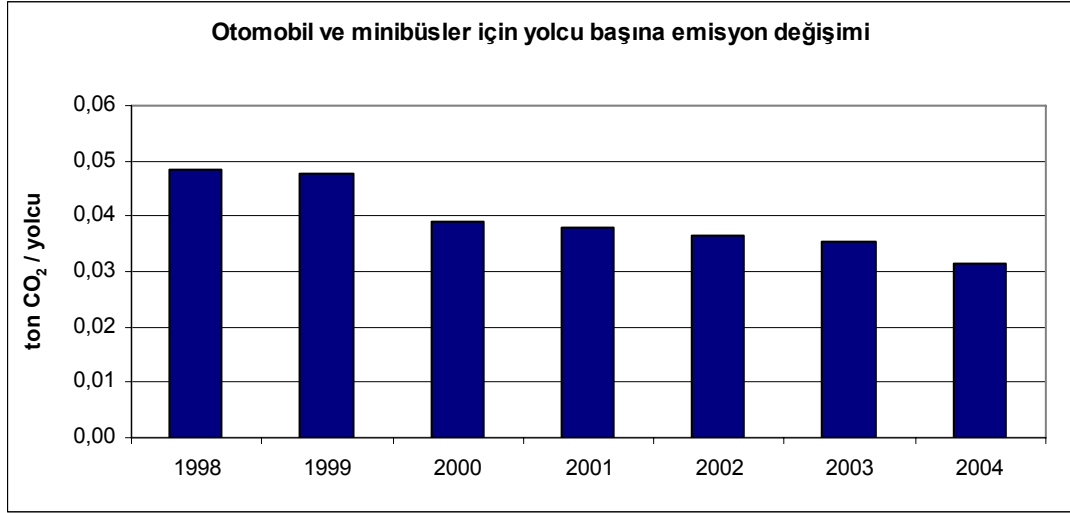
Karayolları Genel Müdürlüğü’nün raporlarındaki karayollarında taşınan tahmini yolcu sayıları Tablo 6.4’de verilmiştir. Bu yolcu sayılarına göre CO₂ emisyonlarının değişiminin incelenmesi, toplamda artan emisyonların, yolcu sayısına göre nasıl değiştiğini karşılaştırmak için avantaj sağlamaktadır.

Tablo 6.4: Karayollarında otomobil ve minibüslerle taşınan yolcu sayıları [19]

Yıl	Yolcu Sayısı (Otomobil+Minibüs)
1998	382510000
1999	384555000
2000	452401000
2001	420752000
2002	414687000
2003	422139000
2004	479605000

Karayolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının, yolcu sayılarına oranlanması ile yolcu başına düşen emisyon miktarı bulunabilir. Burada otomobiller için benzin, dizel ve LPG’li araçların tamamından salınan CO₂ emisyonları ve buna

ek olarak minibüslerin neden olduğu CO₂ emisyonları bir değer olarak toplanır. Bu değer otomobil ve minibüslerde (tamamı dizel kabul edilmiştir) taşınan tahmini yolcu sayılarına oranlanır.



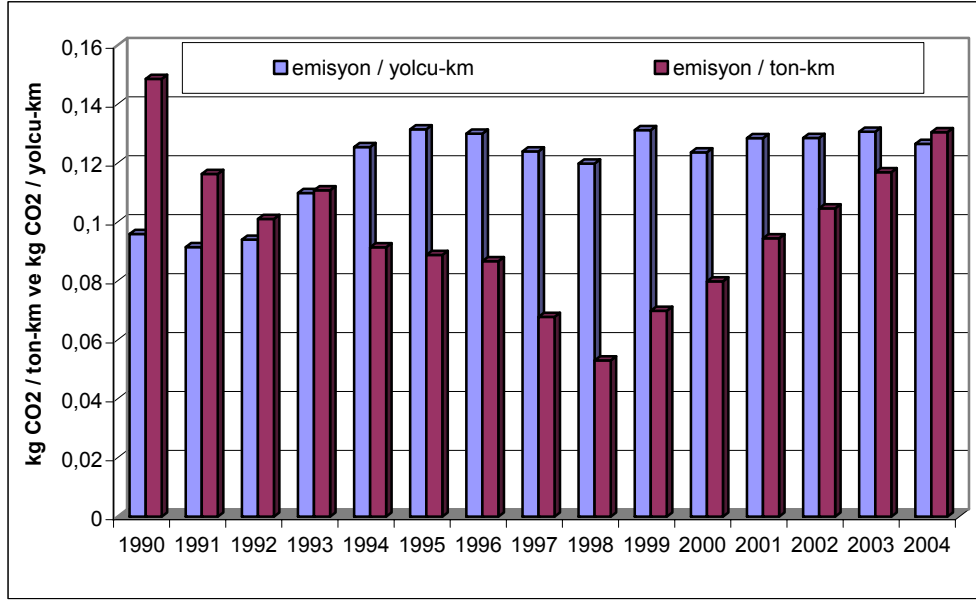
Şekil 6.4: Otomobiller ve minibüsler tarafından salınan CO₂ emisyonunun, taşınan tahmini yolcu sayısına oranı (ton CO₂/yolcu)

Otomobil ve minibüslerin emisyon değerleri artış gösterse de, yolcu sayılarındaki artış daha baskın olduğundan, CO₂ emisyonunun yolcu sayısına oranında azalma görülmektedir. 1998 yılından 2004 yılına kadar yaklaşık %35'lik bir azalma gerçekleşmiştir.

Tablo 6.5: Karayolları yolcu ve yük istatistikleri [19]

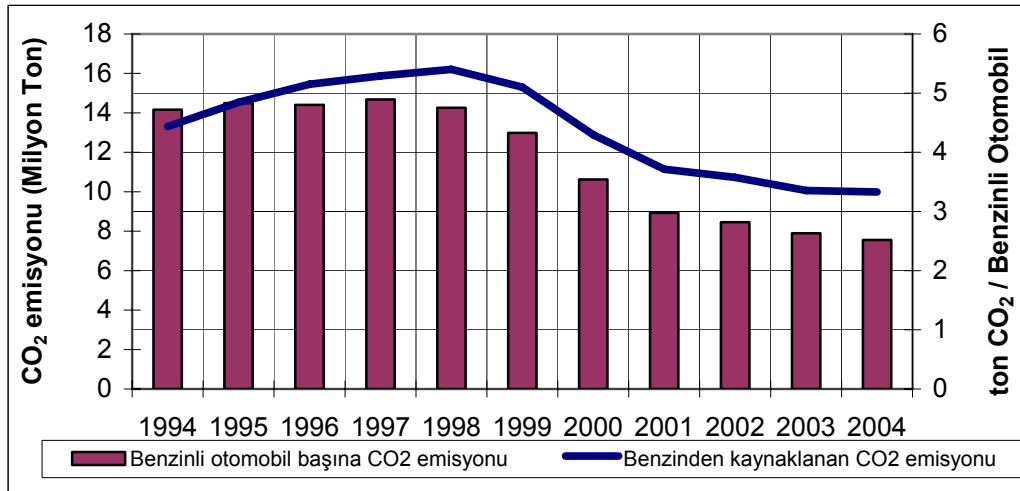
YIL	Taşıt-km	Ton-km	Yolcu-km
1990	2704100000	6571000000	13499100000
1991	28599400000	75071000000	139033200000
1992	30157800000	84432000000	143075400000
1993	31716200000	93793000000	147117600000
1994	33274600000	103154000000	151159800000
1995	34833000000	112515000000	155202000000
1996	40608500000	126152000000	168084500000
1997	46384000000	139789000000	180967000000
1998	49866000000	152210000000	186159000000
1999	49947000000	150974000000	175236000000
2000	56151000000	161552000000	185681000000
2001	51631000000	151421000000	168211000000
2002	51664000000	150912000000	163327000000
2003	52349000000	152163000000	164311000000
2004	57767000000	156853000000	174312000000

Tablo 6.5'te verilen karayolu yolcu ve yük istatistiklerindeki değişim ise genel olarak artış gösteren bir eğri çizmektedir. Ancak 2000 yılından sonra bu artışlarda yavaşlama göze çarpmaktadır. CO₂ emisyonlarını bu değerlere oranlayarak, emisyonların değişim trendi ile ilgili bilgi edinmek mümkündür.



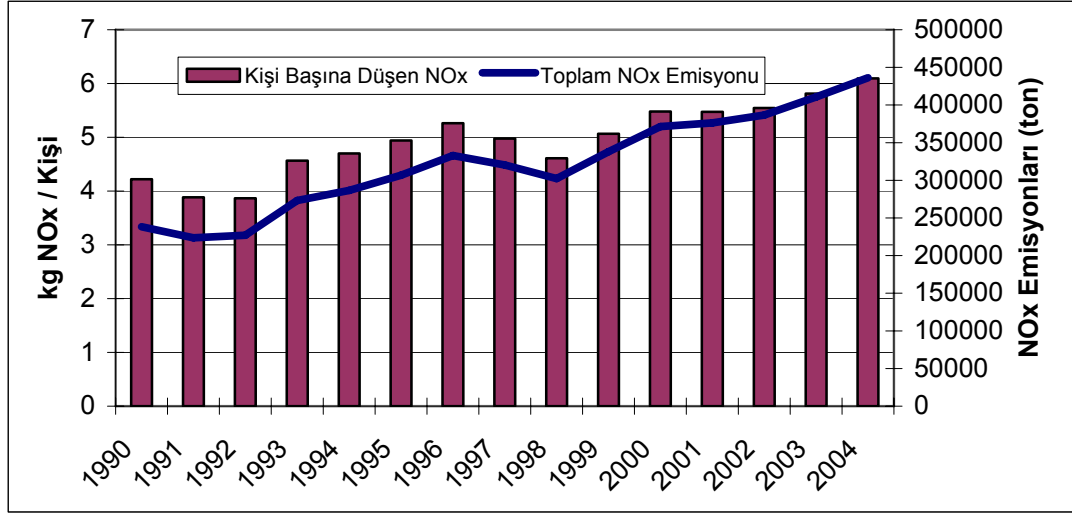
Şekil 6.5: CO₂ emisyonlarının ton-km ve yolcu-km değerlerine göre değişimi

Ton-km ve yolcu-km başına düşen CO₂ emisyonlarının değişimi Şekil 6.5'de görülmektedir. Yolcu-km değerine oranlanan CO₂ emisyonları, yolcu taşımacılığı için kullanılan otomobil, minibüs ve otobüslerin CO₂ emisyonlarını kapsarken, ton-km değerine düşen CO₂ emisyonları kamyon ve kamyonetlerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarıdır.



