

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİN SERA
GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Levent TOPÇU

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Otomotiv

HAZİRAN 2008

**TOPLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİN SERA
GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Levent TOPÇU

(530361712)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cem SORUŞBAY (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin ERGENEMAN (İTÜ)

Prof. Dr. Haluk GERÇEK (İTÜ)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

İnsan kaynaklı sera gazlarının konsatrasyonun artması sonucu oluşan küresel ısınma konusu günümüzün en önemli sorunlarından birisidir. Sera gazlarının azaltılması gibi önemli bir konuda, toplu taşımadan kaynaklı sera gazı azaltımının incelendiği bu yüksek lisans tez çalışmamda akılcı yorumları ve değerli yardımlarıyla bana yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Cem SORUŞBAY, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Metin ERGENEMAN ve Sayın Prof. Dr. Haluk GERÇEK 'e sonsuz teşekkür eder, saygılar sunarım.

Ayrıca bütün eğitim öğretim hayatım boyunca çalışmalarımnda beni destekleyen başta ailem olmak üzere, proje arkadaşlarım M. Sedat ÇEVİRGEN ve Mehmet TEKTANIL 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya sağladıkları maddi, manevi katkılardan dolayı **Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK)** teşekkür ederim.

Mayıs 2008

Levent TOPÇU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1.GİRİŞ	1
2.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, KÜRESEL ISINMA VE GÜNÜMÜZDEKİ ETKİLERİ, İKLİM ÖNGÖRÜLERİ, SERA ETKİSİ	3
2.1 İklim ve iklim Değişikliği	3
2.2 Küresel Isınma ve Günümüzdeki Etkileri	5
2.3 İklim Öngörülleri	7
2.3.1 Atmosferdeki CO ₂ Öngörülleri	7
2.3.2 Sıcaklık ve Yağış Öngörülleri	8
2.3.3 Kar ve Buz Tabakası Öngörülleri	10
2.3.4 Deniz Seviyesi Öngörülleri	10
2.3.5 İnsan Sağlığı Üzerindeki Öngörüller	10
2.4 Doğal Sera Etkisi	10
2.5 Sera Gazları ve Türkiye’de Enerji Sektörü Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları..	12
2.5.1 H ₂ O Emisyonları	13
2.5.2 CO ₂ Emisyonları	14
2.5.3 CH ₄ Emisyonları	17
2.5.4 N ₂ O Emisyonları	17
2.5.5 HFC, PFC, SF ₆ Emisyonları	19
2.5.6 O ₃ Emisyonları	19
2.5.7 CO Emisyonları	20
2.5.8 NO _x Emisyonları	20
2.5.9 NMVOC Emisyonları	21
2.5.10 SO ₂ Emisyonları	22
2.5.11 HC Emisyonları	23
2.5.12 İS Emisyonları	23
2.5.13 Pb Emisyonları	23
2.6 Küresel İklimin Korunması Amacı İle Atılan Profesyonel Adımlar	24
2.6.1 İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	25
2.6.2 Kyoto Protokolü	29
2.6.2.1 Emisyon Ticareti	31
2.6.2.2 Ortak Uygulama	31
2.6.2.3 Temiz Kalkınma Mekanizması	31
3. İSTANBUL’DA ULAŞTIRMA SİSTEMİ	32
3.1 Karayolu Ulaşımı	34
3.2 Denizyolu Ulaşımı	35
3.3 Demiryolu Ulaşımı	36
4. MARMARAY PROJESİ VE PROJENİN SERA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİNİN HESAP METODU	39

4.1 Marmaray Projesinin Genel Tanıtımı	39
4.2 Marmaray Raylı Sistemine Entegre Edilecek Sistemler	41
4.3 Marmaray Projesinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisinin Hesap Metodu	42
4.3.1 Tier Yaklaşımları	43
4.3.1.1 Tier 1 Yaklaşımı	43
4.3.1.2 Tier 2/3 Yaklaşımı	44
4.3.2 Hesaplamalarda Kullanılan Emisyon Faktörleri	45
5. MARMARAY PROJESİNİN ULAŞTIRMA KAYNAKLI SERA GAZI	
EMİSYONLARINA ETKİSİ	47
5.1 Yıllık Yolcu Sayısının Hesaplanması	48
5.2 Taşıt Sayısının Hesaplanması	52
5.3 Taşıt Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi	54
5.4 Yolculuk Uzunluklarının Belirlenmesi	56
5.5 Emisyon Hesapları	58
5.5.1 Birinci Yaklaşım	58
5.5.1.1 Mustafa Kemal – Halkalı Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi.....	58
5.5.1.2 Yenikapı – Sirkeci Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi.....	62
5.5.1.3 Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi.....	66
5.5.2 İkinci Yaklaşım	68
5.5.2.1 Yenikapı – Sirkeci Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi.....	70
5.5.2.2 Üsküdar – Sirkeci Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi	73
5.5.1.2 Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi.....	76
5.5.3 Marmaray Projesi’nin İstanbul Kent İçi Ulaşımına ve Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarına Olan Etkisi	80
6. SONUÇLAR	86
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

BM	: Birleşmiş Milletler
İDÇS	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
IPCC	: Intergovernmental Panel Of Climate Change
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
TAR	: Third Assessment Report
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios
WMO	: World Meteorological Organization
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
UNCED	: United Nations Conference on Environment and Development
AB	: Avrupa Birliği
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
DLH	: Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları
USD	: Amerikan Doları
JBIC	: Japan Bank for International Cooperation
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel
ÖHO	: Özel Halk Otobüsü
İDO	: İstanbul Deniz Otobüsü İşletmesi
TDİ	: Türkiye Denizcilik İşletmeleri
LPG	: Liquid Petrol Gas
CORINAIR	: Co-ordinated Information on the Environment in the European Community AIR
COPERT	: Computer Programme To Calculate Emissions From Road Transport
HFC	: Hydrofluorocarbon
PFC	: Perfluorocarbon
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
GWP	: Global Warming Potential

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Türkiye’de sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO ₂ eşdeğeri) 12
Tablo 2.2	İklim değişikliğinde etkili olan sera gazları ve özellikleri..... 13
Tablo 2.3	Doğrudan CO ₂ emisyonlarının sektörsel dağılımı (%)..... 15
Tablo 2.4	Türkiye’nin Toplam ve kişi başı CO ₂ emisyonlarında dünyadaki yeri 27
Tablo 2.5	Dünya, OECD ve Türkiye enerji göstergelerinin karşılaştırılması.... 28
Tablo 2.6	Temel CO ₂ göstergelerine göre Türkiye’nin Dünya ülkeleri sıralamasındaki yeri 28
Tablo 3.1	Gelişmiş metropollerde kent içi ulaşımındaki toplu taşıma payları... 33
Tablo 4.1	Marmaray Projesi ile entegre edilecek raylı sistemler..... 42
Tablo 4.2	Yakıt türleri ve emisyon standartlarına göre otomobil emisyon faktörleri..... 46
Tablo 4.3	Otobüs, minibüs ve motosiklet emisyon faktörleri 46
Tablo 5.1	Marmaray saatlere bağlı kullanım yüzdeleri..... 49
Tablo 5.2	Gebze - Osmangazi güzergahının işletme saatlerine bağlı, saatlik kesit yolcu trafiği..... 50
Tablo 5.3	Taksim-4.Levent Metrosu’na ait iş günleri ve Pazar günleri aylık yolcu sayıları (2007) 50
Tablo 5.4	Gebze-Osmangazi güzergahı yolcu trafikleri..... 51
Tablo 5.5	Senaryo 1’e göre taşıt doluluk sayıları..... 52
Tablo 5.6	Senaryo 2 ve Senaryo 3’e göre taşıt doluluk sayıları..... 53
Tablo 5.7	İstanbul taşıt parkı (2006) 53
Tablo 5.8	Model yıllarına göre otomobil sayısı (* 1980 yılı ve öncesine ait taşıtlar)..... 55
Tablo 5.9	Benzinli otomobillerin yıllara göre emisyon kontrol teknolojileri..... 55
Tablo 5.10	Otomobillerin yakıt tipi ve emisyon kontrolü teknolojilerine göre yüzdeleri..... 56
Tablo 5.11	Otomobil emisyon faktörleri..... 56
Tablo 5.12	Otobüs, minibüs, motosiklet emisyon faktörleri..... 56
Tablo 5.13	Yolculuk Uzunlukları..... 57
Tablo 5.14	Senaryo 1’e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı..... 59
Tablo 5.15	Senaryo 2 ve Senaryo 3 ye göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı..... 59
Tablo 5.16	Senaryo 1 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar 60

Tablo 5.17	Senaryo 1 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar	60
Tablo 5.18	Senaryo 2 ye göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar	60
Tablo 5.19	Senaryo 2 ye göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar	61
Tablo 5.20	Senaryo 3 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar	61
Tablo 5.21	Senaryo 3 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar	61
Tablo 5.22	Senaryo 1’e göre Yenikapı - Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı.....	63
Tablo 5.23	Senaryo 2 ve Senaryo 3’e göre Yenikapı - Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı.....	63
Tablo 5.24	Senaryo 1 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar	64
Tablo 5.25	Senaryo 1 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar	64
Tablo 5.26	Senaryo 2 ye göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar	64
Tablo 5.27	Senaryo 2 ye göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar	65
Tablo 5.28	Senaryo 3 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar	65
Tablo 5.29	Senaryo 3 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar	65
Tablo 5.30	Tüm Marmaray Sisteminin Senaryo 1 için emisyonlara etkisi.....	66
Tablo 5.31	Tüm Marmaray Sisteminin Senaryo 2 için emisyonlara etkisi.....	66
Tablo 5.32	Tüm Marmaray Sisteminin Senaryo 3 için emisyonlara etkisi.....	67
Tablo 5.33	Oluşturulan senaryolara göre tüm Marmaray Raylı Sisteminin emisyonlara etkisi	67
Tablo 5.34	İstanbul Kent içi ulaşımında yolculukların türlere göre dağılımı	68
Tablo 5.35	Senaryo 4’e göre taşıt doluluk sayıları	69
Tablo 5.36	Senaryo 5 ve Senaryo 6’ya göre taşıt doluluk sayıları	69
Tablo 5.37	Senaryo 4’e göre Yenikapı –Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı.....	70
Tablo 5.38	Senaryo 4’e göre Yenikapı–Sirkeci hattının emisyonlara etkisi	71
Tablo 5.39	Senaryo 5 ve Senaryo 6’ya göre Yenikapı –Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı.....	72
Tablo 5.40	Senaryo 5’e göre Yenikapı – Sirkeci hattının emisyonlara etkisi	72
Tablo 5.41	Senaryo 6’ya göre Yenikapı – Sirkeci hattının emisyonlara etkisi ...	73
Tablo 5.42	Oluşturulan senaryolara göre Yenikapı - Sirkeci hattının emisyonlara etkisi	74
Tablo 5.43	Senaryo 4’e göre Üsküdar -Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı.....	74
Tablo 5.44	Senaryo 4’e göre Üsküdar–Sirkeci güzergahının emisyonlara etkisi .	75
Tablo 5.45	Senaryo 5 ve Senaryo 6’ya göre Üsküdar - Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı.....	75
Tablo 5.46	Senaryo 5’e göre Üsküdar–Sirkeci güzergahının emisyonlara etkisi .	75
Tablo 5.47	Senaryo 6’ya göre Üsküdar–Sirkeci güzergâhının emisyonlara etkisi	76

Tablo 5.48	Senaryolara göre Üsküdar - Sirkeci hattının emisyonlara etkisi	76
Tablo 5.49	Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 4'e göre emisyonlara etkisi	76
Tablo 5.50	Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 5'e göre emisyonlara etkisi	77
Tablo 5.51	Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 6'ya göre emisyonlara etkisi	78
Tablo 5.52	Taşıt türlerine göre km de kişi başı emisyon miktarları	78
Tablo 5.53	Senaryo 4'e göre tüm Marmaray Raylı Sisteminin emisyonlara etkisi	78
Tablo 5.54	Senaryo 5 ve Senaryo 6'ya göre tüm Marmaray Raylı Sisteminin emisyonlara etkisi	79
Tablo 5.55	Marmaray hattının taşıdığı yolcu başına düşen emisyon miktarları...	79
Tablo 5.56	Marmaray Projesinin yolcu sayıları ve ortalama yolculuk uzunluklarına etkisi	80
Tablo 5.57	Taşıt doluluk sayıları	81
Tablo 5.58	Taşıt sayıları ve ortalama yolculuk uzunlukları	81
Tablo 5.59	Projesiz durum için otomobil, otobüs ve minibüs kaynaklı emisyonlar	82
Tablo 5.60	Projeli durum için otomobil, otobüs ve minibüs kaynaklı emisyonlar.	82
Tablo 5.61	Taşıt türlerine göre yolcu.km değerleri	84
Tablo 5.62	Projeli ve projersiz durum için sistemin emisyonlara etkisi.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	1901–2000 Yılları Süresince Yıllık Sıcaklık Ortalaması Eğilimleri	5
Şekil 2.2	1960 – 2000 Yılları Arasında Küresel Sıcaklık, Deniz Seviyesi ve Kuzey Yarımküre Kar Örtüsü Miktarındaki Değişim	6
Şekil 2.3	SRES A2 Senaryosu'na Göre 2071 – 2100 Periyodunda Yıllık Ortalama Sıcaklıklardaki Değişim(°C)	8
Şekil 2.4	SRES A2 Senaryosu'na Göre 2071 – 2100 Periyodunda Yıllık Ortalama Yağış Miktarındaki Değişim (mm/gün)	9
Şekil 2.5	Doğal Sera Etkisinin Şematik Gösterimi	11
Şekil 2.6	1958-2004 döneminde Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevi'nde ölçülen aylık ortalama atmosferik CO ₂ birikimindeki değişimler .	14
Şekil 2.7	Türkiye'de 1990-2004 yılları arası toplam CO ₂ emisyonları	16
Şekil 2.8	Farklı Ulaştırma türleri kaynaklı CO ₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi	16
Şekil 2.9	Farklı Ulaştırma türleri kaynaklı CH ₄ emisyonlarının yıllara göre değişimi.....	17
Şekil 2.10	Türkiye'de 1990-2004 yılları arası toplam N ₂ O emisyonları	18
Şekil 2.11	Farklı ulaştırma türleri kaynaklı N ₂ O emisyonlarının yıllara göre değişimi	18
Şekil 2.12	Türkiye'de 1990-2004 yılları arası toplam HFC ve SF ₆ emisyonları	19
Şekil 2.13	Farklı ulaştırma türleri kaynaklı CO emisyonlarının yıllara göre değişimi.....	20
Şekil 2.14	Farklı ulaştırma türleri kaynaklı NO _x emisyonlarının yıllara göre değişimi	21
Şekil 2.15	Farklı ulaştırma türleri kaynaklı NMVOC emisyonlarının yıllara göre değişimi	22
Şekil 2.16	Farklı ulaştırma türleri kaynaklı SO ₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi	22
Şekil 2.17	İklim Değişikliği Konulu uluslar arası görüşmeler sürecindeki önemli dönüm noktaları ve gelişmeler	25
Şekil 3.1	Avrupa'da 1000 kişiye düşen otomobil ve toplam taşıt sayıları ..	32
Şekil 3.2	Karayolu, demiryolu ve denizyolu sistemlerinin İstanbul kent içi ulaşımındaki payları	34
Şekil 3.3	İstanbul karayolu ulaşımı yolculuk payları	34
Şekil 3.4	İstanbul deniz ulaşımı yolculuk payları	35
Şekil 3.5	İstanbul raylı sistem ulaşım payları	36
Şekil 3.6	İstanbul raylı sistem toplam yolcu geçişleri (Ocak-Ağustos 2007)	37
Şekil 4.1	Marmaray Projesi	39
Şekil 4.2	Marmaray Tüp Boğaz Tüp Geçidi Kesit Şeması	40

Şekil 5.1	2023 yılı Asya Yakası Doruk Saat Yolcu Trafikleri	48
Şekil 5.2	2023 yılı Avrupa Yakası Doruk Saat Yolcu Trafikleri	49
Şekil 5.3	Gebze-Bostancı istasyonları arası yıllık yolcu trafiği	51
Şekil 5.4	Bostancı-Halkalı istasyonları arası yıllık yolcu trafiği	52
Şekil 5.5	Taşıt türlerine göre projeli ve projersiz durum için emisyonlar	83
Şekil 5.6	Projeli ve projersiz durum için sera gazı emisyonlarındaki değişim	84

SEMBOL LİSTESİ

a	: Yakıt tipi (dizel, benzin, LPG gibi)
A.S.	: Anonim Şirketi
b	: Sektör faaliyeti (karayolu, demiryolu, havayolu gibi)
c	: Emisyon kontrol özellikleri
CH₄	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbon dioksit
CO₂/GSYİH	: Gayri safi yurt içi hasıla başına düşen karbon dioksit miktarı
CO₂/kişi	: Kişi başına düşen karbon dioksit miktarı
dk	: Dakika
EF	: Emisyon faktörü
Gg	: Gigagram
Gt	: Gigaton
GWP	: Global Warming Potential (Küresel Isınma Ptoansiyeli)
HC	: Hidrokarbon
k	: Değişken katsayı
kg	: Kilogram
kg/TJ	: Terajoule başına düşen kilogram miktarı
km	: Kilometre
m	: Metre
N₂O	: Diazot monoksit
NO_x	: Azot oksit
NMVOC	: Non-Methane Volatile Organic Compound (Metan olmayanuçucu organik bileşikler)
O₃	: Ozon
°C	: Derece santigrad
ppm	: Parts per million
ppb	: Parts per billion
SF₆	: Kükürt hekzaflorid
SO₂	: Kükürt dioksit
t	: Motosiklet Sayısı
tep	: Ton Petrol Eşdeğeri
TJ	: Terajoule
W	: Watt
x	: Otomobil Sayısı
y	: Otobüs Sayısı
yolcu/yıl	: Yıl başına düşen yolcu Sayısı
z	: Minibüs Sayısı
ha	: Hektar

TOPLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİNİN SERA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ

ÖZET

Temel olarak, fosil yakıtların yakılması, sanayi süreçleri, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormansızlaşma gibi çeşitli insan etkinlikleri sonucunda, önemli sera gazlarının atmosferdeki birikimleri sanayi devriminden beri hızla artmakta ve doğal sera etkisi kuvvetlenmektedir. Kuvvetlenen sera etkisinin en önemli ve açık etkisi, yerkürenin enerji dengesini üzerinde ek bir pozitif ışımsal zorlama oluşturarak, yerküre iklimini ısıtmasıdır.

Türkiye’de ulaştırma sistemi kaynaklı sera gazı emisyonları %16,73 lük payıyla önemli etkiye sahiptir. Ulaştırma sistemi içerisinde ise en büyük pay karayolu ulaşımına aittir. Ulaştırma sistemi içinde, bahsedilen sera gazı emisyonlarını azaltmak için projeler üretilmektedir. İstanbul kent içi ulaşımındaki toplu taşımacılığın payını büyük ölçüde arttırması beklenen en önemli projelerden biri de, Gebze – Halkalı arasını modern bir raylı sistemle birleştirecek olan Marmaray Projesi’dir. Bu çalışma kapsamında, toplu taşıma türlerinin İstanbul kent içi ulaşımındaki payları incelenmiş ve yapımı sürmekte olan Marmaray projesinin, çeşitli senaryolar kullanılarak, karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi araştırılmıştır.

Ayrıca 2023 yılı için Marmaray raylı sistemi ve bu sisteme entegre edilecek diğer raylı sistemlerin, İstanbul kent içi karayolu ulaşımındaki taşıt türlerine göre yolcu sayıları ve ortalama yolculuk uzunlukları üzerine etkisi incelenmiştir. Projenin olması ve olmaması senaryoları üzerinden, öncelikle sistemin neden olduğu karayolu ulaşımı kaynaklı toplam sera gazı emisyonlarındaki değişim, ardından kişi başına ve kişi başına km’de emisyonlardaki değişim araştırılmıştır.

THE EFFECT OF PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS

SUMMARY

Basically, as a result of various human activities such as combustion of fossil fuels, industrial processes, land-use changes and deforestation, etc., atmospheric concentrations of main greenhouse gases have been significantly increasing since the industrial revolution, and natural greenhouse effect has been strengthening. The most significant and clearest impact of increased greenhouse effect is to cause an additional positive radiative forcing over energy balance of the Earth and thus to warm the Earth's climate.

In Turkey, transportation system has significant effect on greenhouse gases emissions with a ratio of %16,73. Road transportation has the biggest ratio in the system. In transportation system, in order to decrease the greenhouse gases emissions mentioned about, there are some projects and studies. One of these project, that is expected to raise the ratio of public transportation significantly in Istanbul, is Marmaray project which will connect Gebze and Halkalı districts with modern railway system. In the frame of this thesis, the ratios of public transportation in Istanbul is examined and the decreasement effects of Marmaray project on greenhouse gases caused from road transportation are studied by using some scenarios.

In addition, for the year 2023, the effect of Marmaray railway system and the other railway systems, integrated with Marmaray, on passenger and average travel distance values are examined. By using the cases that project exist and doesn't exist, primarily, change of the road transportation sourced greenhouse emissions that system causes and then change of emissions per capita and per capita km have been researched.

1.GİRİŞ

1860 yılından Yapılan araştırmalara göre, iklim değışimleri binlerce hatta milyonlarca yıldan beri yaşanmakta olan doğal bir süreçtir. Yaklaşık olarak yüz bin yıl süren bir buzul çağını, ılık ve biraz daha sıcak on bin ila yirmi bin yıl süren ara bir iklim takip etmiştir. Normal olarak dünya doğal ısınmasını tamamlamıştır ve artık soğuma dönemine girmesi gerekmektedir. Fakat insan faktörünün devreye girmesi ile soğuma gerçekleşmemektedir

başlanarak günümüze kadar tutulan sıcaklık kayıtlarında dünyanın ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık 0,5 – 0,6 °C değıştiğı belirtilmektedir. Bu artışın nedeni sanayi devrimini takip eden yıllarda atmosfere salınmaya başlanan insan faaliyetleri sonucu oluşan kirleticiler ve bu kirleticilerin atmosfere salınan birincil kirleticiler ya da atmosferde güneş ışığı etkisi ile oluşan ikincil kirleticilerden ortaya çıkan sera gazlarıdır. Sera gazlarının güneşten gelen radyasyon enerjisinin tekrar uzaya geri dönmesini engelleyerek atmosferdeki güneş enerjisini absorplaması olayı sonucunda sera etkisi meydana gelmektedir. Aslında sera etkisi doğal bir süreç olup gezegenin sıcaklığının korunması için gereklidir. Ancak sanayi devrimi ile birlikte tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdeki hızlanma, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının fazlaca tüketilmesi ve sera gazları için alıcı ortam olan ormanların tahrip edilmeye başlanmasıyla bu gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları zamanla artmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Sera etkisinin güçlenmesiyle küresel bir ısınma süreci oluşmuş ve sıcaklık artışına bağılı olarak da iklimi oluşturan yağışlar ve rüzgârlarda da anormallikler görülmeye başlanmıştır. Dolayısıyla dünyamızın iklimi sera etkisinin kuvvetlenmesine bağılı olarak değışmektedir.[8]

Kirleticiler atmosferde yer alış durumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler şeklinde iki temel sınıfta toplanırlar. Birincil kirleticiler, atmosfere kirletici kaynaklardan doğrudan salınan kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan birincil kirleticiler ile atmosferik özellikler arasındaki kimyasal girişimler sonucunda meydana gelir.

Küresel ısınmada etkili olan birincil ve ikincil kirleticiler sınıfında bulunan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O), ozon (O₃) ve su buharı gibi doğal sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları sanayi devriminden sonra insan kaynaklı çeşitli aktivitelere bağlı olarak artış göstermiştir. Kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının kullanımı, tarımsal faaliyetler ve tarımda kullanılan gübreler, çöp depolama sahalarından salınan gazlar, enerji üretimi, taşıma ve endüstriden kaynaklı emisyonlar ve orman alanlarının yok edilmesi sera gazlarının konsantrasyonlarının artmasının başlıca nedenleridir. [8]

Yapılan bu çalışmadaki amaç, ulaştırma sektöründe fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının, toplu taşıma sistemlerinin kullanımıyla azaltılması yönündeki etkileri konusunda yol gösterici bir kaynak oluşturmaktır. Bu çalışmada toplu taşıma sistemlerinden Gebze – Halkalı arasında inşaatı sürmekte olan Marmaray Raylı Sistem Projesinin, karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi incelenmiştir.

2.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, KÜRESEL ISINMA VE GÜNÜMÜZDEKİ ETKİLERİ, İKLİM ÖNGÖRÜLERİ, SERA ETKİSİ

2.1 İklim ve İklim Değişikliği

Hava, “yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir anda yaşanan ya da gözlenen atmosferik olayların tümüdür. İklim, “yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin yanı sıra, onların oluşma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen uç değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik türlerinin birleşimi” biçiminde tanımlanır. [4]

Hava ve iklim, insan aktivitelerini, refahını ve sağlığını çok değişik yollardan etkiler. İnsanoğlu, yüzyıllar boyunca, barınaklarını, yiyecek ve enerji üretimlerini genel olarak iklim ve çevre koşullarıyla uyumlu bir yaşam tarzı yaratmak için düzenleme ve kendisini bu kaynağa uyarlama çabası içinde olmuştur. İklim değişikliği ise, “iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler” olarak tanımlanabilir. İklim değişikliği, doğal iç süreçler ve dış zorlama etmenleri ile atmosferin bileşimindeki ya da arazi kullanımındaki sürekli insan kaynaklı değişiklikler nedeniyle oluşabilir. Konuyla ilgili bilinmesi gereken başka bir önemli kavram ise, iklim değişkenliği ya da değişebilirliğidir. İklimsel değişkenlik, “tüm zaman ve alan ölçeklerinde iklimin ortalama durumundaki ve standart sapmalar ile uç olayların oluşumu gibi öteki istatistiklerindeki değişimlerdir.” İklimsel değişebilirlik, iklim sistemi içerisindeki doğal iç süreçlere ya da doğal kaynaklı dış zorlama etmenlerindeki değişimlere bağlı olarak oluşabilir.

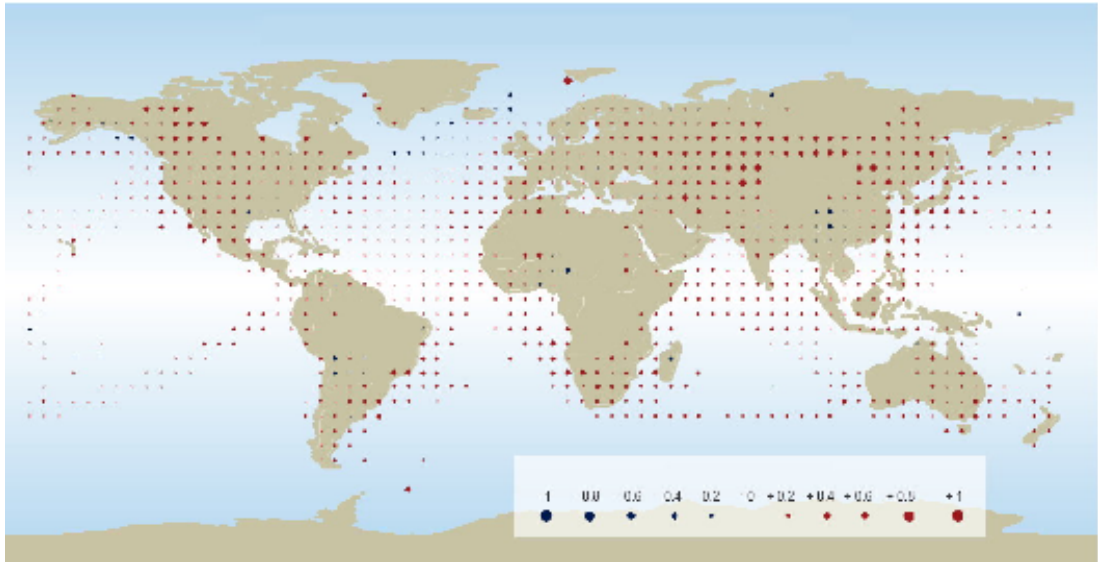
İç süreç ve etmenler, doğrudan iklim sisteminin içerisinde gelişir. İklim değişikliğinin potansiyel iç nedenleri, atmosferin bileşimindeki ve yerkürenin yüzey özelliklerindeki doğal ya da insan kaynaklı önemli değişiklikleri içerir. Örneğin, insan aktiviteleri sonucunda atmosfere salınan sera gazları ve aerosoller (çeşitli

uçuşu küçük parçacıklar) ile volkanik püskürmeler, etki süreleri değişmekle birlikte, iklim değişikliklerine neden olabilecek başlıca içsel süreç ve etmenlerdir. Dış süreç ve etmenlerin neden olduğu değişiklikler ise, iklim sisteminin dışında gelişir. İklim değişikliğinin potansiyel ‘dış’ nedenleri, temel olarak yer kabuğundaki levha hareketlerini, güneş aktivitelerindeki ve yerküre ile güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikleri içerir. Bu astronomik ilişkiler, Milankovitch döngüleri olarak da adlandırılan bir dizi dönemsel değişiklikleri içermekte ve uzun dönemli iklim değişikliklerinin açıklanması açısından önemli kanıtlar sunabilmektedir. Küresel iklimi etkileyebilecek olan başlıca astronomik ilişkiler, yerküre’nin yörüngesindeki şekil değişikliklerini (daha yuvarlak ya da daha eliptik biçimli oluşunu), eksen eğikliğindeki değişiklikleri ve perihel konumundaki emisyonları içerir. Sözü edilen bu değişiklikler, Kuvaterner’deki buzul çağlarında olduğu gibi, yerküre’nin jeolojik geçmişindeki iklim değişikliklerinin oluşmasında ve denetiminde önemli bir görev üstlenmiş olmalıdır. Ancak, iklim değişikliğinin bilinen dış nedenlerinin, kısa süreli iklim değişikliklerini, özellikle iklimsel değişkenlikleri açıklaması olanaksızdır.

İklimdeki değişiklikler, buzul ve buzularası çağlar arasında, dünyanın çeşitli bölgelerinde ortalama sıcaklıklarda oluşan büyük değişiklikler şeklinde ortaya çıktığı gibi, yağış değişimlerini de içermektedir. Bugünkü bilgilerimize göre, yerkürenin 4,6 milyar yıllık çok uzun jeolojik tarihi boyunca iklim sisteminde milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal etmenler ve süreçlerle birçok değişiklik olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri, özellikle buzul hareketleri ve deniz seviyesindeki değişimler yoluyla yalnızca dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, ekolojik sistemlerde de kalıcı değişiklikler oluşturmuştur. Ancak 19. yüzyılın ortalarından beri, iklimdeki doğal değişebilirliğe ek olarak, ilk kez insan aktivitelerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girildi. Bu yüzden, günümüzde iklim değişikliği, sera gazı birikimlerini arttıran insan aktiviteleri dikkate alınarak da tanımlanabiliyor. Örneğin, iklim değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde (BM İDÇS), “karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan aktiviteleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” biçiminde tanımlanmıştır [1]

2.2 Küresel Isınma ve Günümüzdeki Etkileri

İklim değişiminin yaşanan en belirgin sonuçları dünyanın giderek ısınması, buzulların erimesi, deniz seviyelerinin yükselmesi, yağış paternlerinin değişmesi, ekstrem hava olaylarının şiddetinde ve sıklığında önemli artışlar ve buna bağlı olarak ekolojik yapının değişime uğramasıdır. 20. yy süresince kara ve okyanus yüzeyi sıcaklıkları sürekli bir artış göstermiştir ve bu süre içerisinde yeryüzü ortalama sıcaklığı 0,6 °C (0,4 °C – 0,8 °C) artmış ve 1998 yılı bu yüzyılın en sıcak yılı olarak tespit edilmiştir.[2,6]

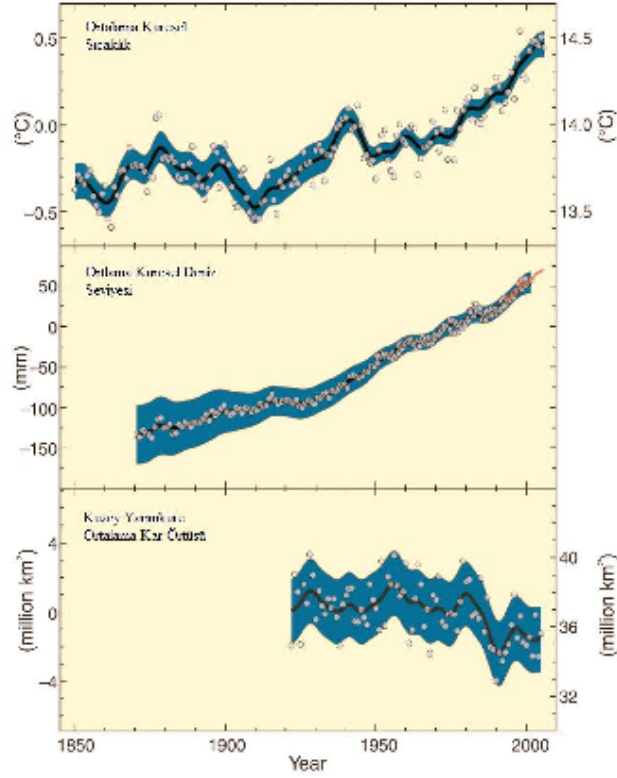


Şekil 2.1: 1901 – 2000 Yılları Süresince Yıllık Sıcaklık Ortalaması Eğilimleri[2]

Küresel ortalama yüzey sıcaklığında gözlenen ısınma eğilimi, dünya üzerinde eşit bir coğrafi dağılış göstermemiştir. Uzun süreli ısınma eğilimi, 40 °K ve 70 °K enlemleri arasındaki anakarlarda en fazladır. Buna karşılık, Atlas Okyanusu’nun kuzeyinde ve içerisinde Türkiye’nin de yer aldığı Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzalarında, özellikle son 25-30 yıllık dönemde, ortalama yüzey sıcaklıklarında bir soğuma eğilimi egemen olmuştur [3]

Bu fiziksel sonuçlar özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren büyük can ve ekonomik kayıplara yol açmıştır. Örneğin İsviçre 2003 yılında son 250 yılın en sıcak Haziran ayını yaşadı. ABD de bir yıl içinde 562 tornadonun meydana geldi. 2001 yılından itibaren 10 milyar dolarlar mertebesinde ekonomik kayıplar 2004 yılında 90 milyar dolara yükseldi. Japonya, tarihindeki en çok sayıda fırtınayı 2004 yılında yaşadı. IPCC raporuna göre Kuzey yarımkürede 1960’lı yıllardan bu yana kar örtüsü

%10 azaldı, ortalama küresel deniz seviyesinin de 10-20cm arasında yükseldi. Şekil 2.2 1960 – 1990 yılları arasında küresel ortalama sıcaklıklarındaki, ortalama deniz seviyesindeki ve ortalama kuzey yarım küre kar örtüsündeki değişimi göstermektedir.



Şekil 2.2: 1960 – 2000 Yılları Arasında Küresel Sıcaklık, Deniz Seviyesi ve Kuzey Yarımküre Kar Örtüsü Miktarındaki Değişim [5]

1995-2006, 1850 yılında başlayan aletsel sıcaklık kayıtlarına göre en sıcak on iki yılı işaret etmektedir. 2002, 2003, 2004 ve 2005 yılları 1998 sonrası en sıcak yıllar oldu. NASA, 1990'ların başlarından bu yana Kuzey Atlantik teki yüzey suların dolaşımında önemli bir zayıflama belirledi. Munich Re Gurubu'na göre 1980-2003 arasında analiz edilen 14,000 doğal afetin sadece %16'sını deprem ve volkanik faaliyetler oluşturmaktadır. Geriye kalan % 84 ü atmosfer olayları nedeniyledir. 1950-2006 arası tüm atmosfer kaynaklı doğal afetlerin yol açtığı kayıplar 1,190 milyar doları bulmaktadır

Atlantik Okyanusu ve Kuzeybatı Pasifik'te son 30 yılda 4 ve 5 şiddetli fırtınalarda önemli artışlar bulundu. Kanada da iklim görüşmeleri esnasında atmosfer olayları nedeniyle yaşanan doğal afetlerin 2005 yılında en yüksek finansal kayıplara yol açtığı ifade edilmiştir. Munich Re Gurubu'na göre 2005 yılında bu zarar seviyesi 200

milyar doları aşmıştır. Sadece Katrina fırtınasından doğan ekonomik kayıplar 125 milyar dolardır. Bu fırtına, bu güne kadarki en büyük maddi kaybı oluşturmaktadır. 2005 yılında yaşanan atmosfer olaylarına baktığımızda belirgin olarak şunları görebiliyoruz; 1850 yılından bu yana en yüksek sayıda fırtınalar 2005 yılında yaşanmıştır. 2005 Atlantik kasırgaları bakımından 26 tropikal fırtına ile bir rekor yaşamıştır. Atlantik'te Saffir-Simpson ölçeğine göre 3 ve yukarısında meydana gelen 10 fırtınadan 6'sı kasırga şeklindeydi. Bundan önceki rekor 21 fırtına ile 1933 yılında meydana gelmiştir. Katrina fırtınası ise ABD de 1928 den bu yana en ölümcül fırtına olmuştur. Louisiana ve Mississippi de en az 1300 kişinin hayatını kaybettiği Katrina fırtınasının yol açtığı ekonomik kayıp bu güne kadar karşılaşılan en yüksek seviyede olmuştur. ABD de bu fırtınanın sosyal sorunları hala çözülememiştir. Ekim ayında Karayipler de yaşanan Wilma kasırgası, Güney Çin de ise tayfun büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Japonya'nın batısında yaşanan Nabi tayfunu üç günde 1321 mm yağış getirmiştir. İstanbul'un bir yılda aldığı yağışın 700 mm olduğunu hatırlarsak bu değerini etkisini anlayabiliriz. Bunun yanı sıra güneydoğu Çin de Longwang tayfunu en az 80 kişinin ölümüne yol açmıştır.