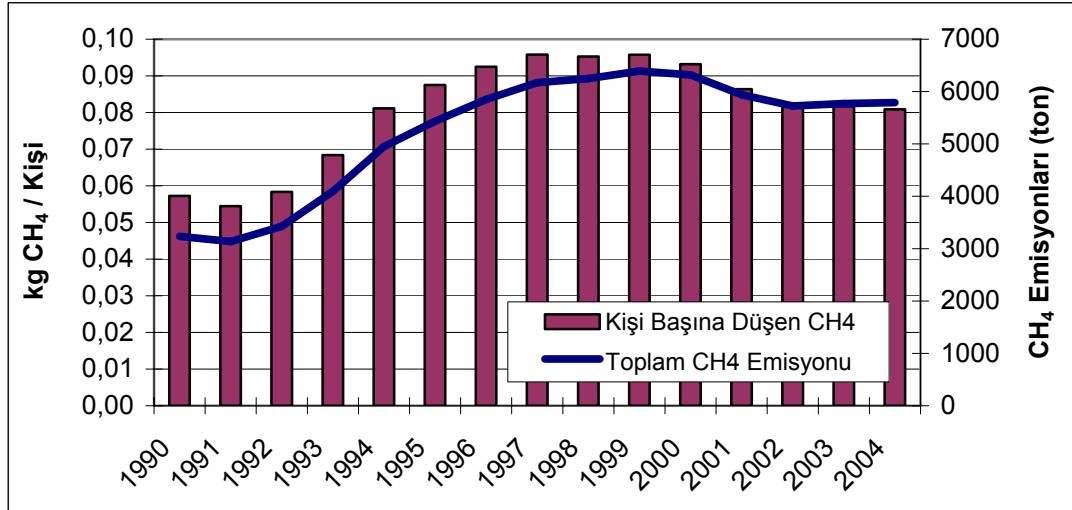
Şekil 6.6: Benzinli otomobillerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının ve benzinli otomobil başına düşen CO₂ emisyonlarının değişimi

Benzilli otomobillerin yakıt tüketim değerlerinin iyileşmesiyle birlikte, açığa çıkardıkları CO₂ emisyonlarında azalma görülmektedir. Benzinli otomobillerin sayısı araç parkında sürekli artış göstermektedir. Ancak bu otomobillerin daha az yakıt tüketme eğilimleri ve kullanıcıları tarafından daha az kullanılarak gittikleri mesafelerin kısalmış olması, açığa çıkardıkları CO₂ emisyonlarını da azaltmaktadır. Bu emisyonlar, benzinli otomobil sayısına oranlanırsa, bu değer de azaldığı görülmektedir.



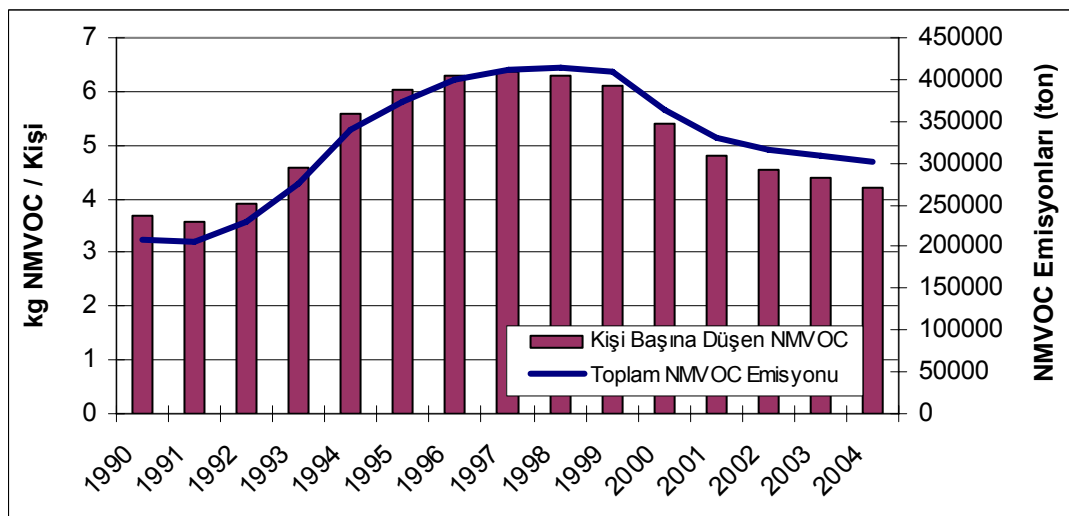
Şekil 6.7: Karayolu ulaşımından kaynaklanan NO_x emisyonunun ve kişi başına düşen NO_x emisyonunun değişimi

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi karayollarında üretilen NO_x emisyonları bir artış karakteri göstermektedir. Bu karakterin oluşmasında en önemli pay ağır dizellere aittir. Benzinli otomobillerin sayıları artmasına rağmen, emisyon kontrol teknolojilerindeki iyileşmeler, benzinli otomobillerden atılan emisyonların azalmasını sağlamıştır. Ancak dizel araçların oluşturduğu taşıt parkı yoğunluklu olarak emisyon kontrolü olmayan araçlardan oluştuğu için, dizellerin emisyon miktarları artmaktadır. Bu nedenle toplam emisyon değerleri de artış göstermektedir. Türkiye nüfusunun da arttığı bir ortamda, emisyonlar nüfusa oranlandığında ise, kişi başına düşen emisyon miktarındaki artış daha yavaş gerçekleşmektedir.



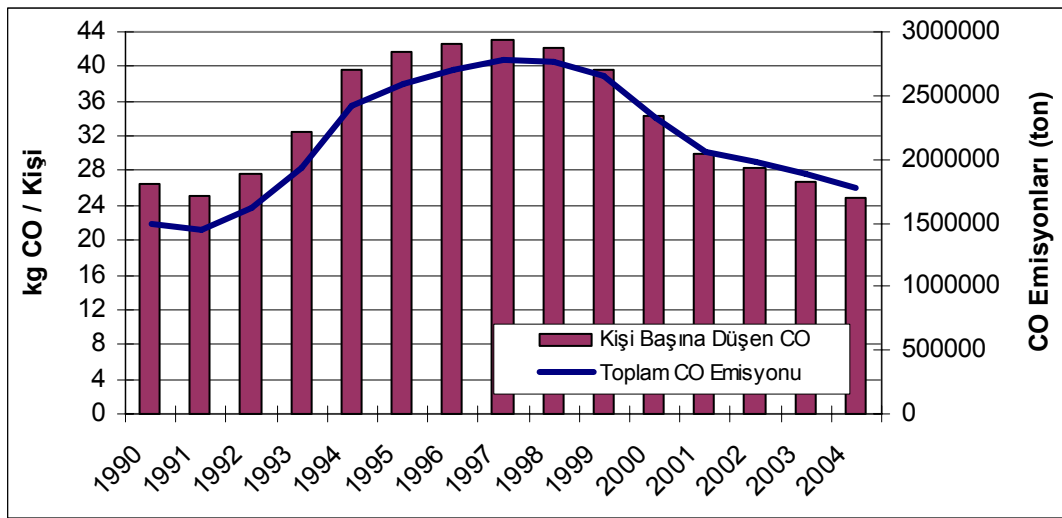
Şekil 6.8: Karayolu ulaşımından kaynaklanan CH₄ emisyonunun ve kişi başına düşen CH₄ emisyonunun değişimi

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi CH₄ emisyonlarında 1998 yılından itibaren bir azalma gerçekleşmektedir. Burada en büyük pay benzinli otomobillere aittir. Çünkü değer olarak, benzinli araçlardan kaynaklanan CH₄ emisyonu, dizel araçlarınkine göre daha fazladır. Özellikle benzinli otomobillerin emisyon standartlarına uyumları arttıkça, ürettikleri CH₄ emisyonunda azalma olduğu göze çarpmaktadır. Eski araçlar trafikten çekildikçe emisyonların azaldığı anlaşılabilmektedir. Burada eğer dizel araçlarda da daha yeni bir taşıt parkı elde edilir ve daha iyi bir emisyon kontrol teknolojisi sağlanırsa, kişi başına düşen CH₄ emisyonlarını şu anda olduğundan daha da aşağıya çekmek mümkün olacaktır.



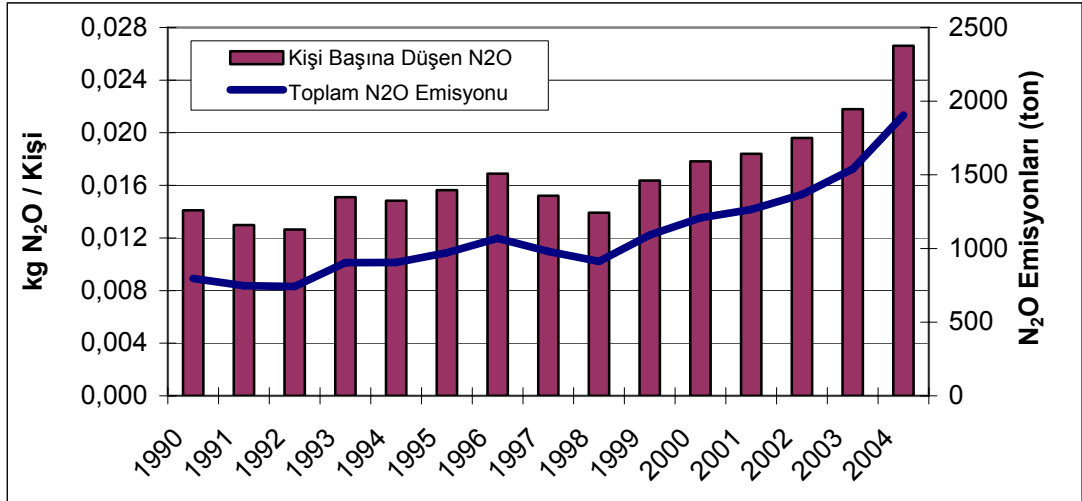
Şekil 6.9: Karayolu ulaşımından kaynaklanan NMVOC emisyonunun ve kişi başına düşen NMVOC emisyonunun değişimi

NMVOC emisyonlarının değişiminde de en büyük pay benzinli taşıtlara aittir. Özellikle Euro I öncesi otomobillerde, NMVOC emisyonlarının değeri Euro I ve III değerlerine göre yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu nedenle, araç parkındaki eski model otomobillerin trafikten çekilmesiyle, ve yeni otomobillerin de emisyon standartlarının Euro I'den sonrasına uygun olması nedeniyle, son 7 yıl içinde NMVOC emisyonlarında belirgin bir azalma gerçekleşmiştir. Dizel araçların ise bu emisyondaki payı benzinlilere göre düşüktür. Ancak dizellerin de emisyon kontrol teknolojisinin gelişmesi gereklidir. Çünkü aynı teknoloji ile devam ettikleri sürece, açığa çıkardıkları NMVOC değerleri de artacaktır.



Şekil 6.10: Karayolu ulaşımından kaynaklanan CO emisyonunun ve kişi başına düşen CO emisyonunun değişimi

CO emisyonlarının değişiminde de yine benzinli araçların ağırlığı görülmektedir. Özellikle emisyon kontrolü olmayan benzinli araçların CO emisyon faktörleri ağır dizellerin 5 katı kadardır. Euro I öncesi standarda sahip benzinli araçların emisyon faktörleri, dizellerden yine daha büyüktür. Euro I standardında olan benzinli otomobillerin bile emisyon faktörlerinin hafif dizellerden büyük olduğu düşünüldüğünde, benzinli otomobillerin CO emisyonlarında etkisinin neden fazla olduğu rahatlıkla anlaşılabilmektedir. Dizel araçların CO emisyonları sürekli bir artış içindedir. Bunda en önemli faktör, dize araç parkının büyümesi, araçların gittikleri mesafelerin uzaması ve yeni dizel emisyon kontrol teknolojisinin henüz Türkiye araç parkında yaygın bir hale gelmemiş olmasıdır. Benzinli otomobillerin değerlerine bakıldığında ise, Euro I ve sonrası emisyon teknolojilerinin yaygınlaşması ile, toplam CO emisyonu değerinde azalma sağlanmaktadır.