2.3 İklim Öngörülleri

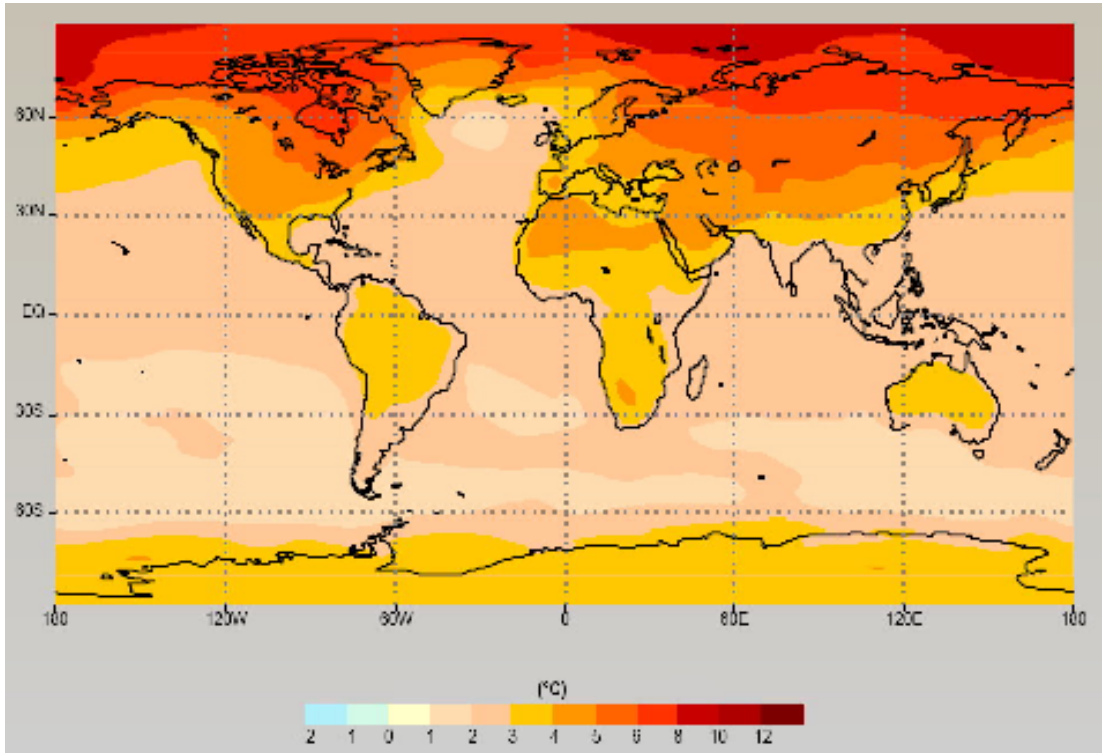
Hükümetler arası iklim değişikliği paneli (IPCC) üçüncü değerlendirme raporunda (TAR), 20. yy'daki sera etkisine sebep olan gazların atmosferdeki konsantrasyon artışları baz alınarak, ülkelerin nüfus artışı, sosyal, ekonomik ve teknolojik gelişmelerin göz önünde tutulduğu çeşitli senaryolar oluşturulmuştur (Special Report on Emission Scenarios : SRES). Oluşturulan 6 adet senaryoda günümüzdeki iklim politikasının değişiklik göstermediği varsayımı yapılarak iklim öngörülleri yapılmıştır.[2]

2.3.1 Atmosferdeki CO₂ Öngörülleri

Oluşturulan bütün senaryolarda önümüzdeki 100 yılda atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun artacağı öngörülmüştür. İnsan kaynaklı başlıca sera gazı olan CO₂ konsantrasyonunun, 2100 yılında 540-970 ppm aralığında olacağı öngörülmektedir. Karşılaştırsak atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu sanayi devriminden önceki dönemde ortalama 280 ppm, 2000 yılında ise ortalama 368 ppm olarak ölçülmüştür.[2]

2.3.2 Sıcaklık ve Yağış Öngörülleri

SRES öngörüsüne göre, 1990-2100 periyodunda kara sıcaklıkları 1,4-5,8 °C artacağı öngörülmüştür. Bu benzeştirmelere dayanarak, neredeyse tüm kara alanları, özellikle soğuk mevsimde yüksek kuzey enlemlerindeki karalar daha hızlı ısınabilecektir. Bunlar arasında en dikkat çekici olanı, tüm modellere göre, kuzey Amerika'nın kuzey bölgelerinde ve orta Asya'nın kuzeyinde küresel ortalamaı %40 dan fazla aşan ısınmadır. Buna karşılık yazın Güney ve Güneydoğu Asya ve kışın Güney Amerika için öngörüle ısınma oranı, küresel ortalamalardaki artıştan daha düşüktür.[1,2]

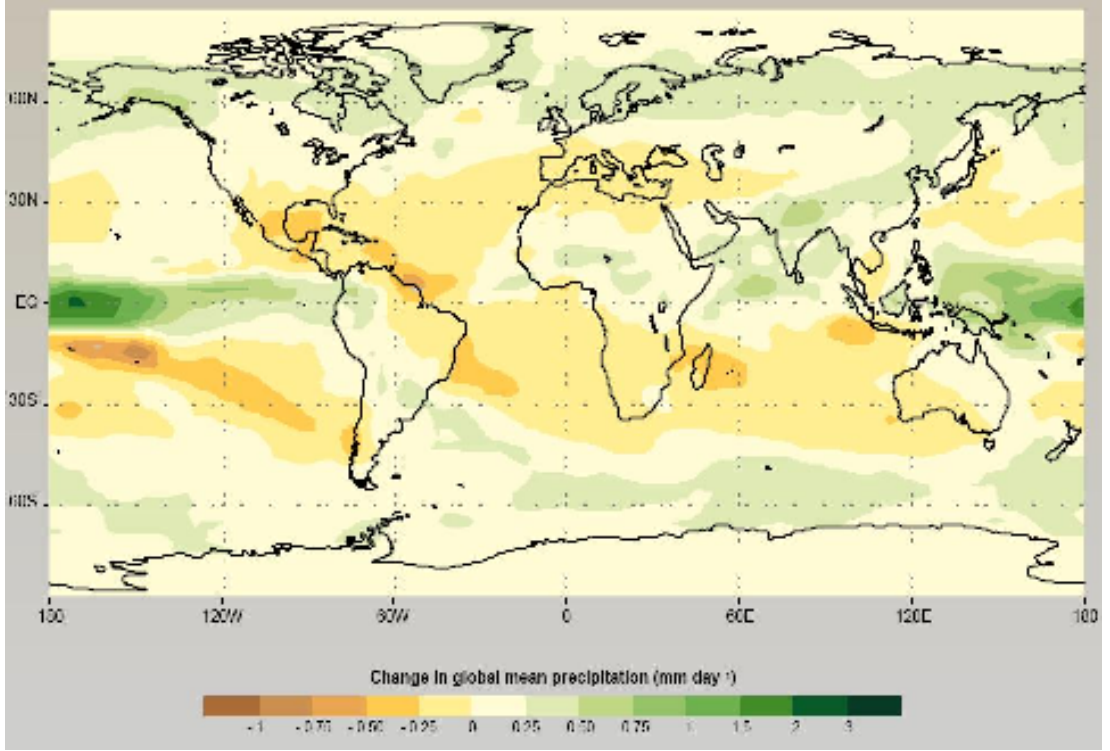


Şekil 2.3: SRES A2 Senaryosu'na Göre 2071 – 2100 Periyodunda Yıllık Ortalama Sıcaklıklardaki Değişim(°C) [2]

Türkiye üzerindeki etkilerini incelendiğinde CO₂ birikimini azaltmak için hiç önlem alınmadığı senaryoda 1960-1990 normalleriyle karşılaştırıldığında 2080'li yıllarda 3-4 °C derecelik artış, CO₂ birikimlerini 750 ppm de durdurmayı öngören senaryoda 2-3 C derecelik artış , CO₂ birikimlerini 550 ppm de durdurmayı öngören senaryoda ise 1-2 °C derecelik artış öngörülmektedir.[7]

Model hesaplamaları, daha sıcak iklim koşulları altında buharlaşmanın artacağını, küresel ortalama yağış tutarında ve şiddetli yağış olaylarının sıklığında bir artış olacağını göstermiştir (5-20 %). Yüksek rakımlı bölgelerde hem yaz hem de kış

mevsiminde, kuzey yarımkürenin orta rakımlı bölgelerinde de, Afrika'nın tropik bölgelerinde ve Antartika'da kış mevsiminde, Kuzey ve Doğu Asya'da yaz mevsiminde yağış ortalamalarının artacağı öngörülmektedir. Buna karşılık Avustralya, orta Amerika ve Kuzey Afrika'da yağış olaylarında azalma olacağı öngörülmektedir. [2]



Şekil 2.4: SRES A2 Senaryosu'na Göre 2071 – 2100 Periyodunda Yıllık Ortalama Yağış Miktarındaki Değişim (mm/gün) [2]

Türkiye'deki yağış değişiklikleri, emisyonların kontrol edilmediği senaryoya göre 2080'li yıllara kadar ortalama yağışlarda yaklaşık 0-1 mm/gün azalma, CO₂ birikimlerinin 750 ve 550 ppm'de durdurmayı öngören senaryoda ise 0-0,5 mm/gün azalma öngörülmektedir.[7]

Türkiye'deki önemli akarsu havzaları yıllık akım değişiklikleri incelendiğinde, emisyonların kontrol edilmediği senaryoda 2080'li yıllara kadar Türkiye akarsularının yıllık akımlarında % 30 – 50 azalma, CO₂ birikimlerinin 750 ppm de durdurmayı öngören senaryoda Türkiye akarsularının yıllık akımlarında % 5 – 25 azalma, CO₂ birikimlerini 550 ppm de durdurmayı öngören senaryoda Türkiye akarsularının yıllık akımlarında % 0 – 15 azalma öngörülmektedir.[7]

2.3.3 Kar ve Buz Tabakası Öngörülleri

Model sonuçlarına göre kuzey yarım küredeki kar örtüsü ve deniz buzu yayılışının daha da azalması öngörülmektedir, buzulların ve buz şapkalarının geniş ölçekli geri çekilmesinin 21. yy'da da sürmesi beklenmektedir.[1-2]

2.3.4 Deniz Seviyesi Öngörülleri

TAR'da temel alınan senaryolara göre, küresel ortalama deniz seviyesinin, 1990-2025 yılları arasındaki periyotta 0,03 ile 0,14 m, 1990-2050 yılları arasındaki periyotta 0,05 ile 0,32 m, 1990-2100 yılları arasındaki periyotta ise 0,09 ile 0,88 m kadar yükseleceği öngörülmektedir. [1-2]

2.3.5 İnsan Sağlığı Üzerindeki Öngörüller

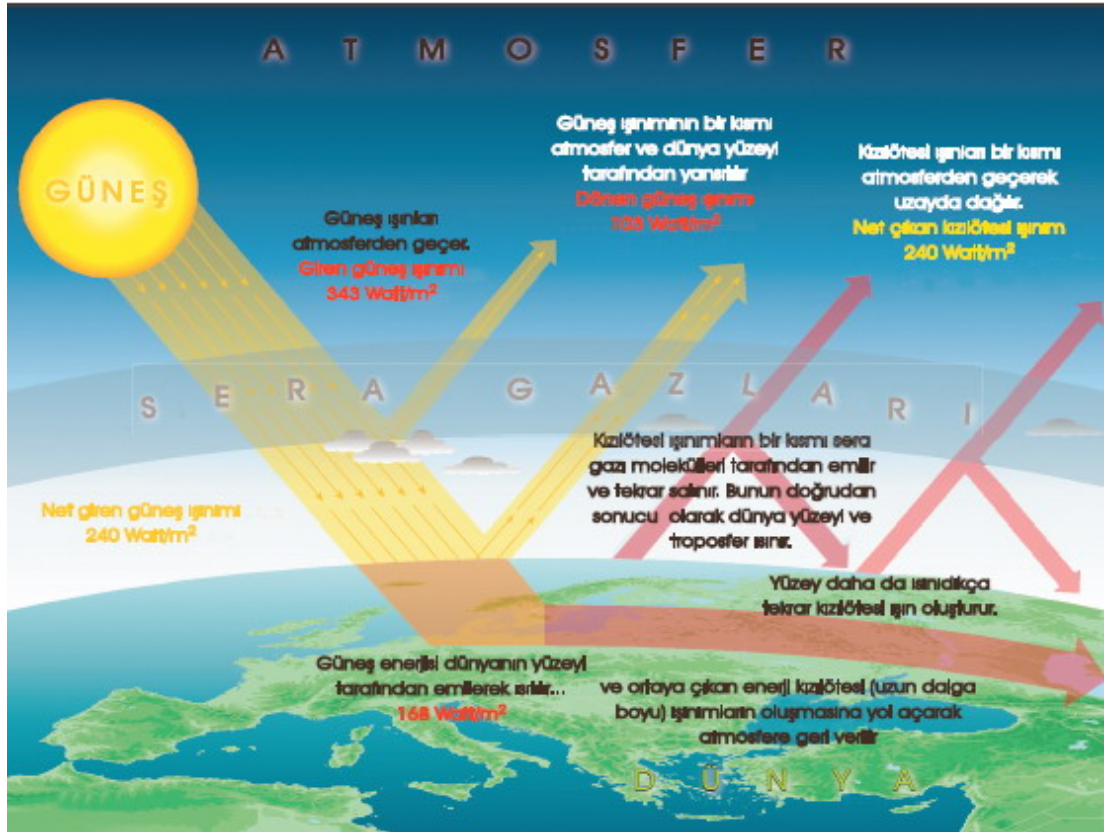
Değişen iklim koşullarının yiyecek üretimi üzerinde de bir takım etkileri olacaktır, İngiltere'deki Hadley Meteoroloji merkezi'nin tahminlerine göre bölgeler arası farklılıklar olsa bile genel olarak yiyecek üretiminde en büyük düşüş tropikal bölgelerde yaşanacak ve bundan en kötü etkilenen kıta Afrika olacak. Afrika'da açlık tehlikesiyle karşı karşıya olan insan sayısının 2050 gelindiğinde % 18'lik bir artış göstereceği tahmin edilmektedir.[10]

2.4 Doğal Sera Etkisi

Yeryüzündeki tüm yaşam biçimleri için vazgeçilmez bir ortam olan atmosfer, temel olarak birçok gazın karışımından oluşur. Atmosferdeki başlıca gazlar durumundaki azot (% 78.08) ve oksijen (% 20.95), temiz ve kuru hava hacminin % 99'unu oluşturur. Kalan yaklaşık % 1'lik kuru hava bölümü, etkisiz bir gaz olan argon (% 0.93) ile nicelikleri çok küçük olan bazı eser gazlardan oluşur. Atmosferdeki birikimi çok küçük olmakla birlikte, önemli bir sera gazı olan CO₂, % 0.0377 oranı ile dördüncü sırada yer alır. Doğal sera gazlarının en önemlileri, başta en büyük katkıyı sağlayan su buharı (H₂O) ve karbondioksit (CO₂) olmak üzere, metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O) ve ozon (O₃) gazlarıdır.[1]

İklim sistemi için önemli olan doğal etmenlerin başında sera etkisi gelir. Bitki seraları kısa dalgalı güneş ışıınımlarını geçirmekte, buna karşılık uzun dalgalı yer (kızıl ötesi ya da termik) ışıınının büyük bölümünün kaçmasına engel olmaktadır. Sera içinde tutulan termik ışıınım seranın ısınmasını sağlayarak, hassas ya da ticari

değeri bulunan bitkiler için uygun bir yetiştirme ortamı oluşturur. Atmosfer de benzer bir davranış sergiler. Gezegenimizin 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, Mars gibi çıplak ve ıssız bir gezegen olurdu.[1,9]



Şekil 2.5: Doğal Sera Etkisinin Şematik Gösterimi

Enerji akıllarının nicelikleri dikkate alındığında, gelen güneş ışınımının (343 W/m^2) yaklaşık % 31'i (103 W/m^2) yüzeyden, atmosferdeki aerosollerden ve bulut tepelerinden yansarak uzaya geri döndüğü görülür (Şekil 2.5). Bu yüzden, Yerküre'nin ortalama albedosu yaklaşık % 31 ve güneş ışınımının net girdisi % 69'dur (240 W/m^2). Gelen net güneş ışınımının, yaklaşık üçte ikisi (168 W/m^2) yüzey ve üçte biri (67 W/m^2) atmosferce emilir. Güneş enerjisinin yerküre-atmosfer

sisteminde tutulan bu % 69'luk bölümü, iklim sistemini oluşturan ana bileşenlerce (atmosfer, hidrosfer, litosfer ve biyosfer) emilir ve onların ısınmasını sağlar. Sonuç olarak, güneş ışınımının net girdisi (240 W/m^2), kızılötesi yer ışınımının net çıktısı (240 W/m^2) ile dengelenir (Şekil 2.5).[1]

Yeryüzü, sera etkisi sayesinde, bu sürecin bulunmadığı ortam koşullarına göre yaklaşık $33 \text{ }^\circ\text{C}$ daha sıcaktır. “Atmosferdeki gazların gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle, Yerküre'nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen doğal süreç” sera etkisi olarak adlandırılır. [1]

2.5 Sera Gazları ve Türkiye’de Enerji Sektörü Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları

Yerküre - atmosfer sistemine giren kısa dalgalı güneş enerjisi ile geri salınan uzun dalgalı yer ışınımı ortalama koşullarda dengededir. Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengeyi ya da enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve okyanus arasındaki dağılışını değiştiren herhangi bir etmen, iklimi de etkiler. Yerküre ve atmosfer sisteminin enerji dengesindeki bu değişiklikler ışımsal zorlama olarak adlandırılır. İDÇS ve Kyoto Protokolü’nce denetlenen sera gazları, CO_2 (Karbondiyoksit), CH_4 (Metan), N_2O (Diazotmonoksit), HFC (Hidrofluorokarbonlar), PFC (Perfluorokarbonlar), SF_6 (Sülfür Heksafluorid) en önemli ışımsal zorlama etmenleridir.