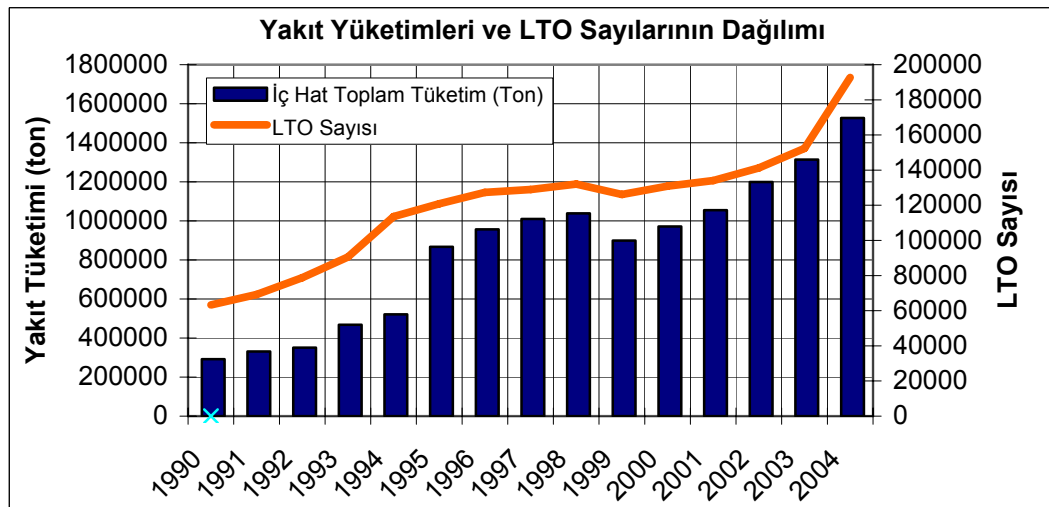


Şekil 6.11: Karayolu ulaşımından kaynaklanan N₂O emisyonunun ve kişi başına düşen N₂O emisyonunun değişimi

N₂O emisyonlarının artmasındaki en belirgin neden, katalitik konvertörlü taşıtların sayısının artmasıdır. Diğer emisyonları azaltmak için kullanılan emisyon kontrol teknolojileri, ürün olarak N₂O'yu açığa çıkardıkları için, bu emisyonun değeri her geçen yıl artmaktadır. Euro I öncesi araçlarda N₂O üretimi daha az olduğundan, bu araçların taşıt parkından çekilmesiyle N₂O emisyonundaki artışın da daha belirginleşmesi beklenmektedir.

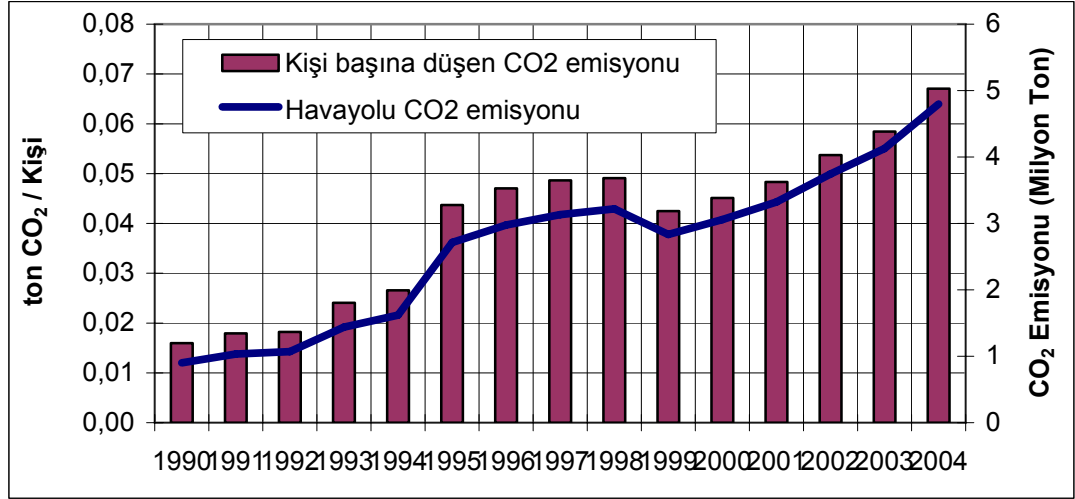
6.1.2 Havayolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi

Türkiye'de son yıllarda havacılık sektörünün gelişmesiyle birlikte, havayollarının kullanım oranında bir artış yaşanmaktadır. Bu sayede havayolu ulaşımı, tercih edilme açısından karayolundan sonra ikinci sıraya yerleşmiştir.



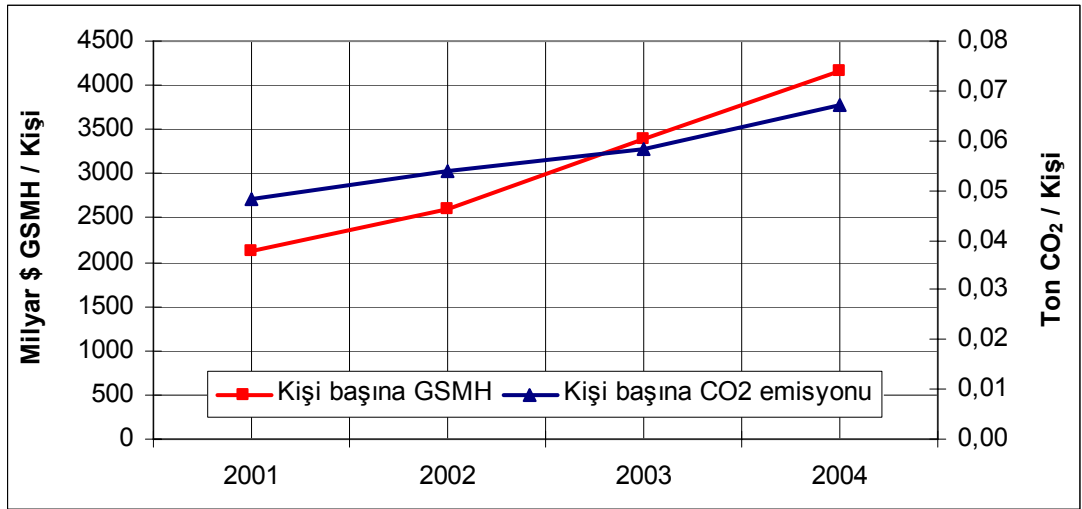
Şekil 6.12: Havayollarında tüketilen yakıt miktarının ve sefer sayılarının değişimi

İç hat havayolu kullanımı özellikle 2000 yılından itibaren hızlı bir artış göstermiştir. LTO sayıları bu artışı işaret etmektedir. Özellikle 2003 yılından sonra bir kademe daha atlama meydana gelmiştir ve 2004 yılındaki uçak trafiği 2000 yılına göre %50 artış göstermiştir. Doğal olarak da yakıt tüketim değerleri artmıştır.



Şekil 6.13: Havayolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının miktarının ve bu emisyonların kişi başına düşen değerinin değişimi

Yakıt tüketim değerlerinin artması sonucunda açığa çıkan CO₂ miktarlarında da artış görülmektedir. Kişi başına düşen CO₂ emisyonları da 2004 yılında 1990 yılına göre yaklaşık %60 artmıştır. Türkiye nüfusu her yıl artış gösterse de, nüfus artış hızı düşmektedir. Örneğin 1991 yılında %2 artan Türkiye nüfusu, 2004 yılında bir önceki yıla göre %1.3 artmıştır. Bu da Türkiye nüfusunun arttığını ama bu artışın yavaşladığını göstermektedir. Oysaki havayolu ulaşımının daha fazla kullanılmaya başlaması sonucunda daha fazla yakıt tüketilmesi ve dolayısıyla CO₂ emisyonu üretiminin artması ise daha hızlı gelişmektedir. Yani CO₂ üretiminin artış hızı, nüfus artış hızından daha fazladır. Bunun sonucunda da kişi başına düşen CO₂ emisyonları artış göstermektedir.

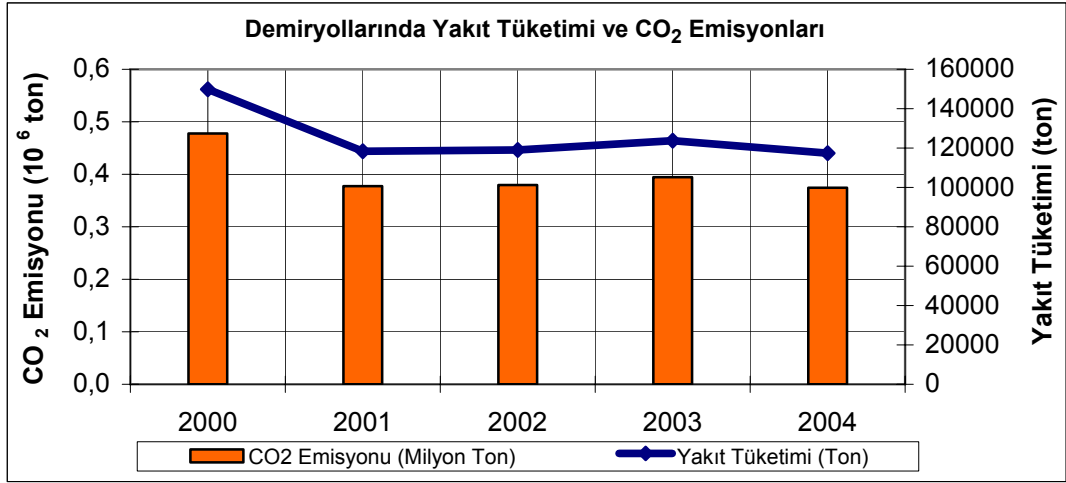


Şekil 6.14: Kişi başına GSMH ve kişi başına havayolu CO₂ emisyonu değişimi

Kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının artışı ile kişi başına düşen gayri safi milli hasılanın artışı arasındaki fark Şekil 6.14’de görülmektedir. CO₂ emisyonlarındaki artış, nüfus artışına göre daha hızlı gerçekleştiği için, kişi başına düşen CO₂ emisyonları artmaktadır. Öte yandan, kişi başına düşen GSMH değeri de 2001 yılından itibaren artış göstermiştir. Bu iki değer birbiriyle kıyaslanması durumunda, kişi başına GSMH artışının, kişi başına CO₂ artışından daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Buradan da GSMH başına düşen CO₂ emisyonlarında bir azalma eğilimi olduğu sonucuna varılabilir.

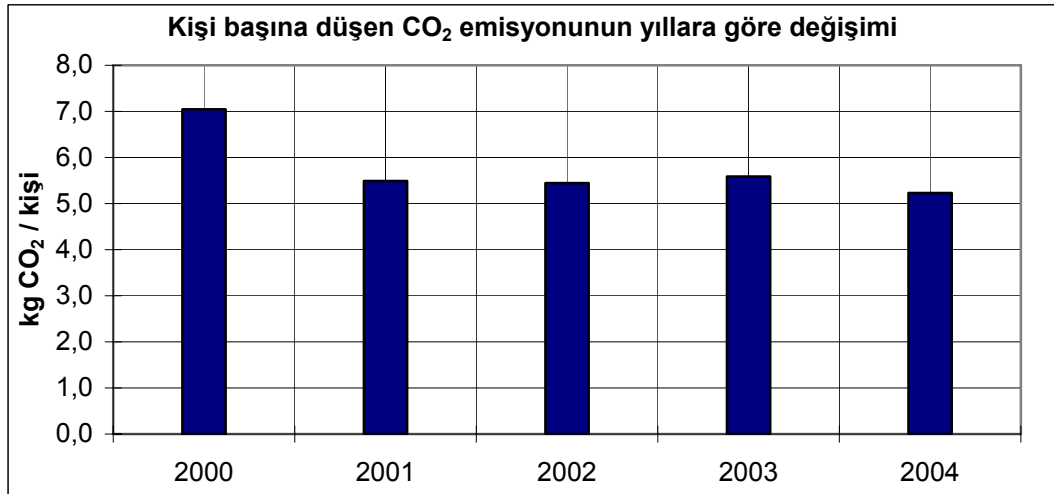
6.1.3 Demiryolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi

Demiryolu ulaşımı iki enerji kaynağı kullanılarak yapılmaktadır. Bunlardan birincisi elektrik enerjisi kullanımıdır, ikincisi ise motorin kullanan dizel motor kullanan lokomotiflerle ulaşımın sağlanmasıdır. Bu çalışma kapsamında sadece dizel motora sahip trenlerin kullandıkları yakıtlar ve bu yakıtların yakılması sonucu oluşan emisyonlar hesaplanmıştır.



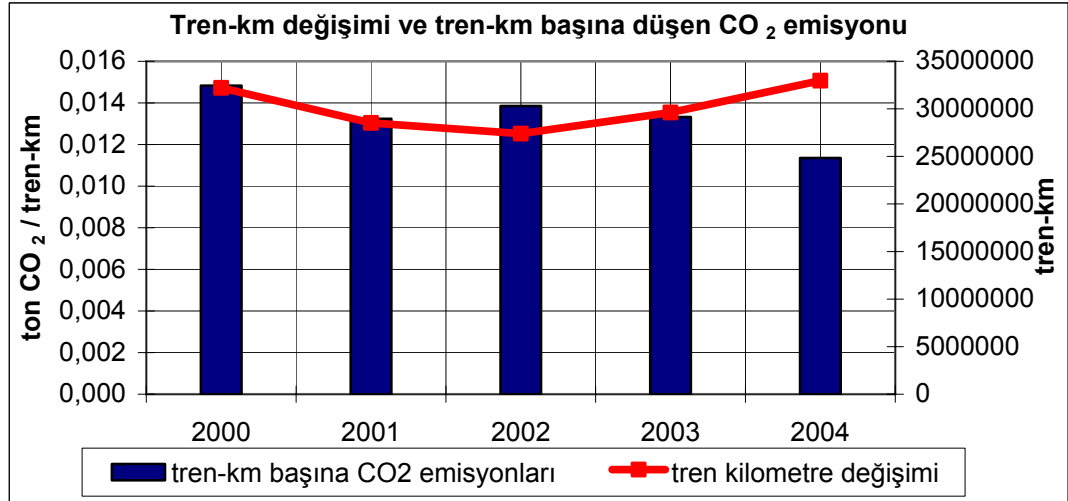
Şekil 6.15: Demiryolu ulaşımında yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonları

Demiryollarında yakıt tüketimi değeri yıllar içinde azalma göstermiştir. Bunun temel nedeni, demiryolu ulaşımının kullanımında azalma olmasıdır. Şehir içi ulaşımında kullanılan banliyö trenlerinin elektrikli sistemle çalışmasından dolayı, motorin kullanan dizel motorlu trenler şehirler arası ulaşımına ayrılmıştır. Ama şehirlerarası ulaşımında da demiryolları pek tercih edilmemektedir.



Şekil 6.16: Demiryolu ulaşımında kişi başına düşen CO₂ emisyonunun yıllara göre değişimi

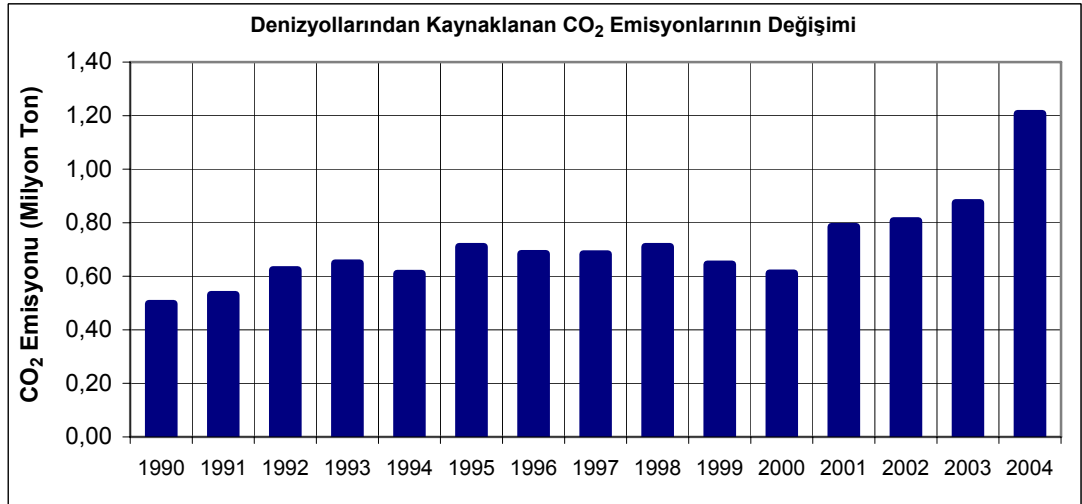
Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar, Türkiye nüfusuna oranlandığında, 1990 yılından 2000 yılına kadar bir azalma olduğu görülmektedir. 2001 yılından itibaren ise, hemen hemen sabit bir değerde devam etmektedir.



Şekil 6.17: Tren-kilometre değerinin yıllara göre değişimi ve tren-km başına CO₂ emisyonunun değişimi

6.1.4 Denizyolu Ulaşımından Kaynaklanan Emisyonların İncelenmesi

Denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların hesabı için yeterli bilginin olmamasından dolayı, denizyollarında hangi tip gemilerin veya ulaştırma grubunun hangi çeşit emisyon açığa çıkardığı konusunda net bilgi edinilememektedir. Ama bu çalışmada yapılmış olan Tier 1 emisyon hesaplarına göre elde edilen değerler hakkında yorumlar yapılabilir.



Şekil 6.18: Denizyolu ulaşımından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi

Şekil 6.18’de denizyolu ulaşımında üretilen CO₂ emisyonları görülmektedir. Bu değerler bütün ticari ve özel kullanımlı deniz taşıtlarını kapsamaktadır. Askeri kullanımlar hesaba dahil edilmez. Ulusal denizcilik sektöründe tüketilen yakıt miktarı üzerinden hesaplama yapıldığında CO₂ emisyonlarının son 4 yılda artış

gösterdiği görülmektedir. Özellikle 2004 senesinde en büyük değere ulaşılmıştır. Bunun en önemli nedeni, özellikle yük taşımacılığında denizyollarının kullanımında artış olmasıdır.

6.2 Türkiye Ulaştırma Sektörü Emisyonunun Toplam Emisyonlar İçindeki Payı

İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan sera gazları içinde en önemli olanı CO₂ gazıdır. CO₂ gazının insan faaliyetleri sonucu açığa çıkmasında en büyük pay ise fosil yakıtların yakılmasıdır.

Tablo 6.6: CO₂ emisyonuna neden olan temel sektörler (2003 yılı) [16]

Sektörler	CO ₂ Emisyonu (ton)	Toplam İçindeki Payları (%)
Toplam	230181000	100
Endüstriyel prosesler	17855000	8
Yakıtların yanması	212326000	92

Tablo 6.6'dan anlaşılabileceği gibi, 2003 yılında atmosfere salınan 230 milyon ton CO₂ emisyonunun %92'sine yakıtların yakılması neden olurken, %8'lik pay endüstriyel proseslere ait olmaktadır. Yakıtların yanması sonucu atmosfere atılan CO₂ emisyonlarının içinde en önemli pay %35 ile sanayiden gelmektedir. Ulaştırma sektörü de bu alanda %18 gibi bir etkiye sahiptir.

Tablo 6.7: Yakıtların yanmasına göre CO₂ emisyonlarının dağılımı (2003 yılı) [16]

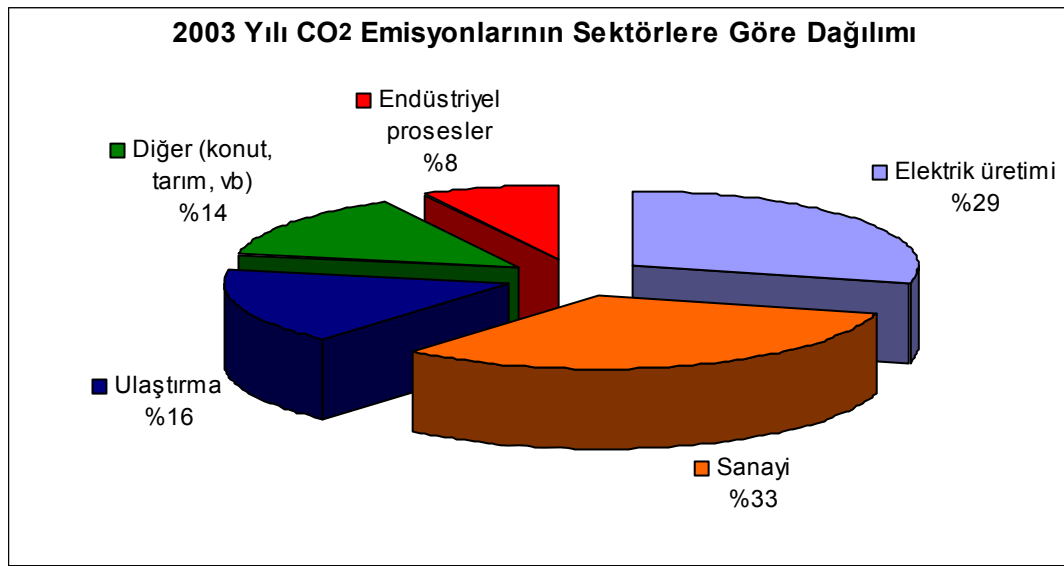
Sektörler	CO ₂ Emisyonu (ton)	Toplamdaki Payları (%)
Yakıtların yanması	212326000	100
Elektrik üretimi	66295000	31
Sanayi	75314000	35
Ulaştırma	37373000	18
Diğer (konut, tarım, vb)	33344000	16

Bütün sektörlerin kıyaslaması Tablo 6.8'de görülmektedir. Ulaştırma sektörü %16 oranında CO₂ emisyonuna kaynak olmaktadır. Sanayiden kaynaklanan CO₂ emisyonları %33 paya sahipken, elektrik üretimi sonucu açığa çıkan CO₂ emisyonları %29 pay sahibidir.

Tablo 6.8: Sektörlere göre CO₂ emisyonu (2003 yılı) [16]

Sektörler	CO ₂ Emisyonu (ton)	Toplam İçindeki Payları (%)
Toplam	230181000	100
Endüstriyel prosesler	17855000	8
Elektrik üretimi	66295000	29
Sanayi	75314000	33
Ulaştırma	37373000	16
Diğer (konut, tarım, vb)	33344000	14

2003 senesindeki CO₂ emisyonlarının sektörel olarak dağılımı Şekil 6.19’da görülmektedir.