Küresel ısınmaya yol açan sera gazları esas olarak fosil yakıtların yakılması (enerji ve çevrim), sanayi (enerji ilişkili ve kimyasal süreçler, çimento üretimi v.b. gibi enerji dışı), ulaştırma (kara, hava, deniz taşımacılığı v.b. gibi), arazi kullanım değişikliği, katı atık yönetimi ve tarımsal (enerji ilişkili anız yakma çeltik ekimi, hayvancılık, gübreleme v.b. gibi enerji dışı) aktivitelerden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.1: Türkiye’de sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO_2 eşdeğeri)[32]

Toplam	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
Enerji	132,13	144,27	148,62	178,96	190,62	212,55	204,02	227,43
Endüstriyel Süreçler	13,07	17,23	16,93	22,45	22,62	22,23	23,42	26,45
Tarım	18,47	18,84	18,32	17,98	16,70	16,13	14,77	15,18
Atık	6,39	13,29	16,59	22,69	26,69	29,04	28,41	27,55
Toplam	170,06	193,64	200,46	242,09	256,63	279,96	270,62	296,60

Sera gazlarının iklim değışikliklerindeki etki oranlarını belirlemek için “küresel ısınma potansiyeli ”GWP” olarak adlandırılan göreceli bir ölçek kullanılır. Karbondioksitin küresel ısınma potansiyeli 1’dir. Diğer gazlar için de GWP değerleri ise belirli bir zaman içinde atmosferde yaptıkları ısınma etkisinin CO₂’te kıyasla ne kadar olacağı oranlarıdır (Tablo 2.2). [8]

Tablo 2.2: İklim değışikliğinde etkili olan sera gazları ve özellikleri[8]

Sera Gazı	Atmosferdeki Ömrü (Yıl)	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) (100 Yıllık)	Atmosferdeki Konsantrasyonu	Artış Eğilimi 1990’lı yıllar
CO ₂	5-200	1	350 ppm	1,5 ppm/yıl
CH ₄	12	23	1745 ppb	7,0 ppb/yıl
N ₂ O	120	296	314 ppb	0,8 ppb/yıl
Troposferik NO _x	<0,01-0,03	Dolaylı	-	-
Troposferik Ozon	0,01-0,05	Dolaylı	34 ppt	-
CO	0,08-0,25	Dolaylı	-	6 ppt/yıl
Stratosferik H ₂ O	1 – 6	Dolaylı	3-5 ppm	-
SF ₆	3200	22200	4,2 ppt	0,24 ppt/yıl
CFC	45-1700	4600-14000	-	0-4,4 ppt/yıl
HFC	1,4-260	120-12000	-	0,1-2,0 ppt/yıl
HCFC	9,3-19	700-2400	-	1-5 ppt/yıl

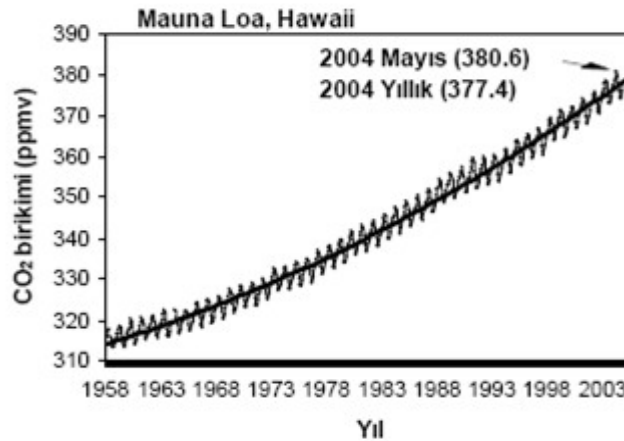
2.5.1 H₂O (Su Buharı) Emisyonları

Atmosferde en baskın ve en çok bulunan sera gazı su buharıdır. Su buharının atmosferdeki ömrü kısa olmakla birlikte, atmosferdeki konsantrasyonu da konumuna göre değışiklik göstermekte ve ortalama 0 – 2 % arasında bulunmaktadır. Ayrıca atmosferik su havada katı, sıvı ve gaz olmak üzere her halde mevcut olabilmektedir. İnsan aktivitelerinin atmosferdeki su buharı konsantrasyonuna direk etkisinin olmadığı düşünölmektedir ancak bu aktiviteler sonucu salınan diğer sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonlarının artışının yeryüzü su çevrimine etkisinin olabileceğı düşünölmektedir. Daha sıcak atmosfer daha fazla su buharı tutma kapasitesine sahiptir. Bu da dünya ve güneş kaynaklı ışınlımların absorbe edilmesi veya yansıtılmasına ekili olan bulut oluşumunu etkilemektedir. [12]

2.5.2 CO₂ (Karbondioksit) Emisyonları

Sera gazları içerisindeki en büyük payı CO₂ emisyonları almaktadır. Renksiz ve kokusuz bir gaz olan karbondioksit, dünya atmosferinin ilk zamanlarından bugüne kadar atmosferde yer almıştır. İnsan kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %90'ı kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının ısınma, enerji üretimi ve endüstride kullanımlarından, metal ve petrol yan ürünlerinin üretimlerinden ve taşıtlardan kaynaklanır. Bu nedenle enerji üretimi ve kullandaki değişim ile enerji politikalarındaki değişimler sera gazı emisyonları üzerinde etkin bir role sahiptir. Arazi kullanımının değişmesi ve fotosentez mekanizmasıyla karbondioksitin yıkımında rol oynayan orman alanlarının azalması da CO₂ konsantrasyonunun artmasına sebep olmuştur. Yakıt tüketimindeki artışa koşut olarak, CO₂ emisyonlarında da, gerçekleşen tüketim değerleri ve öngörüler için hızlı bir artış eğilimliliğinin varlığı dikkat çekicidir. Özellikle atmosferdeki birikiminin büyüklüğü, artış hızı ve 50 – 200 yıl arasında değişen yaşam süresi dikkate alındığında, CO₂'in önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

1958 yılından beri yapılmakta olan Mauna Loa ölçümlerine göre, yerküre atmosferindeki CO₂ birikimi çok hızlı bir biçimde artmaktadır. Yayımlanan ölçüm raporları çözümlendiğinde, sanayi öncesinde yaklaşık 280 ppm ve 1958 yılında yaklaşık 315 ppm olan atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ birikiminin, 2004 yılında 377,4 ppm değerine ulaştığı görülmektedir. [1,8,13]



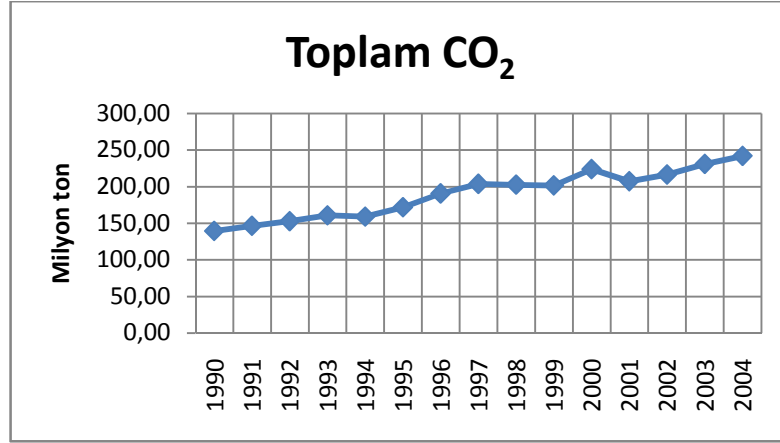
Şekil 2.6: 1958-2004 döneminde Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevi'nde ölçülen aylık ortalama atmosferik CO₂ birikimindeki değişimler[1]

Atmosferdeki CO₂ birikiminin günümüzdeki düzeyi geçmiş 420,000 yıllık kayıttaki doğal CO₂ birikimleri değişimlerinin (yaklaşık 180 - 300 ppm arasında değişmektedir) çok üzerindedir.[1]

Tablo 2.3: Doğrudan CO₂ emisyonlarının sektörsel dağılımı (%) [32]

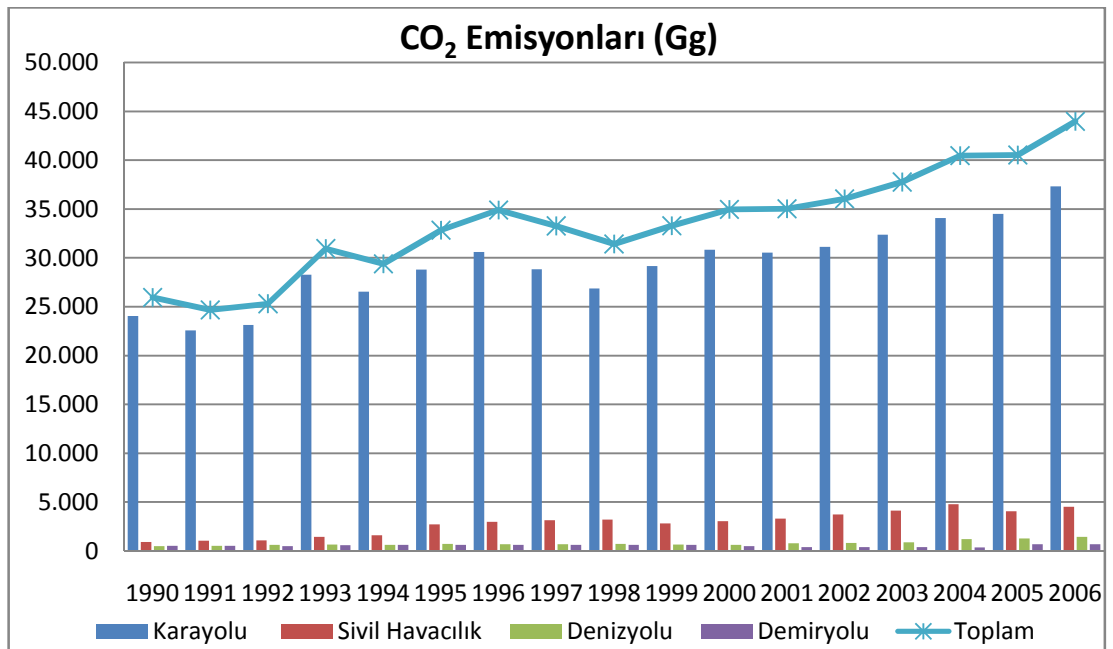
	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
CO₂							
Enerji	90,76	90,40	92,52	92,04	91,92	92,20	91,90
Çevrim ve Enerji Sektörü	24,37	27,53	34,31	38,44	34,22	32,12	31,50
Sanayi	26,89	24,43	26,75	22,61	26,84	29,16	28,24
Ulaştırma	18,59	19,10	15,62	16,89	16,65	16,35	16,73
Diğer Sektörler	20,92	19,33	15,83	14,10	14,22	14,56	15,44
Endüstriyel Süreçler	9,24	9,60	7,48	7,96	8,08	7,80	8,10
Mineral Üretimi	7,96	8,61	7,08	7,60	7,61	7,34	7,61
Kimya Endüstrisi	0,59	0,56	0,07	0,08	0,28	0,26	0,29
Maden Üretimi	0,69	0,44	0,34	0,28	0,18	0,20	0,21

Türkiye’deki CO₂ emisyonları incelendiğinde, 2004 yılındaki CO₂ emisyonlarının %31,50 si çevrim ve enerji, % 28,24 ü sanayi, % 16,73 ü ulaştırma, % 15,44 ü diğer sektörlerden kaynaklanırken (Tablo 2.3), 2020 yılında %41’inin çevrim ve enerji, %33’ünün sanayi, %13’ünün ulaştırma ve %13’ünün diğer sektörlerden kaynaklanacağı öngörülmektedir. 1990 yılına göre 2004 yılında toplam CO₂ emisyonu %75,4 oranında artmıştır. 2004 yılında toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık olarak %92’si yakıtların yanmasından kaynaklanmaktadır. Türkiye’de, 2004 yılında 1990 yılına göre, CO₂ emisyonunda en yüksek artış %124 ile elektrik üretiminde gözlenmiştir. Bu değeri %82 ile imalat sanayi, %56 ile ulaştırma ve %28 ile diğer sektörler izlemektedir. [14]



Şekil 2.7: Türkiye’de 1990-2004 yılları arası toplam CO₂ emisyonları [33]

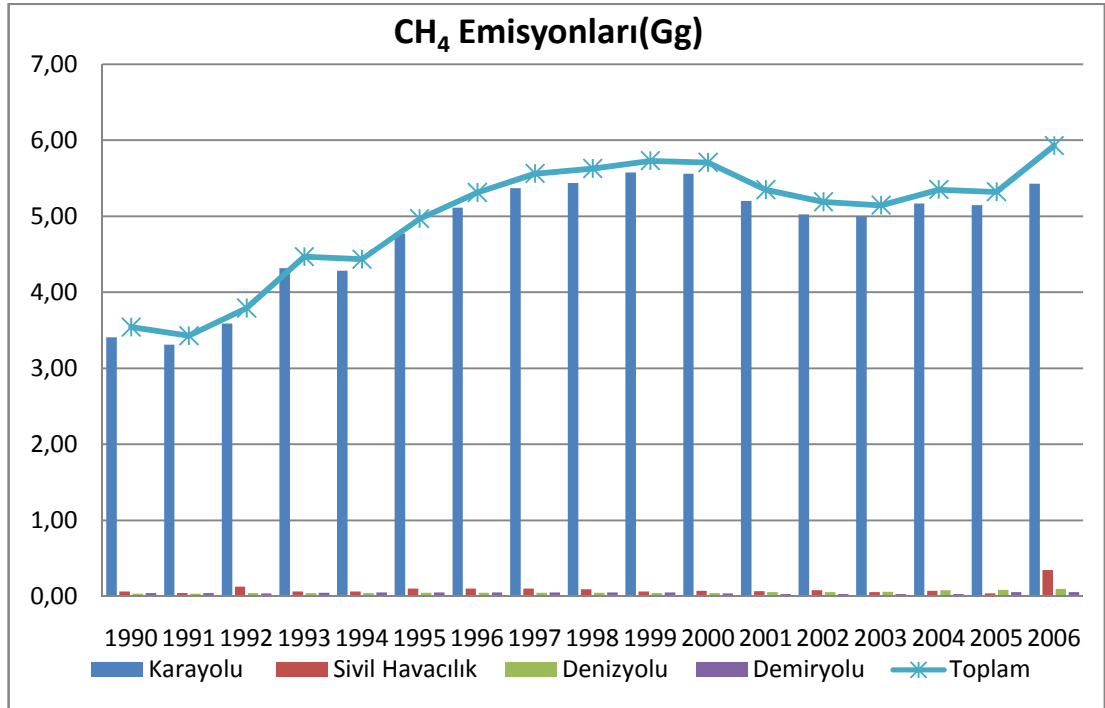
Türkiye’deki ulaştırma sektörü kaynaklı CO₂ emisyonları incelendiğinde en fazla emisyonun karayolu ulaşımı kaynaklı olduğu görülmektedir. 1990 yılında 24035 Gg olan karayolu ulaşımı kaynaklı CO₂ emisyonu, 2006 yılında 1990 yılına göre yaklaşık %55 artarak 37309 Gg a yükselmiştir. Karayolu ulaşımından sonra en fazla CO₂ emisyonunun havayolu ulaşımı kaynaklı olduğu görülmektedir. Havayolu kaynaklı CO₂ emisyonları 1990 yılına göre (904 Gg) yaklaşık %400 artarak 4534 Gg’a yükselmiştir. Toplam emisyonu bakıldığında da 1990 yılında 25954,63 Gg olan ulaştırma kaynaklı CO₂ emisyonu, 2006 yılında 43965,5 Gg a yükselmiştir. [15]



Şekil 2.8: Farklı ulaştırma türleri kaynaklı CO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

2.5.3 CH₄ (Metan) Emisyonları

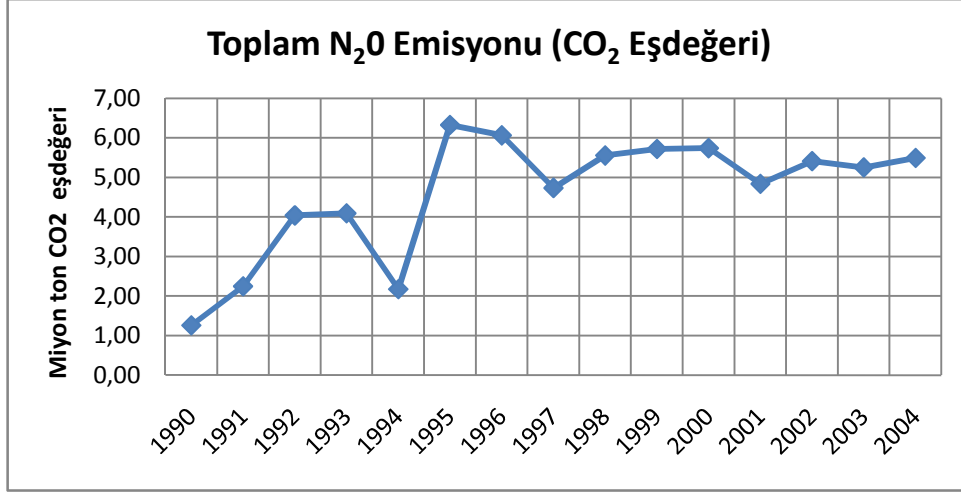
Karbondioksite göre 23 kat daha kuvvetli bir sera gazı olan metanın atmosferik ömrü 12 yıldır. 1750’li yıllarda atmosferde 700 ppb olan metan konsantrasyonu günümüze gelene kadar %151 artış göstermiş ve 1745 ppb’ye yükselmiştir. İnsan kaynaklı CH₄ emisyon kaynakları olarak katı atık depolama alanları, doğalgaz ve petrol üretim tesisleri, tarımsal faaliyetler, gübre üretimi, kömür madenciliği, ısınma faaliyetleri, taşıtlar, atık su arıtma tesisleri ve çeşitli endüstriler sayılabilir. Metan gazının atmosferdeki yıkımı hidroksil radikali (OH) ile girdiği oksidasyon reaksiyonu sonucu gerçekleşir ve atmosferdeki metan gideriminin %90’ı bu reaksiyon sonucudur. Diğer giderim mekanizmaları topraktaki mikroorganizmaların metanı bünyelerine almaları ve metan ile klor atomlarının reaksiyonları sonucudur. CH₄ konsantrasyonu artış oranı yılda 7.0 ppt’dir [8]



Şekil 2.9: Farklı Ulaştırma türleri kaynaklı CH₄ emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

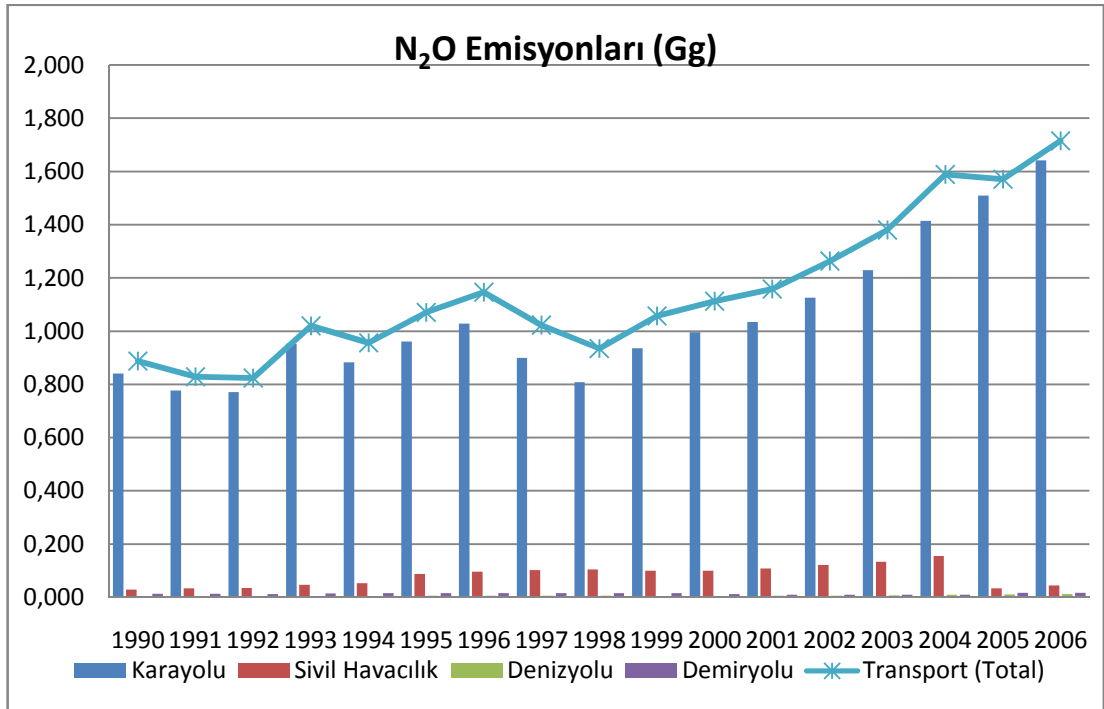
2.5.4 N₂O (Diazotmonoksit) Emisyonları

Renksiz, hoş kokulu olup “gülme gazı” olarak da bilinen diazotmonoksit atmosferde 120 yıl kalabilmektedir. Yüksek ısı tutma potansiyeli ve uzun ömrü nedeniyle küresel ısınma potansiyeli 296’dır (100 yıllık). Atmosferdeki konsantrasyonu 314 ppb olup sanayi devrimi öncesi döneme göre %17’lik bir artış göstermiştir.



Şekil 2.10: Türkiye’de 1990-2004 yılları arası toplam N₂O emisyonları [33]

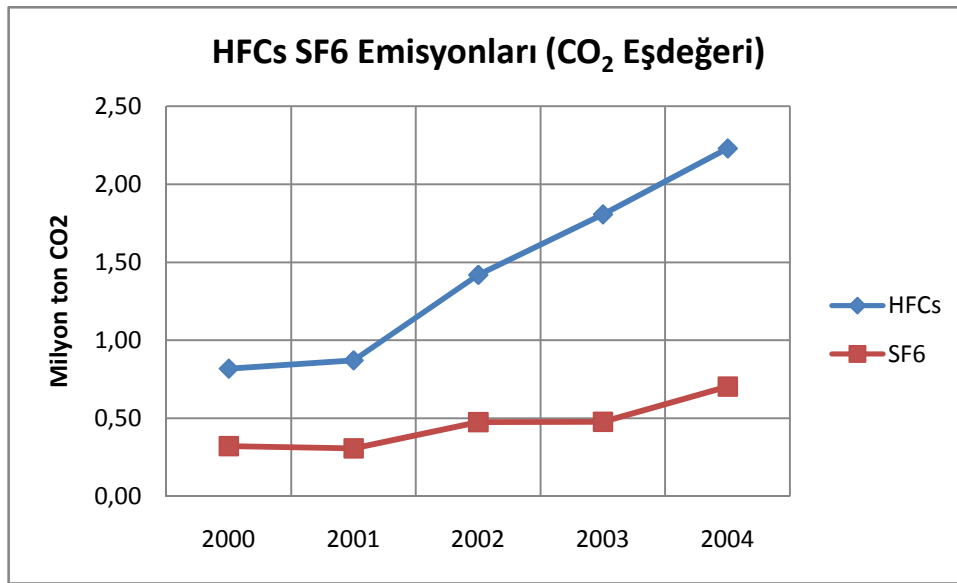
Şekil 2.10 da Türkiye’deki toplam N₂O emisyonlarının CO₂ eşdeğeri olarak yıllara göre değişimi gösterilmektedir. N₂O atmosfere tarım alanlarından, gübre üreten tesislerden, evlerdeki ve taşıtlardaki yanma işlemlerinden, atık su arıtma tesislerinden, katı atık yakma tesislerinden ve asit üreten tesislerden salınır. Atmosferdeki N₂O konsantrasyonu artış oranı 0.8 ppt/yıl’dır [8]



Şekil 2.11: Farklı ulaştırma türleri kaynaklı N₂O emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

2.5.5 HFC (Hidrofluorokarbon), PFC (Perfluorokarbon), SF₆ (sülfür heksaflorid) Emisyonları

Hidrofluorokarbonlar (HFCs), Perfluorokarbonlar (PFCs) ve Sülfürheksaflorid (SF₆) yüksek küresel ısınma potansiyeline sahiptir. İlk olarak 1930’larda keşfedilen bu gazlar alüminyum ve magnezyum üretiminde, yarı iletken imalatında, soğutucu ve buzdolabı üretiminde ve spreylerde kullanılmışlardır. Montreal Protokolü sonrasında kloroflorokarbonların üretimi yasaklanmış ve emisyonlarında azalma olmuştur. Bununla beraber yerlerine kullanılmaya başlanan Perfluorokarbonlar ve Sülfürheksaflorid gibi sentetik gazların emisyonları ise artmaktadır [8]



Şekil 2.12: Türkiye’de 1990-2004 yılları arası toplam HFC ve SF₆ emisyonları [33]

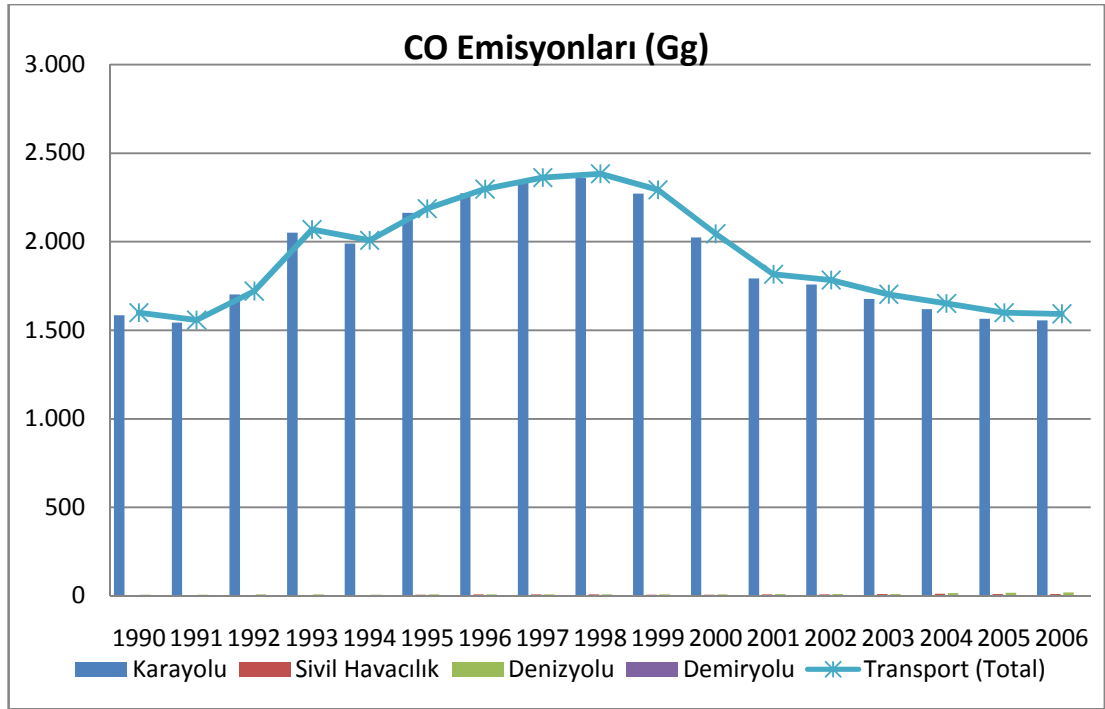
2.5.6 O₃ (Ozon) Emisyonları

Ozon özellikle troposferde ikincil kirletici olarak oluşmaktadır ve azot oksitler ile uçucu organik bileşiklerin güneş ışığındaki reaksiyonu sonucu ortaya çıkan fotokimyasal bir kirleticidir. Ozon oluşumunda hidroksil, hidroperoksi ve daha büyük yapıdaki peroksi radikalleri rol oynamaktadır. Sıcak ve güneşli hava koşullarında atmosferik ortamda kolayca oluşabilmektedir. Bu sebepten dolayı sıcaklığın yüksek olduğu yaz aylarında ozon seviyeleri oldukça artabilmektedir. Özellikle küresel ısınmanın gerçekleştiği günümüzde halk sağlığı açısından ozonun sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir. İngiltere ve Hollanda da 2003 yazında oluşan fotokimyasal epizotlar ve etkileri bu kirleticinin oldukça dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır [8]

Yanma sonucunda ortaya çıkan sera etkisine sahip diğer bileşikler karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar(HC), Azot Oksitler (NO_x), is, Partiküller (Katı ve Sıvı parçacıklar), kükürt dioksit (SO₂), kurşun bileşikleri (Pb) olarak sıralanabilir.

2.5.7 CO (Karbon monoksit) Emisyonları

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 sürecinde 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 teknolojilerine 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 rölantide, düşük devirlerde ve soğuk ilk hareket koşullarında oluşmaktadır.



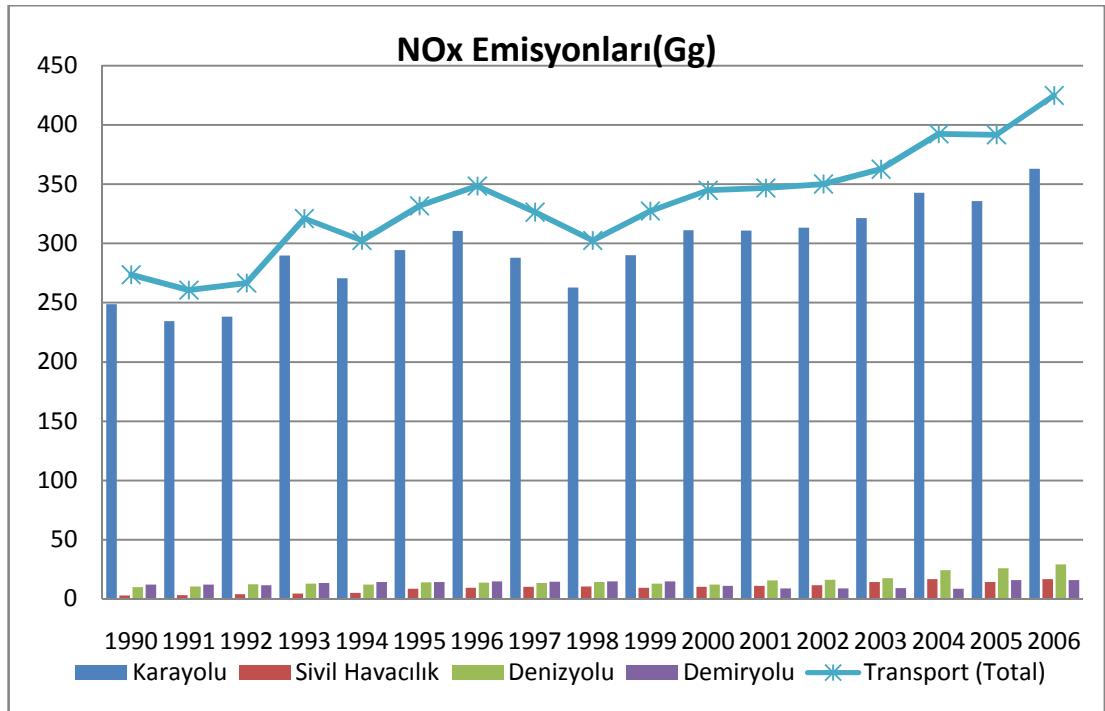
Şekil 2.13: Farklı Ulaştırma türleri kaynaklı CO emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

2.5.8 NO_x (Azot oksitler) Emisyonları

Atmosferdeki ömrü kısa olan ve kompleks doğrusal olmayan kimyasal yapıdaki NO_x ler, dolaylı olarak troposferdeki ozon oluşumunu etkilerken, uçak kaynaklı NO_x lerde CH₄ konsantrasyonunu azaltıcı etki göstermektedir. NO_x lerin küresel ısınma

etkisinin dolaylı olması ve doğrusal olmayan kimyasal yapısı sebebiyle etkisinin emisyon bölgesiyle değişim göstermesinden ötürü bir GWP değeri öngörüsü yapılamamıştır. NO_x emisyonları, yıldırım düşmesinden, topraktaki mikrobik aktivitelerden, biokütlelerin doğal veya insan nedeniyle yanmasından, yakıt yakılmasından ve stratosferde N₂O'nun indirgenmesinden oluşturulabilmektedir. [12,17]

Normal şartlarda havanın içindeki azot (N₂) yanma sonucu reaksiyona girmez. Taşıt kaynaklı NO_x emisyonları ancak motor içindeki yanmada ulaşılan yüksek sıcaklıklarda (1600 °C üstü) havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Azot oksitler içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu NO'nun bir kısmı NO₂ ye ve öteki NO_x lere dönüşmektedir. Sonuç olarak azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığının büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık arttıkça NO_x oluşumunun arttığı anlaşılmaktadır.[16]

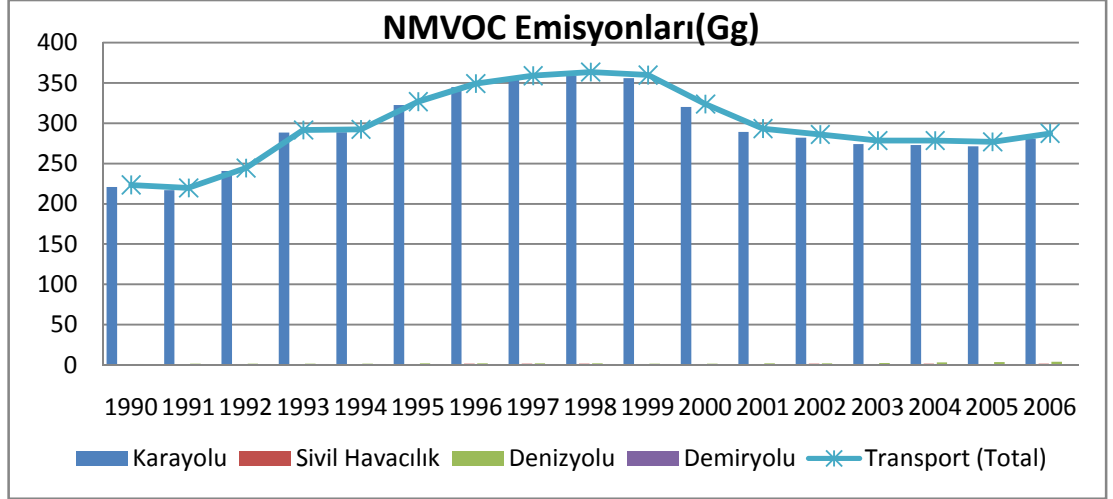


Şekil 2.14: Farklı ulaştırma türleri kaynaklı NO_x emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

2.5.9 NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compound)

Metan dışındaki uçucu organik bileşikler (NMVOC) genel olarak propan, bütan ve etandan oluşur. Bu bileşikler NO_x ile birlikte troposferik ozon oluşuma neden

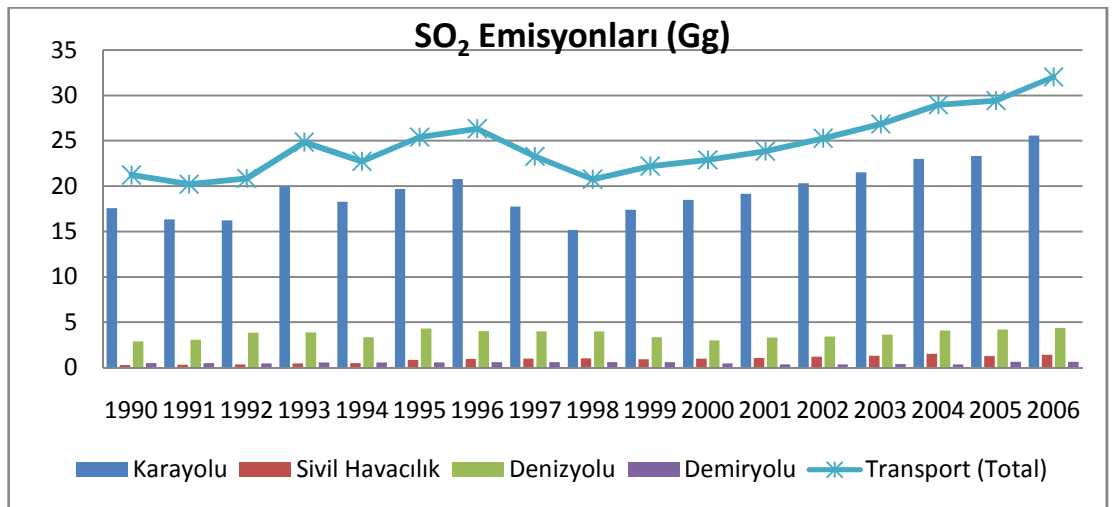
olmaktadır. NMVOC büyük oranla ulaştırma ve endüstri sektörü kaynaklı olmakla birlikte, biokütlelerin yakılması ve endüstri dışı organik solvent tüketimi sonucu açığa çıkmaktadır. Atmosferdeki ömrü kısa olan NMVOC lerin konsantrasyonu da konumsal olarak değişiklik göstermektedir.[17]



Şekil 2.15: Farklı ulaştırma türleri kaynaklı NMVOC emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

2.5.10 SO₂ (Sülfür dioksit) Emisyonları

Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak, özellikle dizel motorlarında, yanma sonucu kükürdün hava ile birleşmesi ile SO₂ oluşmaktadır. Atmosferdeki su buharının etkisiyle kükürt dioksit sülfürik aside dönüşür ve insan sağlığını olumsuz yönde etki eder.



Şekil 2.16: Farklı ulaştırma türleri kaynaklı SO₂ emisyonlarının yıllara göre değişimi[15]

2.5.11 HC (Hidrokarbon) Emisyonları

Yanma sonucu bacalardan ve taşıtlarda yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşma yolu ile veya egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılan yanmamış ya da kısmen yanmış hidrokarbonlar genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir. Gaz halindeki hidrokarbonlar güneş ışığı altında azot oksitlerle birleşerek fotokimyasal sis olarak bilinen bir sis tabakası oluştururlar. Bu tabaka gözlerin yanmasına ve sulanmasına, solunum sisteminin etkilenmesine neden olurken, aynı zamanda bitkiler için de zararlı olmaktadır. Bu tür hidrokarbonlar aslında parafinler ve olefinler solunum yollarındaki mukozayı tahriş edici ve bayıltıcı etkileri de bulunmaktadır. Aromatların ise kanser yapıcı etkileri vardır. Hidrokarbonların kısmi oksidasyonu sonucu oluşan aldehitler ise keskin kokuları nedeniyle göz ve burun için rahatsız edici etkiye sahiptirler.[16]

2.5.12 İs Emisyonları

Taşıt kaynaklı is partikülleri, dizel motorunda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H_2 molekülleri hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve geriye kalan C yeterli O_2 bulamadığından yanmaması sonucu oluşmaktadır. İs partiküllerinin oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtının silindir içerisinde yeterli derecede hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışamaması ve buharlaşmasıdır.