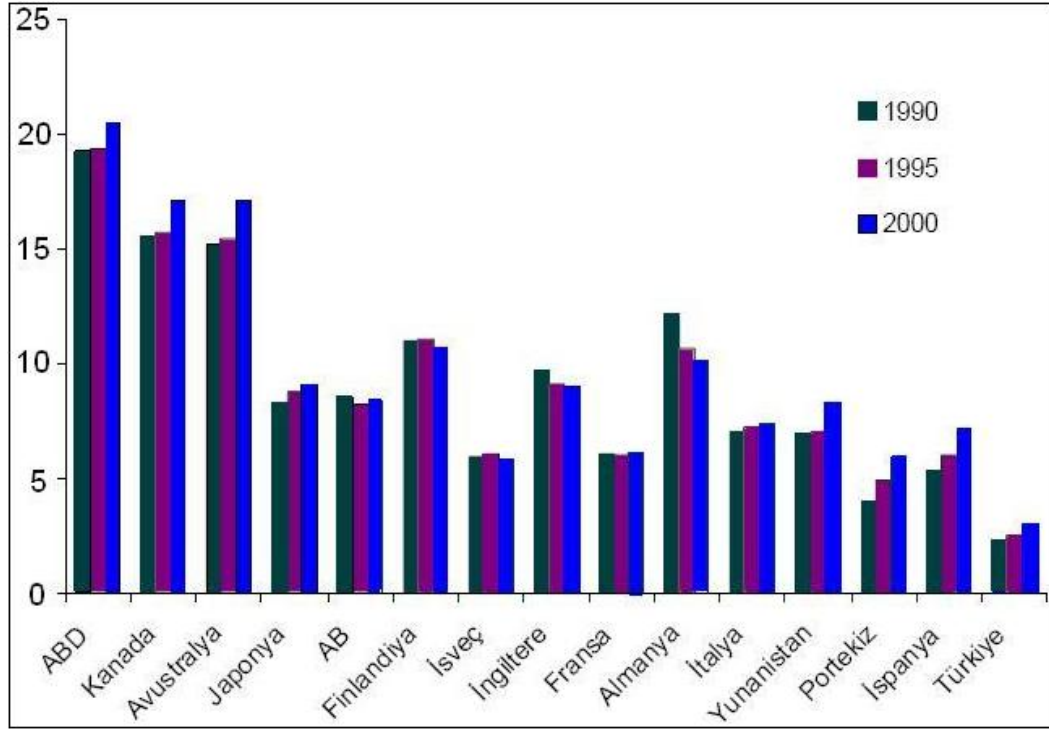
Şekil 6.19: Türkiye’nin CO₂ emisyonunun sektörlere göre dağılımı (2003 yılı verileri)

6.3 Türkiye Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan CO₂ Emisyonlarının Diğer Ülkelerin Emisyonları ile Karşılaştırılması

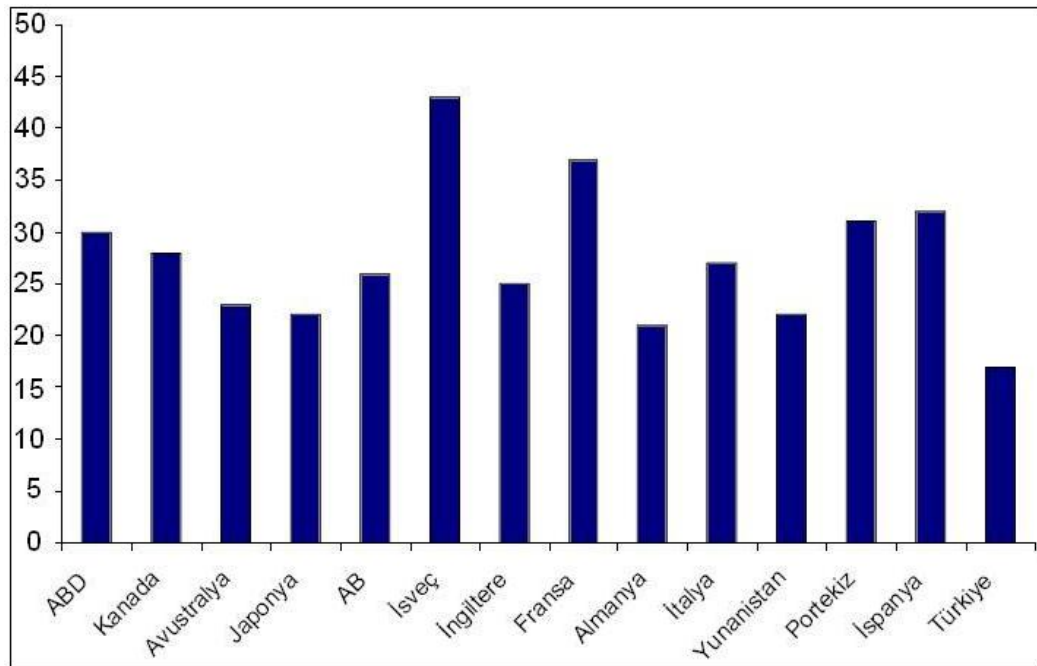
Türkiye’de enerji tüketimi sürekli artış göstererek 2000 yılında yaklaşık 82.2 milyon ton petrol eşdeğerine (Mtoe) ulaşmıştır. Bu miktarın artışını sürdürerek 2005 yılında 115.2 Mtoe değerine ve 2010’da 153.9 Mtoe değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Türkiye’de hemen her türlü enerji kaynağı bulunmakla birlikte, üretim tüketimin gerisinde kaldığı için, enerji tüketiminin %66’sı ithalatla karşılanmaktadır.

Türkiye’nin 1999 yılına ilişkin temel CO₂ göstergeleri açısından, dünya ülkeleri arasında, toplam CO₂ salımında 23., kişi başına CO₂ salımında 75., CO₂ salımının gayri safi yurt içi hasılaya (GSYİH) oranında 60. ve CO₂ salımının satın alma gücü

paritesine göre hesaplanmış GSYİH'ya oranında ise 55. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin toplam CO₂ salım miktarı dışında kalan göstergelerde alt sıralarda yer aldığı, bu nedenle gelişmiş ülkelerle birlikte değerlendirilmesinin hakkaniyete ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin "ortak ama farklı sorumluluklar" ilkesine uymadığı görülmektedir. [22]



Şekil 6.20: Ülkelere göre kişi başına düşen CO₂ emisyonları (10⁶ ton CO₂/kişi) [21]



Şekil 6.21: Ülkelere göre CO₂ emisyonunda ulaştırma sektörünün payı (%) [21]

Şekil 6.20’de ülkelere göre kişi başına düşen CO₂ emisyonları görülmektedir. Türkiye’de kişi başına düşen CO₂ emisyonları artış göstermektedir, ancak yine de dünya sıralamasında 75. durumdadır. Şekil 6.21’de ise ulaştırma sektörünün payları görülmektedir. Türkiye’de ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO₂ salımı, toplam CO₂ salımının %16’sını teşkil etmektedir. Ulaştırma sektörünün CO₂ emisyonundaki paylarına bakıldığında İsveç %42, Fransa %37, İspanya ve Portekiz %32 ve ABD %30 seviyelerinde bir orana sahiptir. Gelişmiş ülkelere kıyaslandığında Türkiye %16 oranında ulaştırma payı ile gerilerde kalmaktadır.

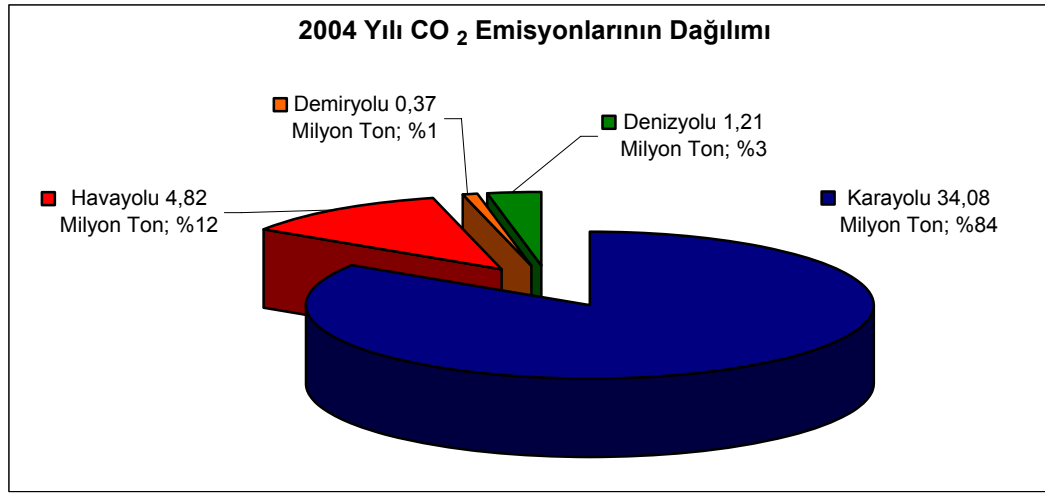
6.4 Türkiye Ulaştırma Sektörü Emisyonlarının Temel Kaynaklarının Analizi

Ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların içindeki paylar incelenirken Tier 1 değerleri kullanılmıştır. Bunun nedeni, bütün ulaştırma birimlerinde hesap yapılmış olmasıdır. Denizyolu için Tier 2 hesapları bulunmadığı için kıyaslama yapılması mümkün değildir. Bu nedenle diğer sektörlerin emisyonları da Tier 1 değerlerinden seçilmişlerdir. Detaylı metoda göre yapılan hesaplarda özellikle karayolu emisyonlarında farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin N₂O emisyonları Tier 2 yaklaşımı ile hesaplandığında, Tier 1 hesaplarında bulunan değerden daha yüksek çıkmaktadır. Ancak bütün ulaştırma gruplarını aynı yüzde içinde değerlendirmek gerektiği için, bütün emisyon değerlerini tek bir Tier yöntemine göre hesaplanmış sonuçlardan seçmek gereklidir.

Tablo 6.9: Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	93	4	2	2
1991	91	4	2	2
1992	91	4	2	2
1993	91	5	2	2
1994	90	6	2	2
1995	88	8	2	2
1996	88	9	2	2
1997	86	10	2	2
1998	85	10	2	2
1999	88	9	2	2
2000	88	9	1	2
2001	87	10	1	2
2002	86	10	1	2
2003	86	11	1	2
2004	84	12	1	3

Tablo 6.9’da görüldüğü gibi ulaştırma sektöründe CO₂ salınmasında en büyük pay karayolu ulaşımına aittir. Karayolunda meydana gelen emisyonlar sürekli artmaktadır, ama toplam pay içinde % olarak değeri düşmektedir. Örneğin 2004 yılına gelindiğinde, karayollarında, 1990 yılındakinden %50 daha fazla emisyon üretilmiştir. Diğer yandan havayollarında üretilen CO₂ emisyonları 2004 yılında, 1990 yılındaki değere göre %420 artmıştır. Yani havayollarının kullanımındaki artışın sonucunda, açığa çıkan CO₂ miktarı da artmıştır. Havayolları CO₂ emisyonundaki artışın hızı ise karayolu CO₂ emisyonu artış hızından daha yüksektir. Bunun sonucunda 2004 yılında karayolları %84, havayolları %12, demiryolları %1 ve denizyolları %3 oranında CO₂ emisyonu kaynağı durumundadır.



Şekil 6.22: Ulaştırma sektöründe CO₂ emisyonunun dağılımı (2004 yılı Tier 1 hesap değerleri)

CH₄ emisyonları incelendiğinde yine en büyük pay karayollarına aittir. Metan üretimi açısından karayolu ulaşımı en belirgin unsurdur. 2004 yılında %97 seviyesinde bir pay sahibidir ve bu yönüyle baskın olan kaynak durumundadır. Uçaklardan kaynaklanan metan emisyonları ise baz yıl olan 1990 yılına göre, 2004 senesinde 5 katı değere ulaşmıştır. Ama genel toplam içinde en büyük pay karayolu araçlarına aittir.

Tablo 6.10: Ulaştırma sektöründe CH₄ emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	97.9	0.2	1.0	0.9
1991	97.7	0.2	1.0	1.0
1992	97.7	0.2	0.9	1.1
1993	97.9	0.2	0.9	1.0
1994	97.8	0.3	1.0	0.9
1995	97.7	0.4	0.9	1.0
1996	97.9	0.4	0.8	0.9
1997	97.8	0.4	0.9	0.9
1998	97.7	0.5	0.9	1.0
1999	97.8	0.4	0.9	0.9
2000	97.9	0.5	0.7	0.9
2001	97.5	0.6	0.6	1.3
2002	97.4	0.6	0.6	1.3
2003	97.2	0.7	0.7	1.4
2004	96.7	0.8	0.6	1.9

Karayolu dışında bir ulaştırma grubunun etkisini en çok gösterebildiği gaz N₂O gazıdır. Karayolu taşıtlarında özellikle katalitik konvertör kullanımı ile birlikte N₂O emisyonları artış göstermiştir. 2004 yılında, baz yıl olan 1990'dan %25 artış ile 253 ton (Tier 1 yaklaşımı ile hesaplanan) değerine ulaşmıştır. Havayolu ulaşımının kullanımının artmasıyla birlikte, havayollarından kaynaklanan emisyon değerlerindeki artış ise daha hızlı yaşanmıştır. 2004 yılı itibariyle N₂O üretiminde karayolu ulaşımı %63, havayolu ulaşımı ise %34 pay sahibidir.

Tablo 6.11: Ulaştırma sektöründe N₂O emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	85	11	2	2
1991	83	13	2	2
1992	83	13	2	2
1993	82	14	2	2
1994	80	17	2	2
1995	73	23	2	2
1996	73	24	1	2
1997	70	27	2	2
1998	67	29	2	2
1999	72	25	2	2
2000	70	27	1	2
2001	68	29	1	2
2002	67	31	1	2
2003	65	32	1	2
2004	63	34	1	2

Karayolu dışındaki ulaştırma gruplarının % olarak değerlerini yükseltebildiği gazlardan biri NO_x gazıdır. Özellikle denizyolu ulaşımında kullanılan motorin ve fuel oil yakıtlarının artan miktarı NO_x emisyonunun artışında rol oynamıştır. Oran olarak denizyolu taşıtlarından ve havayollarından salınan NO_x değerleri hemen hemen aynı şekilde seyretmektedir.

Tablo 6.12: Ulaştırma sektöründe NO_x emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	92	1	3	4
1991	91	2	3	4
1992	90	2	3	5
1993	91	2	3	4
1994	90	2	3	4
1995	89	4	3	4
1996	89	4	3	4
1997	88	4	3	4
1998	86	5	4	5
1999	88	4	3	4
2000	89	4	3	4
2001	88	5	2	5
2002	88	5	2	5
2003	88	5	2	5
2004	86	6	2	7

Tablo 6.13: Ulaştırma sektöründe CO emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	98.8	0.1	0.6	0.6
1991	98.6	0.1	0.6	0.6
1992	98.7	0.1	0.5	0.7
1993	98.8	0.1	0.5	0.6
1994	98.7	0.2	0.6	0.5
1995	98.7	0.2	0.5	0.6
1996	98.8	0.2	0.5	0.5
1997	98.8	0.3	0.5	0.5
1998	98.7	0.3	0.5	0.5
1999	98.8	0.2	0.5	0.5
2000	98.8	0.3	0.4	0.5
2001	98.5	0.3	0.4	0.8
2002	98.5	0.4	0.4	0.8
2003	98.3	0.4	0.4	0.9
2004	98.0	0.5	0.4	1.2

CO emisyonunda karayolu belirgin bir etkiye sahiptir. Diğer ulaştırma grupları toplamda %2 pay sahibiyken, karayolu %98 oranında CO emisyonuna kaynak olmaktadır.

Metan harici uçucu organik bileşiklerin temel kaynağı karayolu emisyonlarıdır. Karayolu ulaşımı %97 oranında kaynak teşkil etmektedir.

Tablo 6.14: Ulaştırma sektöründe NMVOC emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	98.5	0.3	0.6	0.6
1991	98.4	0.3	0.7	0.6
1992	98.4	0.3	0.6	0.7
1993	98.5	0.4	0.5	0.6
1994	98.4	0.4	0.6	0.6
1995	98.3	0.6	0.5	0.6
1996	98.3	0.6	0.5	0.5
1997	98.3	0.7	0.5	0.5
1998	98.3	0.7	0.5	0.6
1999	98.4	0.6	0.5	0.5
2000	98.3	0.7	0.4	0.6
2001	97.9	0.9	0.4	0.8
2002	97.8	1.0	0.4	0.8
2003	97.5	1.1	0.4	0.9
2004	97.1	1.3	0.4	1.2

Tablo 6.15: Ulaştırma sektöründe SO₂ emisyonlarının dağılımları (%)

Yıllar	Karayolu (%)	Havayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)
1990	83	1	2	14
1991	81	1	2	15
1992	78	1	2	19
1993	81	1	2	16
1994	81	1	3	15
1995	79	2	2	17
1996	80	2	2	16
1997	78	2	3	17
1998	75	3	3	20
1999	80	2	3	15
2000	82	2	2	13
2001	82	2	2	14
2002	82	2	1	14
2003	82	3	1	14
2004	82	3	1	15

SO₂ emisyonlarında denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar belirginleşmektedir. Bunda özellikle fuel oil tüketiminin etkisi bulunmaktadır. Fuel oil için SO₂ emisyon faktörü motorinin yaklaşık 10 katı kadardır. Ancak toplamda yine en büyük pay karayolu emisyonuna aittir. Çünkü en büyük yakıt tüketiminin gerçekleştiği ulaştırma grubu karayollarıdır.

6.5 Aynı Mesafenin Farklı Ulaştırma Gruplarıyla Gidilmesi Sonucu Açığa Çıkan Emisyonların Örneklenmesi

Farklı ulaştırma grupları ile iki şehir arasında yol alındığında emisyon üretimlerinin nasıl değiştiği ve hangi ulaştırma grubunun daha avantajlı olduğu İstanbul – Ankara arası seyahatlerle örneklenabilir. Bu örnekte emisyon kontrolü bulunmayan bir benzinli otomobil, Euro I standartlı bir benzinli otomobil ve bir dizel otomobilde 4 yolcu ile İstanbul Ankara arası mesafe gidilmesi durumu ve aynı yolda toplu taşıma olarak da otobüs, tren ve uçak kullanılması durumunda yolcu başına düşen emisyonlar incelenmektedir. Tablo 6.16’da seçilen araçların özellikleri verilmiştir.

Tablo 6.16: İstanbul-Ankara arası seyahati örneklenen taşıtların özellikleri

	Otomobil	Otomobil	Otomobil	Otobüs	Uçak	Tren
Yakıt	Benzin	Benzin	Motorin	Motorin	Jet Yakıtı	Motorin
Özellik	Emisyon kont. tek. yok	Euro I	Standart	Standart	Airbus A310-300	6 pulman DE33000
Yakıt Tüketim	11.2 l/100 km	8.5 l/100 km	6.5 l/100 km	29.9 l/100 km	5300 l/h + 1937 l/LTO	4.2 l/km
Yolcu	4	4	4	52	282	360
Mesafe	445 km	445 km	445 km	445 km	--	537 km
Süre	4.5 saat	4.5 saat	4.5 saat	5.5 saat	1 saat	6.5 saat

Özellikleri belirlenen araçların emisyon faktörleri, daha önce 3. bölümde verilmiş olan tablolardan (Tablo 3.5, 3.6, 3.8, 3.10 ve 3.11) seçilerek, her araç grubunun emisyon faktörü kendine ait olan mesafe veya seyahat süreleri ile çarpılarak, her grubun İstanbul Ankara arası seyahatlerinde açığa çıkardıkları emisyonlar bulunur. Hesaplamalar yapıldığında elde edilen emisyonlar Tablo 6.17’de verilmiştir.

Tablo 6.17: İstanbul-Ankara arası seyahati örneklenen taşıtların emisyonları

Toplam Değerler	Otomobil Em. Kont. Yok	Otomobil Euro I	Otomobil Dizel	Otobüs	Uçak	Tren
Toplam Yakıt Tüketimi (litre)	50	38	29	133	7238	2255
CO ₂ (gram)	120150	91225	75650	342650	18256000	6111683
NO _x (gram)	979	223	312	4450	75700	142440
CH ₄ (gram)	31	9	2	27	400	479
NM VOC (gram)	2359	223	89	846	6368	10544
CO (gram)	20470	1291	312	4005	49280	50036
N ₂ O (gram)	2	22	4	13	624	153

Görüldüğü gibi otomobiller içinde en büyük emisyon değerlerini açığa çıkaran araç emisyon kontrol teknolojisi bulunmayan araçtır. Toplam yakıt tüketimi de diğer otomobillere göre yüksektir. Diğer taşıt gruplarını kıyaslamak için ise yolcu sayılarına oranlayıp, yolcu başına düşen değerlere bakmak gereklidir.

Tablo 6.18: İstanbul-Ankara arası seyahati örneklenen taşıtların yolcu başına düşen yakıt tüketimleri ve emisyonları

Yolcu Başına Düşen Değerler	Otomobil Em. Kont. Yok	Otomobil Euro I	Otomobil Dizel	Otobüs	Uçak	Tren
Yakıt Tüketimi (litre/yolcu)	12.5	9.5	7.2	2.6	25.7	6.3
CO ₂ (gram/yolcu)	30037.5	22806.3	18912.5	6589.4	64737.6	16976.9
NO _x (gram/yolcu)	244.8	55.6	77.9	85.6	268.4	395.7
CH ₄ (gram/yolcu)	7.8	2.2	0.6	0.5	1.4	1.3
NM VOC (gram/yolcu)	589.6	55.6	22.3	16.3	22.6	29.3
CO (gram/yolcu)	5117.5	322.6	77.9	77.0	174.8	139.0
N ₂ O (gram/yolcu)	0.6	5.6	1.1	0.3	2.2	0.4

Tablo 6.18’de görüldüğü gibi yolcu başına en düşük yakıt tüketim değeri otobüslere aittir. İkinci sırada ise trenler gelmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, trenler için alınmış olan emisyon faktörlerinin yüksek değerler olarak seçilmiş olmasıdır. Yanma koşulları kötü olan ve yüksek emisyon veren dizel seçeneği nedeniyle trenlerin yakıt tüketimleri ve trenlerden kaynaklanan emisyonlar daha yüksek çıkmaktadır. Diğer bir önemli nokta ise TCDD’nin yolcu taşıma seferlerinin

büyük çoğunluğunun elektrikli lokomotifler tarafından yapılmasıdır. Bu örneklemede yakıt yakılması sonucu açığa çıkan emisyonlar incelenmek istendiği için lokomotif olarak dizel olan DE33000 seçilmiştir. TCDD dizel lokomotifleri çoğunlukla yük taşımacılığında kullanılmaktadır. Yine de trenlerin yolcu başına yakıt tüketimlerinin ve özellikle yolcu başına CO₂ emisyonlarının otomobille seyahate göre daha düşük olduğu açıktır. Uçaktan kaynaklanan yolcu başına emisyon değerleri içinde diğer taşıtlara göre en yüksek değeri veren CO₂ emisyonudur. Uçakların fazla yakıt tüketimleri göz önüne alındığında bu da beklenen bir sonuçtur. Diğer yolcu başına düşen emisyonlarda ise, eski model benzinli otomobilden daha iyi ve Euro I emisyon regülasyonlu benzinli otomobile hemen hemen yakın değerler vermiş olması da önemli bir avantajdır.

Değerlendirmede, toplu ulaşım araçlarının uyguladıkları taşıma ücretleri de karşılaştırılabilir. Örneğin THY İstanbul ile Ankara arası uçuşların bilet ücreti ortalama 116 YTL, otobüslerin ücreti ortalama 56 YTL, TCDD ekspres tren biletlerinin ücreti ise 22 YTL'dir. Seyahat sürelerine bakıldığında, özel otomobil ile İstanbul ve Ankara arası mesafe yaklaşık olarak 4.5 saat, otobüs ile tek mola verilerek 5.5 saat, otobüs ekspres molasız 5 saat, tren ile 6.5 saat ve uçak ile 1 saat sürmektedir.