Karbon taneciklerinden oluşan isin doğrudan insan sağlığına olan etkisi henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Ancak is partikülleri, yanma odası içerisindeki kanserojen ve tahriş edici etkisi olan yakıt ve yağ moleküllerini de hapsederek insan sağlığını doğrudan tehdit eder hale dönüşmektedirler. [16]

2.5.13 Pb (Kurşun Bileşikleri) Emisyonları

Benzin motorlarında, vuruntuyu önlemek amacıyla, yani yakıtın oktan sayısını arttırmak için katkı maddesi olarak benzine eklenen kurşuntetraetil yanma sonucunda egzoz gazları içerisinde kurşun ve kurşun bromür gibi bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır. [16]

2.6 Küresel İklimin Korunması İçin Atılan Profesyonel Adımlar

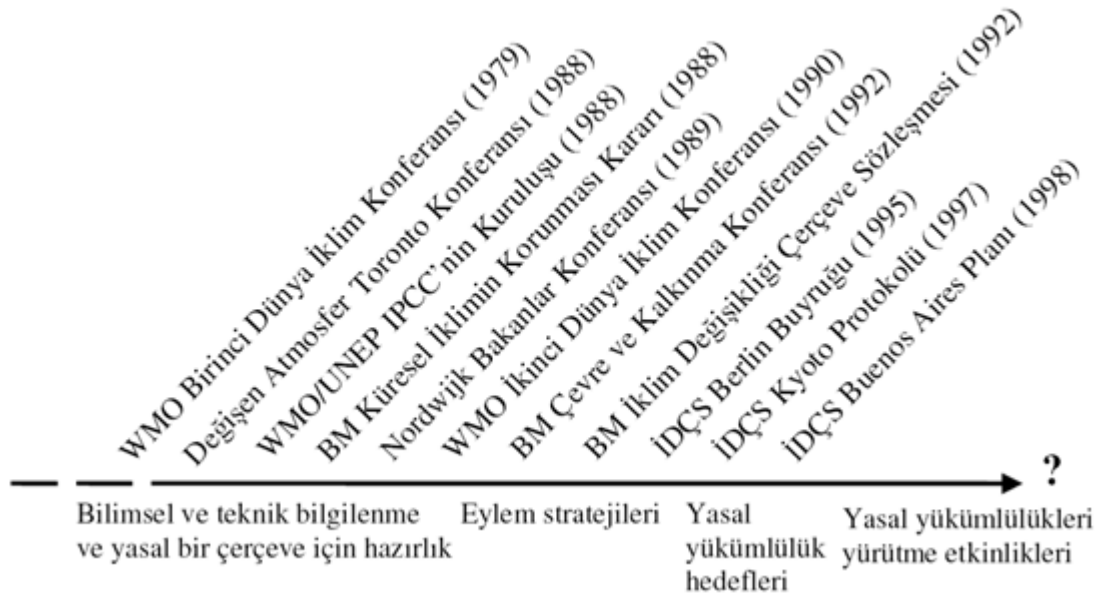
İklim değişikliği ve iklim değişikliğinin önlenmesiyle ilgili uluslararası bilimsel ve teknik bilgilenme, örgütlenme ve yasal bir çerçeveye yönelik hazırlıklar ile hükümetler arası görüşmeler ve anlaşmalar sürecinde, yaklaşık 20 yıllık bir dönemde önemli değişiklikler olmuştur. Önemlileri Şekil 2.16'da verilen bu gelişmelerin bazıları aşağıda özetlenmiştir. Atmosferdeki CO₂ birikiminin değişmesine bağlı olarak ikliminin değişebilme olasılığı, ilk kez 1896 yılında Nobel ödülü sahibi İsveçli S. Arrhenius (1896) tarafından öngörülmüştür. Ama aradan yıllar geçmesine rağmen, atmosferde artan CO₂ birikiminin yol açabileceği olumsuz etkiler konusundaki uluslararası ilk ciddi adımın atılması için 1979 yılına kadar beklenilmiştir.

Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) öncülüğünde 1979 yılında düzenlenen Birinci Dünya İklim Konferansı'nda konunun önemi dünya ülkelerinin dikkatine sunulmuştur. Sonrasında, 1985 ve 1987 yıllarında Villach'ta (Avusturya) ve 1988'de Toronto'da düzenlenen toplantılar, dikkatleri ilk kez iklim değişikliği karşısında siyasal seçenekler geliştirilmesi konusu üzerinde toplamıştır. Villach 1985 Toplantısı, Karbondioksit ve Öteki Sera Gazlarının İklim Değişimleri Üzerindeki Rolünü ve Etkilerini Değerlendirme Uluslararası Konferansı başlığını taşımaktaydı.

1988 yılında düzenlenen Değişen Atmosfer Toronto Konferansı'nda, uluslararası bir hedef olarak, küresel CO₂ emisyonlarının 2005 yılına kadar % 20 azaltılması ve protokollerle geliştirilecek olan bir çerçeve iklim sözleşmesinin hazırlanması önerilmiştir.

Aralık 1988'de Malta'nın girişimiyle, BM Genel Kurulu İnsanoğlunun Bugünkü ve Gelecek Kuşakları için Küresel İklimin Korunması konulu 43/53 sayılı kararı kabul etmiştir. Kararda, küresel iklim insanoğlunun ortak mirası, iklim değişikliği ortak sorunu olarak nitelendirilmiştir.

Kasım 1989'da, Hollanda'nın Nordwijk kentinde Atmosferik ve İklimsel Değişiklik konulu Bakanlar Konferansı düzenlenmiştir. Bu toplantıda, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Japonya ve eski Sovyetler Birliği dışındaki ülkelerin çoğu, CO₂ emisyonlarının % 20 oranında azaltılmasını destekledikleri halde, azaltmaya ilişkin özel bir hedef ya da takvim belirlenememiştir.



Şekil 2.17: İklim Değişikliği Konulu uluslararası görüşmeler sürecindeki önemli dönüm noktaları ve gelişmeler [18]

WMO öncülüğünde 29 Ekim-7 Kasım 1990 tarihlerinde Cenevre’de yapılan İkinci Dünya İklim Konferansı’nda, ana konusu iklim değişikliği ve sera gazları olan Bakanlar Deklarasyonu, aralarında Türkiye’nin de bulunduğu 137 ülke tarafından onaylanmıştır. Hem Konferans sonuç bildirisi, hem de Bakanlar Deklarasyonu, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda (UNCED) imzaya açılmak üzere, bir iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi görüşmelerine ivedilikle başlanması açısından tarihsel bir önem taşımaktaydı. Bu belgelerde, sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinin azaltılmasını sağlayacak önlemler savunulmuştur. [18]

2.6.1 İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Sözleşmenin amacı, atmosferde tehlikeli bir boyuta varan insan kaynaklı sera gazı konsantrasyonunun iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisini önlemek ve belli bir düzeyde tutulmasını sağlamaktır. Bu amaca ulaşmak için gelişmiş ülkeler 2000 yılındaki sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesine indirmek ve gelişme yolundaki ülkelere teknolojik ve mali kaynak sağlamakla yükümlüdürler.

Sözleşmenin temel ilkeleri ise;

- İklim sisteminin eşitlik temelinde, ortak fakat farklı sorumluluk alanına uygun olarak korunması

- İklim değışikliğınden etkilenecek olan gelişme yolundaki ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması
- İklim değışikliğınin önlenmesi için alınacak tedbirlerin etkin ve en az maliyetle yapılması
- Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve alınacak politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına entegre edilmesi
- Alınan karşı önlemlerin keyfi, haksız, ayrımcı veya uluslararası ticarete gizli bir kısıtlama oluşturmayacak nitelikte olması

Sözleşme iki ek liste içermektedir. Teknoloji transferi ve mali yükümlölükleri yerine getirecek ülkeleri içeren Ek-II listesi, 1992 yılında OECD'ye üye olan ülkeler ile AB'den oluşmaktadır. Bunlar; Almanya, ABD, Fransa, İsviçre, Norveç, Avustralya, Hollanda, İtalya, Portekiz, Avusturya, İngiltere, İzlanda, Türkiye, Belçika, İrlanda, Japonya, Yeni Zelanda, Danimarka, İspanya, Kanada ve Yunanistan. Ek-I listesi ise Ek-II listelerine ilave olarak Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecindeki Ülkelerden (Rusya Federasyonu, Hırvatistan, Slovakya, Litvanya, Ukrayna, Macaristan, Letonya, Polonya, Slovenya, Romanya, Bulgaristan, Belarus, Çek Cumhuriyeti, Estonya) oluşmaktadır. Sözleşmede, ekonomileri geçiş sürecinde olan bu ülkelere sera gazı emisyonlarında farklı baz yıl seçme ayrıcalığı tanınmıştır.

Türkiye, OECD üyesi olması sebebiyle başlangıçta sözleşmenin Ek-I ve Ek-II listesinde, gelişmiş ülkeler arasında değerlendirilirken; bu duruma kendi gelişmişlik düzeyini koşul olarak göstererek itiraz etmiştir çünkü Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Gelişmiş ülkeler ile karşılaştırıldığında Türkiye enerji üretimi ve tüketimi bakımından diğer OECD ülkelerinin gerisindedir; ayrıca sosyo-ekonomik kalkınma düzeyi diğer Ek-II ülkelerinden daha düşüktür. Bu nedenle sözleşmeden doğan yükümlölükleri yerine getirirken bu hususların da göz önünde bulundurulması gerekir

Türkiye'nin küresel ısınmaya sebep olan karbondioksit (CO₂) emisyonu üretme bakımından kişi başına düşen sorumluluğı diğer OECD ve Avrupa Birliği ülkelerine göre daha azdır.

Türkiye'nin iklim değışikliğı ile ilgili seçilmiş göstergelerine bakıldığında;

Tablo 2.4: Türkiye'nin Toplam ve kişi başı CO₂ emisyonlarında dünyadaki yeri[3]

Göstergeler	Türkiye	OECD	Dünya
Yakıt tüketiminden kaynaklı toplam CO ₂ Emisyonları (Mt CO ₂ /yıl)	204	12,45	23,395
Yakıt tüketiminden kaynaklı kişi başı CO ₂ emisyonları (Mt CO ₂ /kişi-yıl)	3	11,1	3,9

Türkiye'nin sanayileşmesini sürdüren gelişmekte olan bir ülke olması ve nüfusun hızlı artışı nedeniyle, elektrik enerjisi talebi de önemli ölçüde artmaktadır. Buna koşut olarak, 1990'da 16.317,6 Megawatt (MW) olan kurulu güç, ek elektrik üretim tesislerinin kurulmasıyla, % 67 artarak 2000'de 27.264,1 MW'a ulaşmıştır. Bununla uyumlu olarak, 1990'da 57.543 Gigawatt-saat (GW-sa) olan elektrik enerjisi üretimi, % 117'lik artışla 2000'de 124.921,6 GW-sa olmuştur. [3]

Türkiye'de enerji tüketimi geçtiğimiz yıllarda sürekli artarak 2000 yılında yaklaşık 82,2 milyon ton petrol eşdeğerine (Mtep) ulaşmıştır. Bu miktarın artışını sürdürerek, 2005'te 115,2 Mtep'e ve 2010'da da 153,9 Mtep'e ulaşması tahmin edilmektedir. Sektörlere göre toplam nihai enerji tüketimi(2001) bakıldığında sanayi %39, konut %33, ulaşım %20, tarım %5 ve enerji dışı %3'tür. [3]

Türkiye'de elektrik enerjisi talebi, ağırlıklı olarak termik ve hidrolik kaynaklardan karşılanmaktadır. Jeotermal ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise henüz hayli düşüktür. Termik üretimde, enerji kaynakları arasında linyit önemli bir yer tutmaktadır. [3]

Türkiye 2001 yılı itibariyle; dünya nüfusunda %1.10, ekonomisinde %0.68, enerji tüketiminde %0,86 paya sahip bulunmaktadır. Türkiye'de de kişi başına enerji tüketimi diğer gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında düşüktür ve buna bağlı olarak Türkiye'nin kişi başına yılda 0,8 ton olan karbon eşdeğeri karbondioksit emisyonu düzeyi dünya ve OECD ortalamalarının altındadır. Dolayısıyla, kişi başına az üretebiliyor ve az enerji tüketiyor konumdadır. [3]

Gelişmenin sonucu olarak enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonu artmaktadır. 1990 yılında 126 milyon ton olan CO₂ emisyonu 1995 yılında 151, 2000 yılında 209, 2005 yılında 294 ve 2010 yılında ise 403 milyon ton olacağı tahmin edilmektedir. Tüketim ve öngörü değerleri için yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının sektörsel dağılımı karşılaştırıldığında, bazı sektörlerin payı artarken, bazılarının payında belirgin bir azalış görülmektedir[3].

Türkiye kalabalık nüfusuna rağmen ekonomisinin küçük olması nedeni ile, karbondioksit emisyonları açısından, hem toplam, hem de kişi başına yıllık değerleriyle, OECD ülkeleri arasında arka sıralarda yer almaktadır Türkiye'nin kişi başına elektrik tüketimi de aynı şekilde, OECD ülkeleri arasında sonuncu gelmektedir. Türkiye’de enerji üretim ve tüketimi hızlı bir artış göstermekle birlikte, henüz yeterli düzeye ulaşamamıştır. Ayrıca, kişi başına toplam birincil enerji arzı açısından, 1,07 tep/kişi olan Türkiye değerinin dünya ve OECD değerlerinin altında olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisi tüketimi dikkate alındığında bu fark daha da açılmaktadır. Kişi başına elektrik enerjisi tüketimi dünya ortalaması 2.280 kilowatt-saat (kW-sa) ve OECD ortalaması 7.841 kW-sa iken, bu değer Türkiye’de 1.473 kW-sa’dır. [3]

Tablo 2.5: Dünya, OECD ve Türkiye enerji göstergelerinin karşılaştırılması[3]

	Toplam birincil enerji Arzı (Mtep)	Toplam birincil enerji arzı/GSYİH (Tep/000 95 USD)	Kişi başına toplam birincil enerji arzı (Tep/kişi)	Elektrik Üretimi (TWh)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh/kişi)
Dünya	9774,48	0,3	1,65	13502,4	2,28
OECD	5229,45	0,2	4,68	8753,51	7841
Türkiye	70,33	0,37	1,07	96,94	1,473

Türkiye, 1999 yılına ilişkin temel CO₂ göstergeleri açısından, dünya ülkeleri arasında, toplam CO₂ emisyonunda 23. , kişi başına CO₂ emisyonu açısından 75., CO₂ emisyonunun gayri safi yurt içi hasılaya (GSYİH) oranında 60. ve CO₂ emisyonunun satın alma gücü paritesine göre hesaplanmış GSYİH’ye oranında ise 55. sırada yer almaktadır. [3]

Tablo 2.6: Temel CO₂ göstergelerine göre Türkiye’nin Dünya ülkeleri sıralamasındaki yeri [3]

	1995	1996	1997	1998	1999
Toplam CO ₂ Emisyonu	25	25	23	24	23
CO ₂ /Nüfus	80	79	75	76	75
CO ₂ /GSYİH	63	71	70	71	60
CO ₂ /GSYİH (satın alma gücü paritesi)	81	84	81	81	55

Karşılaştırma açısından başka bir örnek olarak karayolu taşımacılığına bakıldığında OECD ve ülkeleri arasında en düşük rakama sahiptir.

Bu karşılaştırmalardan, Türkiye'nin, toplam CO₂ emisyon miktarı dışında kalan göstergelerde alt sıralarda yer aldığı, bu nedenle gelişmiş ülkelerle birlikte değerlendirilmesinin hakkaniyete ve İDÇS'nin "ortak fakat farklı sorumluluklar" ilkesine uymadığı görülmektedir.

Bu gerekçelerle Türkiye, sözleşmede ifade edilen “ortak fakat farklı sorumluluk” yaklaşımına dayanarak, kendisine daha uygun bir konumun sağlanması çerçevesinde eklerden çıkma yönünde çalışmalarını 1995 yılında Berlin’de yapılan ilk Taraflar Konferansından itibaren aralıksız sürdürmüş ve 2001 yılında Marakeş’te gerçekleştirilen 7. taraflar konferansında, sözleşmenin Ek-II listesinde çıkarılmış ve taraflar Türkiye’nin Ek-I listesinde yer alan diğer taraflardan farklı bir konumda bulunmasını sağlayacak özgün koşullarını dikkate almaya davet edilmiştir.

Gelinen bu durumdan sonra, Türkiye, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında ve sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda, bir yandan kalkınma hedeflerini gerçekleştirirken, diğer yandan iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak yürütülen bu küresel ortak eylemde yerini almak için sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla 189. taraf olarak katılmıştır. Bu katılımı, çevre yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının diğer sektörel kalkınma uygulamalarına entegrasyonunu güçlendirecek bir imkân sağlayacaktır. Ayrıca, hem küresel çevrenin korunması alanındaki uluslararası çabalara etkin bir şekilde katılmasına imkân tanıyacak hem de Avrupa Birliği’ne üyelik sürecinde halen yürütülmekte olan çalışmalara çok ciddi bir katkı sağlayacaktır.[18-20]

2.6.2 Kyoto Protokolü

Gelişmiş ülkelerin 2000 yılındaki sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesinde tutmak için İDÇS'nin yetersiz olduğu kabul edilerek, yükümlülüklerin daha sıkı hale getirilmesi ve yasal bağlayıcı bir belge olması amacıyla hazırlanan Kyoto Protokolü 16 Mart 1998 ile 15 Mart 1999 tarihleri arasında imzaya açık kalmıştır. Protokole göre; Ek-I listesinde yer alan ülkeler, 2008 - 2012 birinci taahhüt dönemi sonunda toplam sera gazı emisyonlarını ortalama olarak 1990 yılı seviyesinin en az %5,2 altına indirme yükümlülüğünü kabul etmişlerdir.

Kyoto Protokolü’nün yürürlüğe girmesi iki şarta bağlanmıştır. Birincisi, protokolün 55 ülke tarafından onaylanması, ikincisi ise 1990 yılında hesaplanan toplam CO₂ emisyon miktarının en az %55’inden sorumlu Ek-I ülkelerinin 55 ülke içinde yer

alması gerekmektedir. Yüzde 36,1 paya sahip olan Amerika Birleşik Devletleri Protokolü onaylamayacağını açıklaması üzerine gözler %17'lik bir paya sahip olan Rusya Federasyonu üzerine çevrilmiştir. Nitekim Rusya Federasyonu 18 Kasım 2004 tarihinde onay belgesini Depozitere sunmasını müteakip 16 Şubat 2005 tarihinde Protokol yürürlüğe girmiştir. Bugüne kadar Protokol 141 ülke ile Avrupa Birliği tarafından onaylanarak kabul edilmiştir.