7. SONUÇLAR

İnsan faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan ve atmosferdeki miktarları sanayi devriminden günümüze kadar hızla artmış olan sera gazı emisyonlarının ısı tutma kapasiteleri nedeniyle küresel ısınmaya neden oldukları bilinmektedir. Antropojenik sera gazı üretiminde ulaştırma sektörü %16 oranında bir pay sahibidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları belirlenmiştir.

Emisyon hesaplamaları sırasında IPCC tarafından önerilmiş olan metodoloji kullanılmıştır. IPCC Metodolojisinin önerdiği Tier 1 yaklaşımı bütün ulaştırma sektörü alt gruplarına uygulanırken, detaylı Tier metodları denizyolu haricindeki alt gruplara uygulanmıştır.

Çalışma sırasında, ulaştırma sektörü nedeniyle açığa çıkan sera gazlarının içinde büyük oranda CO₂ gazı bulunmasından dolayı, özellikle CO₂ gazlarının analizi üzerinde durulmuştur. CO₂ dışında, NO_x, CO, CH₄, NMVOC, N₂O ve SO₂ gazları da hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda bütün sera gazı emisyonlarında artış olduğu ve özellikle toplam yakıt tüketimlerinin artması sonucunda CO₂ emisyonlarının hızla arttığı gözlemlenmiştir.

Ulaştırma sektöründeki alt gruplar içinde en büyük emisyon kaynağının karayolu olduğu bilinmektedir. Karayolu kaynaklı CO₂ emisyonlarının toplam ulaştırma sektörü içindeki payı 1990 yılında %93 oranındayken, 2004 yılına gelindiğinde %84 değerine gerilemiş, havayollarından kaynaklanan emisyonların toplam içindeki payı %4 oranından %12'ye yükselmiştir. Karayolu emisyonlarının toplam içinde oran olarak azalmasında, havayolu ulaşımı kullanımındaki artışın etken olduğu görülmektedir.

Demiryollarında motorin kullanım oranındaki azalma sonucunda, demiryollarında tüketilen yakıt miktarları ve dolayısıyla emisyon değerleri azalmıştır. Ancak demiryollarının genel kullanımında bir azalma sözkonusu değildir. Özellikle yolcu taşımacılığında elektrikli lokomotiflerin kullanımının artması ve motorin kullanan dizel motorlu lokomotiflerin kullanımının daha çok yük taşımacılığına verilmesi,

doğrudan yakıt yakılması sonucunda demiryollarından açığa çıkan toplam emisyonların düşmesine neden olmuştur. Demiryollarında ulaşım için kullanılan elektriğin üretiminde açığa çıkan emisyonların nasıl bir karakter izlediği bu çalışmanın kapsamı içinde olmadığından, demiryolları emisyonlarının azaltılmasında bir kayıp veya kazanç olduğu şeklinde yorum yapmak pek sağlıklı görünmemektedir. Karayolu ve havayolundan geriye kalan %4'lük CO₂ emisyonu payı içinde demiryolu ve denizyolu ulaşımı nedeniyle açığa çıkan emisyonlar bulunmaktadır. 2000 yılından itibaren demiryollarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarında azalma meydana gelmesi ve denizyollarının kullanımındaki artış nedeniyle, denizyolu ulaşımının neden olduğu CO₂ emisyonları %3 seviyelerine yükselmiştir.

CO₂ haricindeki emisyonlar incelendiğinde, CH₄, CO ve NMVOC emisyonları için temel kaynağın karayolu ulaşımı olduğu görülmektedir. Bu üç gazın karayolu kaynaklı emisyonları toplam içinde %98 oranında paya sahiptirler. NO_x emisyonu değerleri incelendiğinde, havayolu ulaşımının daha fazla kullanılmasının da etkisiyle, karayolu kaynaklı NO_x emisyonlarının toplam içindeki oranı 1990 yılından 2004 yılına gelindiğinde %92'den %86'ya gerilerken, havayolu kaynaklı NO_x emisyonları %1'den %6'ya yükselmiştir. Denizyolu ulaşımından kaynaklanan NO_x emisyonları da %4 değerinden %7 değerine yükselme göstermiştir. Havayolu ulaşımının neden olduğu emisyonların oransal olarak en büyük değerlere eriştiği gaz N₂O gazıdır. 1990 yılında %11 olan N₂O emisyonlarının toplam içindeki oranı 2004 yılına gelindiğinde %34 oranına yükselmiştir. Karayolu kaynaklı N₂O emisyonları da bu 15 yıllık süreçte artış göstermekle beraber, toplam içindeki oranı %85'ten %64'e gerilemiştir. SO₂ emisyonlarının toplam içinde oransal olarak en büyük payı yine karayolu ulaşımına aittir. SO₂ emisyonuna karayolu ulaşımında temel kaynak motorin tüketimidir. Toplam içinde oransal olarak ikinci sırayı denizyolları almaktadır. Bunda en önemli etken, denizyollarında kullanılan fuel oil yakıtının yüksek kükürt içeriğidir. Bu nedenle denizyolu ulaşımının neden olduğu SO₂ emisyonlarının toplam içindeki payı %15 seviyelerindedir.

Hesaplamalar sonucunda karayolu taşıt parkında bulunan eski model araçların trafikten çekilmesi ve bunların yerine daha az yakıt tüketen ve emisyon regülasyonuna uygun araçların parka eklenmesi, karayolu kaynaklı emisyonlarda belirgin bir iyileşme sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Yapılan modellemelerde aynı mesafeyi giden üç otomobilden birinin emisyon kontrol teknolojisine sahip olmadığı,

birinin Euro I standardına uyduğu ve sonuncusunun da dizel motorlu olduğu kabulleriyle hesap yapıldığında en düşük yakıt tüketim değerine sahip olan dizel otomobilin en düşük CO₂ emisyonunu açığa çıkardığı, emisyon kontrol teknolojisi olmayan ve yüksek yakıt tüketim değerine sahip olan eski model otomobilin ise en kötü emisyon değerlerini verdiği görülmüştür. Emisyon kontrol teknolojisine sahip olan otomobilin, kontrol teknolojisi olmayan eski model otomobile göre yüksek değerde saldıgı tek emisyon N₂O gazıdır. Bu da, katalitik konvertörlü araçların diğer emisyonları (özellikle CO, NO_x, HC) azaltırken ürün olarak açığa N₂O çıkarmasından dolayı beklenen bir sonuçtur.

Aynı iki şehir arasında farklı ulaştırma grupları ile seyahat edilmesi durumunda, elde edilen sonuçlar, taşınan yolcu sayısının artmasıyla, yolcu başına düşen emisyon değerlerinde azalma sağlanabileceğini göstermektedir. Özellikle demiryolu ulaşımında kullanılan sistemlerin daha kaliteli hale getirilmesi, yolcu kapasitelerinin artırılması ve tam kapasite ile yolcu taşınması gibi unsurlar sağlandığında, hem ucuz hem de çevreye daha az zararlı ulaşım imkanları elde edilmektedir.

Ulaştırma sektörü nedeniyle ve özellikle karayolu ulaşımı nedeniyle açığa çıkan emisyonların miktarını düşürmek için bazı çözüm önerilerinde bulunulabilir. Karayolu taşıtlarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması için öncelikli olarak taşıt yakıt tüketimlerinin azaltılması zorunludur. Yakıt tüketimlerinin azaltılması aşamasında en önemli unsur yeni motor teknolojilerinin uygulanmasıdır. Bunlara örnek olarak; direk püskürtmeli benzin motorları kullanılarak fakir karışımli yanma sağlanması, direk püskürtmeli ve aşırı doldurmalı dizel motor kullanımı, homojen karışımli sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlar yardımıyla doğal gaz kullanımına imkan tanınması ve verim artışı sağlanması verilebilir. Yakıt tüketiminin azaltılmasında taşıt teknolojilerindeki gelişmeler de pay sahibidir. Örneğin; daha küçük boyutlu ve düşük ağırlıklı taşıtların geliştirilmesi, bu işlemler için hafif malzemelerin kullanımı, aerodinamik özelliklerde ve lastik performansında iyileştirmeler sayesinde yakıt tüketimleri azaltılabilir. Bunun dışında alternatif yakıtların ve taşıtların kullanılması da CO₂ emisyonlarını azaltmak için imkanlar sunacaktır. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanımı ve sıkıştırılmış (CNG) doğal gaz ile sıvılaştırılmış (LNG) doğal gaz kullanımları kısa dönemde uygulamaya konulabilir çözümlerdir. Uzun dönemde ise hidrojenin motor yakıtı olarak kullanılması, hibrid elektrikli araçlar ve yakıt hücrelerinin taşıtlarda kullanılması gibi

özmler mevcuttur. Sera gazlarını azaltmak için diğerk bir çözüm önerisi ise trafik akımının düzenlenmesidir. Taşıtların motor performansı ve güç gereksinimi değerkendirildiğinde, yakıt tüketimi açısından ideal trafik hızlarının sağlanması, trafik sıkışıklıklarının giderilmesi, sinyalizasyon sisteminin düzenlenmesi ve maksimum taşıt hızlarının sınırlandırılması gibi uygulamalar ile trafik akımı düzenlenebilir. Ayrıca ulaştırma politikalarının da düzenlenmesi zorunludur. Bunun için şehir planlamasına önem verilerek arazinin etkin kullanılması ve toplu taşımacılık payının artırılması gereklidir. Özellikle taşıdığı yolcu sayısı bakımından düşük sera gazı emisyonu olan denizyolu ve demiryolu ulaşımının etkinleştirilmesi ön plana çıkmaktadır. Ayrıca seyahat gereksinimini azaltacak ve düzenleyecek önlemler de alınmalıdır. Araçların yakıt tüketimlerine ve yakıt türüne göre vergilendirilmesi gibi pazar düzenlemeleri yoluyla etkin stratejiler de geliştirilmelidir. Yasal düzenlemelerle araç verimi için performans ve yakıt tüketimi standartları düzenlenmelidir. Ayrıca devlet desteğıyle, araç verimliliğinin iyileştirilmesi ve alternatif yakıtlar için altyapı oluşturulması gibi doğrudan yatırımlar yapılmalıdır. [21]

Bu alışma ile elde edilen veriler ileride yapılacak çalışmalar için önemli bir kaynak vazifesi görecektir. Öncelikli olarak göz önüne alınması gereken nokta, daha önce Türkiye'nin ulaştırma sektörü emisyon envanteri ile ilgili çalışmaların bu kadar detaylı yapılmamış olmasıdır. Daha önce yapılan çalışmalar, toplam yakıt tüketimlerinden hareketle ulaşıma sektörünün emisyonlarını belirlemektedir. Bu alışma ise hem toplam yakıt tüketim değerklerinden hareket edilerek hesaplanan emisyon envanterini içermektedir (Tier 1) hem de taşıt gruplarından yola çıkarak detaylı olarak her grubun neden olduğu emisyonların hesabını içermektedir (Tier 2). Fakat, daha önce bu tip detaylı bir çalışma yapılmadığından dolayı, bu çalışma sırasında veri eksikliği önemli bir problem olmuştur. Özellikle IPCC tarafından önerilen, ülkelerin kendi emisyon faktörlerini geliştirmeleri tavsiyesi yeterli veri, zaman ve tehzizat eksikliği nedeniyle gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle de, IPCC Kılavuzunda verilen ve Avrupa ülkelerindeki ortalamalara göre hesaplanmış olan hazır değerkler kullanılmıştır.