Kyoto Protokolü sözleşmede olduğu gibi iki ek liste içermektedir. 1990 yılına oranla sayısal emisyon azaltım hedeflerinin yer aldığı Ek-B listesi Sözleşmenin Ek-I listesinde yer alan taraf ülkelerden teşekkül etmektedir. Protokole taraf olmayan ancak Ek-I listesinde yer alan Türkiye ve Beyaz Rusya Ek-B listesinde yer almamaktadır. Ek-B ülkeleri Protokol kapsamında sınırlama getirilen altı sera gazı toplam emisyonlarını 2008-2012 döneminde 1990 yılı seviyesinin en az %5.2 altına indireceklerdir. Kyoto Protokolü Ek-B listesine göre, Ek-1 ülkelerinden Türkiye ve Belarus hariç olmak üzere:

ABD %7 indirim,

Japonya, Kanada, Polonya ve Macaristan %6 indirim,

Hırvatistan %5 indirim,

Rusya Federasyonu, Yeni Zelanda ve Ukrayna %0,

Norveç %1 artış,

Avustralya %8 artış,

İzlanda %10 artış,

Avrupa Birliği, Diğerleri %8 indirim

Hedefleri belirlenmiştir. Gelişme yolundaki ülkeler de gönüllü olarak sayısal sera gazı emisyon azaltım hedefi verebileceklerdir. Ek-B'de yer alan taraf ülkelerin belirlediği sayısal emisyon azaltım oranı hakkında 2005 yılında gösterilebilir bir ilerleme kaydedilmiş olduğu belgelerle sunulacaktır. Bu tarih aynı zamanda ikinci taahhüt döneminin çalışmalarına başlanacak yıl olarak kabul edilmiştir. Protokolün uygulanmasına yönelik yapılacak ilk değerlendirme, Protokolün yürürlüğe girişini takip eden 2. Taraflar Konferansında yapılması kararlaştırılmıştır.

İklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının nereden ve nasıl meydana geldiğinin küresel etkiler açısından hiçbir önemi bulunmamaktadır. Zira, emisyon kaynaklarına ilişkin alınacak tedbirlerin mekansal bir önemi yoktur. Nihai hedef, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyon indiriminin en az maliyetle gerçekleştirilmesidir. Sera gazı emisyonlarının birim azaltım maliyeti ülkelere göre farklılık göstermektedir. Maliyetinin düşük olduğu ülkelerde indirimle gidilmesi daha ekonomik olacaktır. Esneklik mekanizmaları ile Ek-I ülkelerinin bu ucuz maliyetten yararlanmaları söz konusu olacaktır. Protokolde tanımlanan esneklik mekanizmaları ise şunlardır:

2.6.2.1 Emisyon Ticareti

Kyoto Protokolü'nün 17. Maddesi ile düzenlenmiş olan bu mekanizma, Ek-I ülkeleri arasında emisyon ticaretini mümkün kılmaktadır. Ek-I listesinde yer alan herhangi bir taraf ülke, Ek-B'de belirlenmiş olan emisyon azaltım miktarının bir bölümünün ticaretini yapabilir. Diğer bir ifadeyle taahhüt edilen emisyon miktarından daha fazla azaltım yapan taraf ülke, emisyonundaki bu ilave azaltımı bir başka Ek-I ülkesine satabilir.

2.6.2.2 Ortak Uygulama

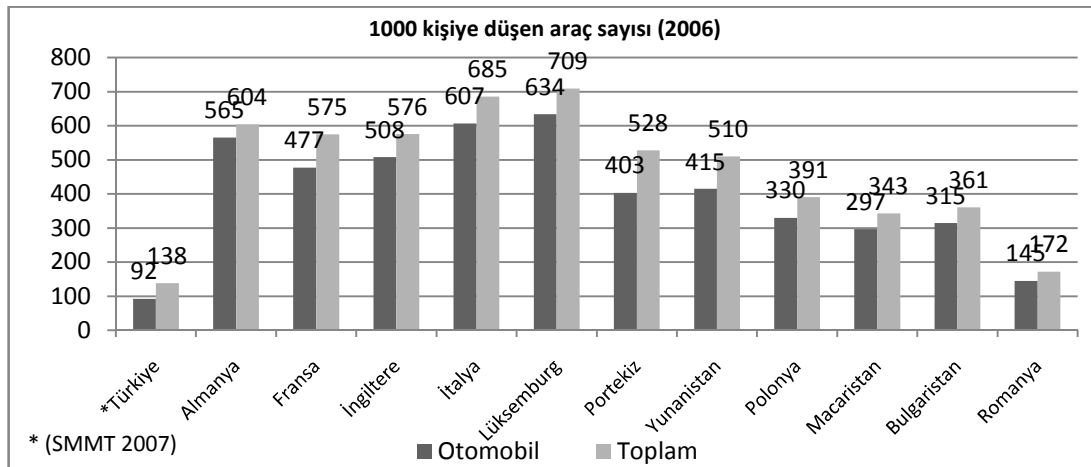
Protokolün 6. Maddesi ile düzenlenen bu mekanizma Ek-I ülkeleri arasında gerekli şartların sağlanması koşuluyla, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılmasını veya sera gazlarının yutaklar yoluyla uzaklaştırılmasını amaçlayan projelerden elde edilen "Emisyon Azaltma Kredisi" (Emission Reduction Unit) kazanır ve kazanılan bu krediler toplam hedeften düşölür.

2.6.2.3 Temiz Kalkınma Mekanizması

Ek-I ve Ek-I dışı ülkeler arasında uygulanacak olan bu mekanizma, Protokolün 12. Maddesi ile düzenlenmiştir. Bu mekanizma ile Ek-I Dışı ülkelerin sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda sera gazı azaltımına katkı sağlamaları amaçlanmaktadır. Ek-I'de yer alan tarafların emisyon azaltım taahhüdünü gerçekleştirmek için Ek-I dışı ülkelerde yapacakları proje faaliyetleri sonucunda "Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltım Kredisi" (Certified Emission Reductions) elde edeceklerdir. [21]

3. İSTANBUL'DA ULAŞTIRMA SİSTEMİ

Ülkemizin en büyük şehri olan ve Türkiye'deki mevcut sanayinin % 42'sinin, ticaretin % 20'sinin, hizmet sektörünün ise % 47'sinin bulunduğu, 15 milyona yaklaşan nüfusa sahip İstanbul ilinde ulaşım konusunda yaşanan sıkıntı ve zorluklar, kentte yaşayanları olumsuz yönde etkilemekte ve beraberinde ülkemiz açısından da çok ciddi boyutlara ulaşan ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Hiç kuşku yok ki İstanbul; dün ile bugünün, eski ile yeninin, geleneksel ile modernin, doğu ile batının rengini taşıyan; her anlamda yeryüzünün müstesna güzelliklerine sahip bir dünya şehridir. Ancak, bütün dünya metropolitan şehirlerinde olduğu gibi bir dünya kent olan İstanbul'da, ulaşım başta olmak üzere birçok sorunla boğuşmaktadır. Bu sorunlar dünün bugünün sorunu değil, yıllarca biriken ve kangrenleşen sorunlardır. İstanbul İli'nde 1960'lı yıllardan sonra başlayan iç göç nedeniyle meydana gelen nüfus artışı ve sanayi toplumuna doğru gelişen eğilim karşısında şehircilik açısından planlı bir döneme geçilememiş ve artan nüfusa ve her geçen gün büyüyen şehrin ihtiyaçlarına cevap verecek nitelikte imar planları yapılmış olsa da, ulaşım altyapı yatırımları yapılamamıştır. Bunun neticesinde, önlenemeyen plansız yapılaşmanın getirdiği ulaşım alt yapı yetersizlikleri başlangıçta çok fark edilmemekle birlikte, günümüzde özellikle toplu ulaşımında ağır bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.[23]



Şekil 3.1: Avrupa'da 1000 kişiye düşen otomobil ve toplam taşıt sayıları [25]

İstanbul’da kişi başına düşen araç sahipliliği oranı her geçen gün artmasına rağmen, bu oran halen gelişmiş ülkelerin standartlarının altındadır. Avrupa şehirlerinde bu oran 1000 kişi için ortalama 300–600 otomobil iken günümüzde bu oran İstanbul’da 150’nin üzerindedir. Özel araç sahipliğinin diğer ülkelere kıyasla düşük olması toplu taşıma araçlarına duyulan gereksinimi arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak İstanbul kent içi ulaşımındaki toplu taşıma payı gelişmiş metropoller ile karşılaştırıldığında hayli yüksektir. Araç sahiplilik oranının düşüklüğüne bağlı olarak toplu taşımaya duyulan ihtiyacın yüksek olması, geleceğe yönelik toplu ulaşım yatırımlarının gerçekleştirilmesinde ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının şekillenmesinde önemli bir faktördür. İstanbul Büyükşehir Belediyesi yatırımlarının %50’den fazlası ulaşımaya yönelik bulunmaktadır. Ulaşım yatırımlarının büyük bölümü ise raylı sistemlerdeki yeni projeler ve iyileştirmelerden oluşmaktadır[24]

Tablo 3.1: Gelişmiş metropollerde kent içi ulaşımındaki toplu taşıma payları[24]

Kentler	Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Toplu Taşımanın Yolcu-km Payı (%)	Raylı Sistemin Toplu Taşımadaki Yolcu- km Payı (%)	Toplu Taşımanın İş Yolculuklarındaki Payı (%)
New York	19,2	10,8	76,0	26,6
Paris	46,1	30,5	82,8	36,2
Londra	42,3	29,9	74,2	40,0
Toronto	41,5	23,6	55,1	30,1
Tokyo	71,0	63,6	96,1	48,9
Sydney	16,8	15,8	62,6	25,2
Hong Kong	300,5	82,3	43,4	74,0
Bangkok	149,3	33,3	0,4	30,0
Manila	198,0	66,7	6,2	54,2
İstanbul	101,2	73,9	5,7	50,4

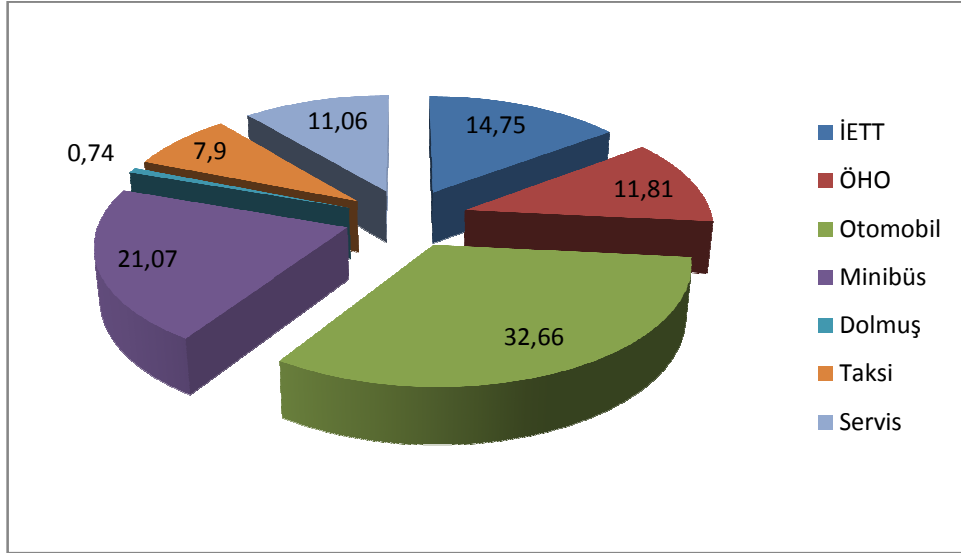
İstanbul’un kent içi ulaşımında karayolu sistemleri, %90,54’lük pay ile büyük bir ağırlığa sahiptir. Kentin üç tarafının denizlerle çevrilmiş olmasına rağmen, kent içi ulaşımındaki deniz ulaşımı sistemlerinin payı (%3,33) oldukça düşüktür. Benzer şekilde, kent içi ulaşımında %6,13’lük paya sahip olan raylı sistemlerin yetersiz kaldığı görülmektedir(Şekil 3.2) [24]



Şekil 3.2: Karayolu, demiryolu ve denizyolu sistemlerinin İstanbul kent içi ulaşımındaki payları[34]

3.1 Karayolu Ulaşımı

Karayolu ulaşımı türleri arasında yolculukların %32,66'lık bölümü özel araçlarla gerçekleştirilmektedir. Bunu %21,07 ile minibüsler, %14,75'lik oranla da İETT otobüsleri ile yapılan yolculuklar izlemektedir. Karayolu ulaşımı içerisindeki toplu taşımanın payı %59,5'tur.[34]



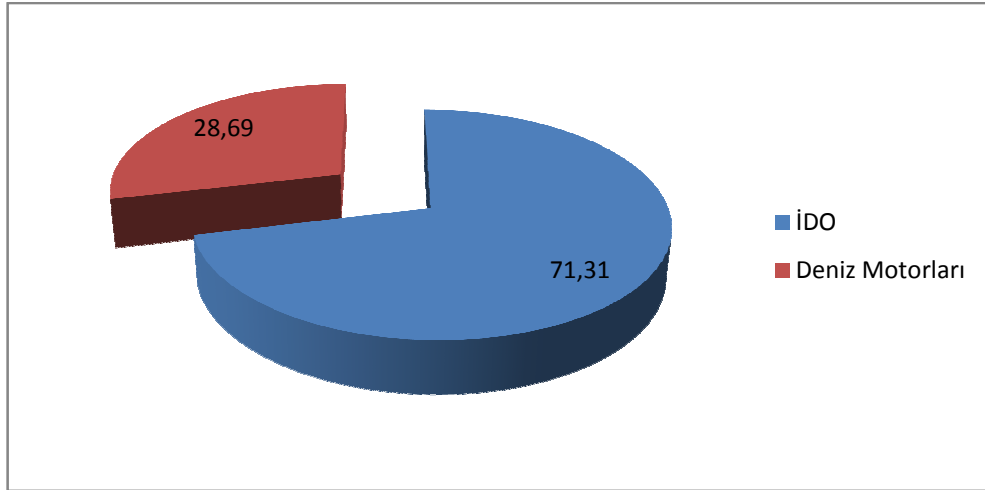
Şekil 3.3: İstanbul Karayolu Ulaşımı Yolculuk Payları [34]

İstanbul kent içi ulaşımında birden fazla kuruluşun söz sahibi olması ve buna bağlı koordinasyon problemleri ile ilgili olarak çalışmalar yapılmakta ve kent içi ulaşımında kombine sistemler giderek yaygınlaştırılmaktadır. İstanbul'da araç

sahipliliği oranındaki hızlı artış mevcut karayolu sistemlerini kapasite olarak zorlamakta, bu durum yeni karayolu ulaşım yatırımlarına ihtiyacı da beraberinde getirmektedir. Buna karşılık kent parçalı bir topoğrafik yapıya sahiptir. Ayrıca, kentin yoğun yerleşim alanlarında ihtiyaç duyulan karayolu ağı sistemleri yüksek istimplâk ve kamulaştırma giderlerini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından kentin engebeli coğrafyasının sağladığı avantajlar değerlendirilerek, karayollarında yaşanan trafik sıkışıklığına rahatlama sağlamak amacıyla karayolu kavşak ve tünel inşaatlarına ağırlık verilmektedir.[34]

3.2 Denizyolu Ulaşımı

İstanbul'da kent içi deniz ulaşımı 26 Mart 2005 tarihine kadar Türkiye Denizcilik İşletmeleri (TDİ), özel olarak işletilen deniz motorları ve İstanbul Büyükşehir Belediyesince işletilen deniz otobüsleri tarafından sağlanmaktaydı. Bu tarihten sonra TDİ'nin bu yetkiyi İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı İDO A.Ş.'ye (İstanbul Deniz Otobüsleri A.Ş.) devretmesiyle birlikte artık kent içi deniz ulaşımı İDO ve özel olarak işletilen deniz motorları tarafından sağlanmaktadır. İstanbul kent içi ulaşımında %3,3'lük paya sahip olan deniz ulaşımı (Şekil 3.3) içersindeki İDO toplam olarak %71,31'lik orana sahiptir(Şekil 3.4).[24]



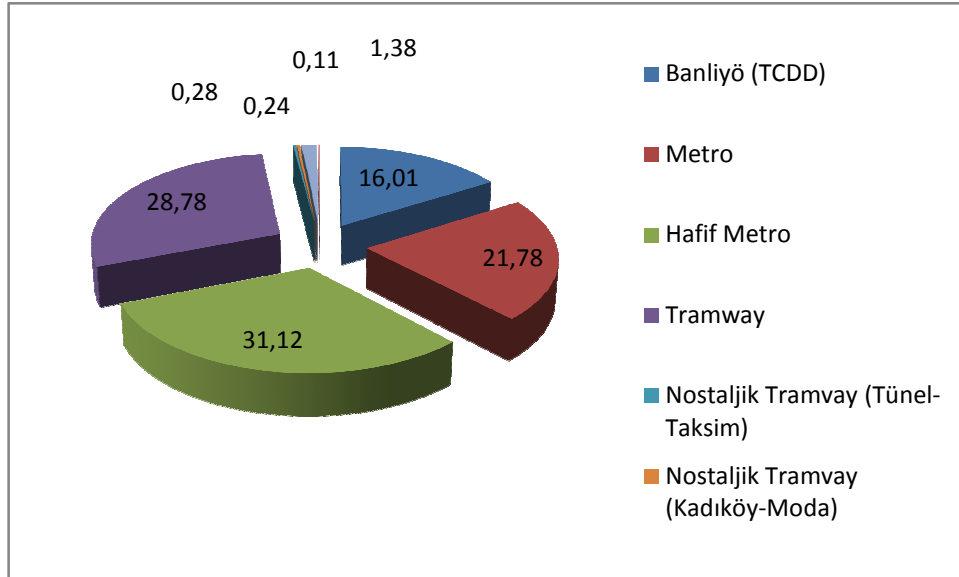
Şekil 3.4: İstanbul deniz ulaşımı yolculuk payları[34]

2005 yılı içersinde İDO toplam olarak 4.429.145 araç ve 56.516.921 yolcu taşıması yapmıştır. TDİ'den intikal eden ulaşım imkânlarının daha etkin ve verimli olarak kullanılması suretiyle, hem İDO'nun deniz ulaşımı içersindeki payı hem de deniz ulaşımının kentin genel ulaşımı içersindeki payı daha da artacaktır. İstanbul

Büyükşehir Belediyesinin hizmet alanındaki deniz ulaşım filosunun güçlendirilmesi ve kapasitesinin artırılması için yeni yatırımlar yapılmaktadır. Ayrıca şehir hatlarında kullanılmakta olan eski vapurların yenilenmesi, iskelelerin rehabilite edilmesi ve sayılarının artırılması doğrultusunda yoğun çalışmalar başlatılmıştır. Bu uygulamalarla deniz ulaşımının kent içi taşımacılıktaki payının artırılması hedeflenmektedir.[24]