IPCC Tier 1 yaklaşımı, veri elde edilmesi kolaylığı düşünülerek geliştirilmiştir. Ancak bu kademedede bile çeşitli bilgi eksiklikleri yaşanmıştır. Özellikle toplam yakıt tüketim değerklerindeki belirsizlikler hesapların kesinliği açısından temel engel görevi

görmüştür. Karayolu yakıt tüketim değerleri birkaç kaynaktan bulunup karşılaştırılabilme şansına sahipken, diğer sektörler için bu durum geçerli değildir. Özellikle havayolu ve denizyolu sektörlerinde ulusal yakıt tüketimleri ile uluslararası tüketimleri birbirlerinden ayırma aşamasında zorluklar yaşanmıştır.

IPCC Tier 2 yaklaşımı ile yapılan hesaplamalar ise daha detaylı ve fazla veri gerektirdiğinden, bu bölümde de yapılan hesapların birçoğunda, eksik verilerin olduğu yerlerde uzman görüşlerine başvurularak tahmini değerler kullanılmıştır. Bu problemle özellikle karayolu taşıt parkı oluşturulması sırasında karşılaşılmıştır. Ayrıca havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların belirlenmesi konusunda tecrübe sahibi olunmaması ve bilgi eksikliği nedeniyle çoğu noktada kabuller yapılması gerekmiştir. Denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların hesabı ise yapılamamıştır.

Bu anlatılan veri ve tecrübe eksikliğinin hangi konularda yaşandığının görülmesi açısından bu çalışma, ileride yapılacak çalışmalar için de ışık tutacaktır. Daha sonra yapılacak çalışmalarda özellikle şu konularda daha detaylı veri toplanması gereklidir;

1. Türkiye’de sektörel bazda tüketilen yakıt miktarları kesin değerlerle belirlenmelidir. Ulaştırma sektörü için bu verilerin mümkün olduğu kadar kendine has ve diğer sektörlerle karışmamış olması gereklidir. İlgili kurumlardan alınan herhangi bir yakıtı ait tüketim veya satış değerlerinin tamamının ulaştırma sektöründe kullanıldığının bilinmesi veya hata payının belirlenmesi gereklidir. Örneğin LPG tüketim veya satış değerlerinin sadece taşıtlarda kullanıldığının, evsel veya sanayi kullanımının bu değerlerden tamamen arındırılmış olduğunun kesinleştirilmesi gereklidir.

2. Türkiye taşıt parkının, taşıt. modellerine ve teknik özelliklerine göre belirlenmesi gereklidir. Detaylı karayolu emisyonları hesabı için taşıt parkı verileri mutlak olarak bilinmelidir. Kaydı silinen ve yeni kayıt olan araçların sayıları ile taşıt parkı karşılaştırıldığında değerlerin birbirlerini tutması gereklidir. Her sene trafiğe katılan ve trafikten çıkan araçların teknik özellikleri ile ilgili veriler düzenli olarak tutulmalıdır. Burada mümkünse Avrupa Birliği’nin kullandığı gruplama yöntemine göre düzenleme yapılmalıdır. Özellikle araç emisyon standartlarının bilinmesi gereklidir. Taşıt parkının otomobil, otobüs, kamyon gibi temel başlıklara göre gruplandırılması yeterli değildir. Örneğin otomobiller, öncelikle benzinli, dizel ve

LPG'li olarak ayrıldıktan sonra, motor hacmine göre gruplanmalı ardından da her motor hacmi grubu kendi içinde emisyon kontrol teknolojisinin standartlarına göre gruplandırılmalıdır. Bu gruplandırma için AB kurumlarının kullandığı kodlama sistemlerinden hareket edilebilir.

3. Araçların yıllık gittikleri mesafelerin belirlenmesi önemlidir. Her taşıt grubunun yıllık ortalama kilometreleri bilinmelidir.

4. Her taşıt grubunun ortalama taşıt parkında kalış süreleri belirlenmelidir. Her grubun ne kadar yaşlandığı bilinmelidir.

5. Katalizörlü taşıtların yaşlanma etkileri incelenmelidir.

6. Karayolu taşıtlarının emisyon faktörleri belirlenmelidir. Bu aşamada ABD'nin kullandığı MOBILE ve AB'nin kullandığı COPERT gibi modellerden faydalanılmalıdır. Bunun için, bazı büyük şehirlere ve kritik bölgelere göre seyir çevrimleri oluşturulmalıdır. Ardından önem arzeden şehirlere ve bölgelere göre hava koşulları değerlendirilmelidir. Sonraki aşamada tüm Türkiye için daha önce belirlenmiş olan taşıt gruplamalarına göre ortalama emisyon faktörleri belirlenmelidir.

7. Yurt içi uçuşlara ait detaylı verilerin toplanması gereklidir. Havayolu emisyonlarının hesabında ulusal envantere katılan emisyonlar yurt içinde yapılan uçuşlardan gelen emisyonlardır. Uluslararası değerler ulusal envantere dahil edilmez. Ancak uluslararası uçan bir uçak ülke sınırları içinde bir havameydanından havalanıp bir diğerine iner ve buradan ayrılıp yurt dışına çıkarsa, ilk seyir yurt içi ikincisi yurt dışı olarak hesaplanır. Bu bilgiler doğrultusunda, yurt içi uçuşlara katılan tüm uçakların numaralarının ve LTO sayılarının bilinmesi gereklidir. Ayrıca bu uçakların emisyon faktörleri de belirlenmelidir. Çünkü IPCC Kılavuzlarında verilen değerler eski model uçaklara ait olduğundan yetersiz kalmaktadır. Bu veri toplama işlemi için ICAO tarafından verilmiş olan test değerleri derlenebilir.

8. Demiryollarında kullanılan dizel motorlu lokomotiflerin çektiği trenlerin yolcu, yük, yakıt tüketimi ve mesafe bilgilerinin düzenlenmesi ve sürekli güncellenmesi gereklidir. Bu konuda TCDD yıllık istatistikleri en detaylı kaynak durumundadır. Ancak yine de, emisyon envanteri oluşturulmasına uygun bir veri bankası oluşturulabilir.

9. Ulusal denizcilik ile ilgili toplanmış olan ama çok karmaşık durumda bulunan bütün arşivin düzenlenerek, kullanıma uygun hale getirilmesi gereklidir. Bu konuda özellikle bir Türk limanından hareket edip yine bir Türk limanına varan gemiler ile ilgili bilgilerin düzenlenmesi gereklidir. Bu gemilerin yolcu ve yük istatistikleri toplanmalıdır.

Bu çalışma ile daha sonra yapılacak detaylı emisyon envanteri çalışmalarına bir başlangıç yapılması amaçlanmıştır. Yukarıda sıralanan maddelerdeki eksiklerin giderilmesi ve tavsiye edilen veri toplama işlemlerinin yapılmasının ardından, Türkiye'nin ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların hesaplanması ve envanter oluşturulması aşamasında daha detaylı çalışmalar yapmak ve gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kılıç, G., Tanış, A., Karaca, Ö. ve Özdemir, D.**, 2004. İklim Değişikliğinin Etkilerinin Araştırılması Çalışma Grubu Raporu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [2] **Can, A. ve Baygüven, B.**, 2004. Sera Gazları Emisyon Envanteri Çalışma Grubu Taslak Raporu, T.C. Devlet İstatistik Enstitüsü, Çevre İstatistikleri Şubesi, Ankara.
- [3] **Houghton, J. T., Filho, L. G. M., Griggs, D. J. and Maskell, K.**, 1997. An Inroduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report, IPCC Technical Paper, pp 8-10.
- [4] **EPA**, 2006. United States Environmental Protection Agency, (Available on the internet at: <http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/content/climate.html>).
- [5] **Muslu, Y.**, 2000. Ekoloji ve Çevre Sorunları, pp 223, 255-260, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- [6] **T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2006. İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu, (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı İnternet sayfasında bulunmaktadır: <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr>)
- [7] **Albritton, D. L., Cicerone, R. J., Barron, E. J., Dickinson, R. E., Fung, I. Y., Hansen, J. E and Karl, T. R.**, 2001. Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions, pp9-14, Committee on Science of Climate Change, National Academy Press, Washington, D.C.
- [8] **Gillenwater, M., Van Pelt, M. M. ve Peterson, K.**, 2002. Greenhouse Gases And Global Warming Potential Values, Exerpt From The Inventory of US Greenhouse Emissions And Sinks: 1990-2000, pp 4-9, US Environmental Protection Agency, USA.
- [9] **IPCC/UNEP/OECD/IEA**, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume I: Reporting Instructions, Chapter 1 pp 1-4, Intergovernmental Panel on Climate Change, United

Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.

- [10] **IPCC/UNEP/OECD/IEA**, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II: Workbook, Chapter 1 pp 3-23, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- [11] **IPCC/UNEP/OECD/IEA**, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter 1 pp 4-44, 62-98, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme, Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency, Paris.
- [12] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2005. Ulaştırma Sektörü Yakıt Tüketim Raporu, Ankara.
- [13] **TCDD**, 2005. T.C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2000-2004, TCDD APK Dairesi Başkanlığı, ISSN 1300-2503, (TCDD İnternet Sayfasında Bulunmaktadır: <http://www.tcdd.gov.tr>).
- [14] **DİE**, 2006. Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, T.C. Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, (DİE İnternet Sayfasında Bulunmaktadır: <http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/TASIT/tasit.html>).
- [15] **DHİMİ**, 2005. Hava Trafiği Raporları, 1990-2004 Dönemi, T.C. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [16] **DİE**, 2005. Türkiye İstatistik Yıllığı 2004, pp 233-249, T.C. Devlet İstatistik Enstitüsü, ISSN 0082-691X, (DİE İnternet Sayfasında Bulunmaktadır: <http://www.die.gov.tr/>).
- [17] **Zeydan, N., Koçer, A. Ü. ve Tanboğa, L.**, 2005. Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltım Çalışma Grubu İkinci Raporu, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [18] **DİE**, 2006. Nüfus ve Kalkınma Göstergeleri, T.C. Devlet İstatistik Enstitüsü, (DİE İnternet Sayfasında Bulunmaktadır: <http://nkg.die.gov.tr/>).
- [19] **KGM**, 2005. Karayolları Ulaşım İstatistikleri 2004, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Program ve İzleme Dairesi Başkanlığı, Ankara.

- [20] **OSD**, 2006. Otomotiv Sanayii Genel ve İstatistik Bülteni: 2005, Bölüm I ve Bölüm 2, Otomotiv Sanayii Derneği, İstanbul, (OSD İnternet Sayfasında Bulunmaktadır: <http://www.osd.org.tr/>).
- [21] **Soruşbay, C.**, 2005. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazları: Çevre ile Uyumlu Ulaştırma Alternatifleri, İklim Değişikliğinin Türkiye'ye ve Sanayi'ye Etkileri Toplantısı, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [22] **T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2006. İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Kalkınma, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara, (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı İnternet sayfasında bulunmaktadır: <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/Kitaplar/idsk.pdf>).
- [23] **Hiraishi, T., Nyenzi, B., Carruthers, I., Gillet, M. and Kruger, D.**, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Technical Support Unit, Kanagawa, Japan.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Aydın Pekin, 1981 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra, 1995 yılında başladığı Fenerbahçe Lisesi’nden 1999 yılında mezun oldu. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü’ne başlayan Pekin, 2004 yılında Enerji Makinaları Dalı’ndan mezun olarak, aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Otomotiv Programı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.