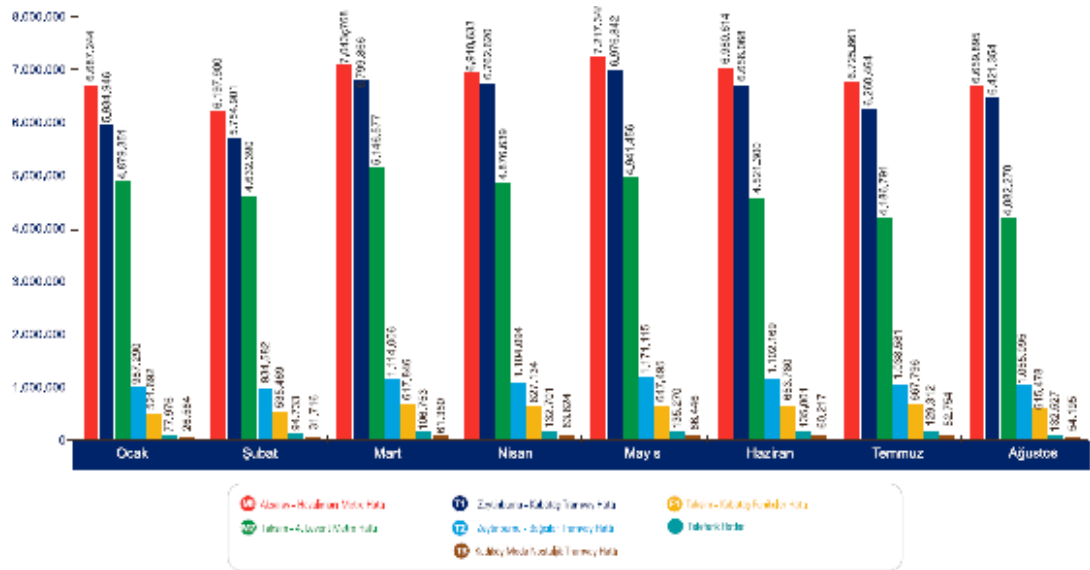
3.3 Demiryolu Ulaşımı

Raylı sistemlerle yapılan yolculukların %84'ünü metro ve tramvay yolculukları oluşturmaktadır(Şekil 3.5)



Şekil 3.5: İstanbul raylı sistem ulaşım payları

İstanbul Metropoliten Alanı'nın çok merkezli ve lineer yerleşim yapısı ve bu alanda görülen hızlı gelişme potansiyeli, ulaşım sorunlarının giderilmesinde mevcut raylı sistemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Raylı sistem hattının 72 km'si eski teknoloji ve verimsiz işletim sistemi ile merkezi yönetime (TCDD) bağlı olarak, 48 km'si modern teknoloji ve prodüktif işletim sistemi ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilmektedir. Gelişmiş metropollerdeki raylı sistemlerle kıyaslandığında, toplam 120 km mevcut raylı sistem hat uzunluğunun 300–350 km civarına yükseltilmesi gerektiği görülmektedir.[24]



Şekil 3.6: İstanbul raylı sistem toplam yolcu sayıları (Ocak-Ağustos 2007)[27]

İstanbul, coğrafi özellikleri ve tabii güzelliklerinin yanında, 2500 yılı aşan bilinen geçmişinin tarihi ve kültürel mirasını da barındırmaktadır. Kentin parçalı ve engebeli coğrafi yapısı ulaşım sorunun çözümünde bazı zorluklar oluşturmakla birlikte, birtakım farklı çözüm alternatiflerinin uygulanmasına da imkân sağlamaktadır. Sahip olunan kültürel eserlerin ve tarihi kent dokusunun korunması mecburiyeti, ulaşım sorununun çözümünde birtakım sınırlamalar getirmektedir. Bütün bunlar İstanbul'un ulaşım sorunun çözümünde raylı sistem, özellikle metro uygulamalarının diğer ulaşım türleri ile entegre edilmesinin önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır. İstanbul ile diğer dünya metropollerinin raylı sistemleri karşılaştırıldığında kentin, mevcut durumdaki raylı sistem altyapısının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, raylı sistem altyapısının geliştirilmesi kentin yaşam kalitesine önemli katkılar sağlayacaktır.[21]

Günümüz İstanbul’unda ulaşım ve trafik konusunda yaşanan zorluklar, kısıtlar ve tıkanıklıklar, kentsel hayatı ve kentlilerin yaşamsal faaliyetlerini olumsuz yönde etkilerken aynı zamanda çok büyük ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Bunun en temel nedenleri, etkin ve türler arası entegrasyonun sağlandığı bir toplu taşıma sisteminin henüz kurulamamış olması, mevcut ulaşım altyapısının yetersizliği ve kent içi ulaşımında özel araç kullanımının büyük bir paya sahip olmasıdır. [23]

İstanbul'un gelecek 10 yıllık süre içerisinde kültür ve ticaret merkezi olma yönünde değişim ve dönüşüm kaydedeceği öngörülmektedir. İstanbul nüfusu bu dönüşümle birlikte iç ve dış göç baskınları ile karşı karşıya kalacaktır. Doğal olarak nüfus ve ekonomide ortaya çıkacak büyüme trendleri, kentin büyümesine ve yatay olarak yayılmasına neden olacaktır. Özellikle uydu kent ve toplu konut tarzı açılımlar ile büyüme devam edecektir. Bu süreçte açılımların gerçekleştirildiği alanlarda yeterli yaşam merkezleri planlanmaması halinde şehrin mevcut merkezlerine iş, ticaret ve alışveriş ihtiyaçlarını gidermek için daha fazla nüfus gelecektir. Bu yatay hareket trafikte geçirilen zamanı ve mesafeleri uzatarak ulaşımında bu merkezlerle kent merkezleri arasında yeni ulaşım darboğazları oluşmasına neden olacaktır. Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde Türkiye'de beklenen olumlu ekonomik gelişmeler ve kişi başına düşen milli gelirdeki muhtemel artışlar, halkın refah düzeyini artıracığından, aile başına düşen araç sayısını ve dolayısı ile trafik sıkışıklığını da artıracaktır. Ulaşımında entegrasyonun sağlanamaması halinde artan bu eğilim yatırım ve kaynakları gelecekte daha da zorlayacak bir hal alacaktır. Etkin denetim sistemlerinin kurulması ihtiyacı artacak, denetim sisteminin etkin olmadığı alanlarda kişi başına düşen araç sayısındaki artışın yol açacağı ekstra trafik yükü (kural ihlalleri vb.) artmaya devam edecektir. Dünyanın değişik metropollerinde uygulamaları olan birçok değişik proje belli ölçülerde uygulamaya alınarak trafikte çeşitli rahatlamalar yaratılması beklenebilir. Bununla birlikte bütünsel taşımacılık yaklaşımı, kentsel planlama ve çevre ile olan etkileşimlere duyarlı çözümlere yönelmenin, daha kalıcı ve rahatlatıcı olacağı düşünülmektedir. Ulaşım ve taşımacılık alanlarına özel sektörün daha fazla kaynak ayırması, uygulamaların daha kolay devreye sokulmasıyla bu alanlardaki süreçlerde hızlanma beklenmektedir. Ayrıca, özel sektörün, sivil toplum kuruluşlarının, üniversitelerin ve profesyonellerin bir bütün olarak oluşturdukları planların ve uygulamaların yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir[24]

4. MARMARAY PROJESİ VE PROJENİN SERA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİNİN HESAP METODU

4.1 Marmaray Projesinin Genel Tanıtımı

İstanbul’da, kentlilere hızlı, ekonomik ve özel araç konforunda hizmet verecek etkin bir toplu taşıma sisteminin en önemli adımlarından birisi ve hatta en önemlisi olan Marmaray Projesi İstanbul toplu taşıma sisteminin omurgasını oluşturmak üzere; yukarıda bahsedilen problemlerin çözümü ve Asya ile Avrupa yakalarını demiryolu ile bağlamak için önerilmiş bir projedir.

Proje kapsamında, İstanbul Boğazının her iki yakasındaki demiryolu banliyö hatları, İstanbul Boğazı’nın altından geçecek bir demiryolu tüneli ile birbirine bağlanacaktır. Hat, Kazlıçeşme istasyonunu geçtikten sonra yeraltına girecek olup, Yedikule, Yenikapı ve Sirkeci boyunca ilerleyecek, İstanbul Boğazının altından geçerek Üsküdar’a bağlanacak ve Söğütluçeşme’de tekrar yüzeye çıkacaktır. Böylece, Avrupa yakasında Halkalı ile Asya yakasında Gebze arasında kesintisiz, modern ve yüksek kapasiteli bir demiryolu sistemi kurulmuş olacaktır(Şekil 4.1).[23]



Şekil 4.1: Marmaray Projesi[26]

İstanbul Boğazı'nın deniz tabanındaki batırma tünelin uzunluğu, batırma tünel ile delme tüneller arasındaki bağlantılar dahil olmak üzere, yaklaşık 1.4 kilometre olacaktır. Tünel, İstanbul Boğazı'nın altındaki iki hatlı demiryolu geçişinde hayati bir bağlantıyı oluşturacaktır; bu tünel, İstanbul'un Avrupa yakasında bulunan Eminönü ilçesi ile Asya yakasında bulunan Üsküdar ilçesi arasında yer alacaktır. Her iki

demiryolu hattı, aynı binoküler tünel elemanları dahilinde uzanacak ve birbirinden merkezi bir ayırma duvarı ile ayrılacaktır (Şekil 4.2).[26]



Şekil 4.2: Marmaray Tüp Boğaz Tüp Geçidi Kesit Şeması[23]

Hat üzerinde minimum kurp yarıçapı 300 metre, maksimum düşey hat eğimi ana hat yolcu ve yük trenlerinin çalışmasına elverişli olacak şekilde % 1.8 olarak öngörülmüştür. Proje hızı 100 km/saat olarak planlanırken, işletmede ulaşılabilecek ortalama hızı ise 45 km/saat olarak tahmin edilmektedir. İstasyonların platform uzunluğu ise 10 araçtan oluşan metro dizisinin yolcu indirme ve bindirmesine uygun olacak şekilde 225 metre olarak projelendirilmektedir.[23]

Asya yakasında 43.4 km, Avrupa yakasında ise 19,6 km mevcut banliyö hatlarının iyileştirilmesi ve yüzeysel metroya dönüştürülmesi isini kapsayan 2. kısımda toplam 36 istasyon yenilenerek modern istasyonlar haline getirilecektir. İstasyonlar arası ortalama mesafe 1 – 1,5 km olarak planlanmaktadır. Mevcutta iki olan hat sayısı üçe çıkarılacaktır ve sistem T1, T2 ve T3 olmak üzere 3 hattan oluşacaktır. T1 ve T2 hatlarında Banliyö (CR) Trenleri çalışacak, T3 hattı ise TCDD şehirlerarası yük ve yolcu trenleri tarafından kullanılacaktır. [23]

Halkalı'dan Gebze'ye bir yolculuk, Sirkeci'den Haydarpaşa'ya feribotla geçiş dahil olmak üzere, tipik koşullar altında 185 dakika sürmektedir. İyileştirilmiş banliyö demiryolu sistemi hizmete açıldığında, bu yolculuk 105 dakika sürecektir. Bir başka ifadeyle yolcular, bu yolculuktan 80 dakika kazanacaklardır.[23]

Yukarıda belirtilen durum dahil olmak üzere, yolculuk süresi ile ilgili diğer örnekler, aşağıda liste halinde sunulmuştur:

- Gebze ve Halkalı arası 105 dakika
- Bostancı ve Bakırköy arası 37 dakika
- Söğütlüçeşme ve Yenikapı arası 12 dakika
- Üsküdar ve Sirkeci arası 4 dakika

Sistemin hizmete açılacağı yılda, zamandan elde edilecek toplam tasarrufun yaklaşık 13 milyon saat olacağı hesaplanmıştır; 2015 yılı itibariyle elde edilecek olan toplam zaman tasarrufu, yaklaşık 25 milyon saat olacak ve sistemlerin kapasitesi tamamen kullanılabilir hale geldiğinde, elde edilecek zaman tasarrufu yılda yaklaşık 36 milyon saat veya tüm dünya genelinde her gün insanlar tarafından kazanılan yaklaşık 100.000 saat (11.4 yıl) olacaktır.[26]

4.2 Marmaray Raylı Sistemine Entegre Edilecek Sistemler

Ayrıca; Yenikapı’da İstanbul Metrosu, Yenikapı-Aksaray-Havaalanı ve Yenikapı-Esenler-Bağcılar hafif raylı sistemleri ile Sirkeci’de Eminönü-Zeytinburnu tramvayı ile, Küçükçekmece’de Bakırköy-Avcılar-Beylikdüzü raylı sistemi ile, Kadıköy’de Kadıköy-Kartal raylı sistemi ile ve Üsküdar’da Üsküdar-Ümraniye hatları ile Marmaray Projesinin entegrasyonu sağlanacaktır (Tablo 4.1). Böylece saatte tek yönde 10.000 yolcu kapasiteli mevcut banliyö hattının, diğer raylı sistemler ile entegrasyonu sağlanarak saatte tek yönde 75.000 yolcu taşıyabilecek konforlu, modern ve güvenli bir banliyö sistemine dönüştürülmüş olacaktır. [23]

Proje kapsamında, mevcut durumda iki olan hat sayısı üçe çıkarılarak, metro sistemine dönüştürülüp, 3. hat TCDD’nin şehirlerarası ve yük trenlerine ayrılacaktır. Projenin, Avrupa yakasında Atatürk Havaalanı ile Anadolu yakasında Sabiha Gökçen Havaalanına bağlanması konusunda fizibilite çalışmaları tamamlanmıştır.[23]

Tablo 4.1: Marmaray Projesi ile entegre edilecek raylı sistemler[26]

Marmaray Projesi İstasyonlar	Bağlanan Demiryolu Sistemi Hattı
Yenikapı	Metro Sistemi (Yenikapı-Taksim-Şişli -4.Levent-Ayazağa)
Yenikapı	Yenikapı Ayazağa Metrosunun bir uzantısı olan metro sistemi (Yenikapı-Bağcılar-Mahmutbey-İkitelli)
Yenikapı	(HRS) hafif raylı ulaşım sistemi (Yenikapı-Otogar-Yenibosna-Atatürk Havalimanı)
Yenikapı	(HRS) hafif raylı ulaşım sistemi (Yenikapı-Otogar-Bağcılar)
İbrahimağa	Metro Sistemi (Kadıköy-Kartal)
Üsküdar	Metro Sistemi (Üsküdar-Ümraniye)
Küçükçekmece	Metro Sistemi (Bakırköy-Avcılar-Beylikdüzü)
Sirkeci	Tramvay sistemi (Kabataş-Eminönü-Zeytinburnu)

4.3 Marmaray Projesinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisinin Hesap Metodu

İnsan kaynaklı sera gazı emisyonları sorununun çözülebilmesi amacıyla, 1996 yılında emisyon hedeflerini gerçekleştirmek isteyen sözleşmeye taraf olan ülkelere yardımcı olunabilmesi için IPCC kılavuzu tekrar düzenlenerek oluşturulmuştur. Üç kitaptan oluşan bu kılavuzun ilki ulusal envanter için veri toplama, değerlendirme ve raporlama aşamalarını anlatırken, ikincisi hesaplamalar ve bu hesaplarda kullanılacak verileri içeren tablolardan oluşmaktadır. Üçüncü ve son kitap ise ülkelerin hesaplamalarda kullanabileceği ortalama değerleri içermektedir. [35]

Enerji, endüstriyel süreçler, tarım ve atıklar gibi ana başlıklardan oluşan IPCC kılavuzundan, bu çalışma kapsamında, mobil kaynakların neden olduğu emisyonların hesabında yararlanılmak üzere, enerji ana başlığından faydalanılmıştır. Özellikle ulaştırma sektöründeki fosil yakıtların yanması sonucu oluşan emisyonlar hesaplanmış, bu yakıtların değişik ulaşım kaynaklarında değişik koşullar altında neden olduğu emisyon miktarları karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak doğrudan ve dolaylı sera gazı özelliği taşıyan CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC ve SO₂ emisyonlarının hesabı yapılmıştır. Doğrudan yakıtın

yakılmasıyla ilişkili olan ve bu nedenle de yakıtın yanma verimini gösteren CO₂ emisyonu hesaplanırken de, CH₄, N₂O, NO_x, CO ve NMVOC gibi emisyon değerleri yanma koşulları ve teknolojisi, emisyon standartları ve yakıt karakteristikleri gibi faktörlere bağlı olan diğer emisyonlarının hesabında da TIER kavramları kullanılmıştır. Farklı ülkelerce hazırlanan Sera Gazları Emisyonu Ulusal Bildirimlerin değerlendirilmesine temel oluşturmak amacıyla tek bir formatta sunum yapılması için geliştirilen TIER kavramları bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

4.3.1 Tier Yaklaşımları

2006 IPCC raporunda fosil yakıtlarının yanmasından kaynaklı emisyonların hesaplanmasında üç adet TIER yaklaşımı sunulmuştur. Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 olarak adlandırılan bu yaklaşımlardan Tier 1 yöntemi az veri kullanılan diğer yaklaşımlara göre daha basit bir yöntemdir. Tier seviyesi arttıkça kullanılan veri sayısı ve ayrıntı artmaktadır.

4.3.1.1 Tier 1 Yaklaşımı

Tier 1 metodu yakıt tüketimini baz almaktadır. Bu hesap metodunda yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar, tüketilen yakıt miktarı ve yakıt tipine bağlı emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır. Temel olarak ne kadar yakıt tüketiliyorsa o kadar emisyon çıkacağı mantığına dayanmaktadır. Tier 1 yaklaşımı genelde yeterli verinin olmadığı durumlarda başvurulmuş bir yöntemdir. [22]

$$\Sigma \text{Emisyon} = \Sigma [\text{Yakıt}_{ab} \times \text{EF}_{ab}] \quad (4.1)$$

Emisyon : Emisyon miktarı (kg)

Yakıt : Enerji değeri cinsinden yakıt tüketimi (Tj)

EF : Emisyon Faktörü (kg/Tj)

a : yakıt tipi (benzin, dizel, lpg gibi)

b : sektör faaliyeti (Karayolu, denizyolu, havayolu gibi)

Hesap yöntemi basamakları şu şekildedir:

Adım 1. Tüketilen yakıt miktarı, yakıt tipi ve harcandığı sektör faaliyetine göre, enerji cinsinden (Tj) hesaplanır.

Adım 2. Yakıt tipi ve sektör faaliyetine göre seçilen emisyon faktörü ile 1. adımda hesaplanan enerji cinsinden toplam yakıt tüketim değeri ile çarpılarak o gaza ait emisyon miktarı hesaplanır.

Adım 3. Tüm yakıt türlerine göre hesaplanan her gazın emisyon değerleri ayrı ayrı toplanarak, toplam emisyon miktarına ulaşılır.[22]

Yanma sonrasında, yakıt içindeki karbonun çoğu CO₂ olarak salınmaktadır. Küçük bir kısım karbon da karbon monoksit (CO) , metan (CH₄), ve metan olmayan uçucu organik bileşikler (NMVOC) olarak tepkimeden çıkmaktadır. Bu bileşiklerin çoğu atmosferde kendiliğinden oksitlenerek CO₂ oluştururlar. Yakıtların yanması sonucu oluşan karbondioksit dışı gazlar, CO₂ emisyonuyla karşılaştırıldığında çok küçük miktardadırlar. Bu nedenle Tier 1 yöntemi diğer yöntemlere göre az veri içermesine ve daha basit olmasına karşın, CO₂ hesaplamalarında sağlıklı sonuçla elde edilebilmektedir.[22]

4.3.1.2 Tier 2/3 Yaklaşımı

Marmaray raylı taşıma sisteminin ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarına etkisini incelemek amacıyla kullandığımız Tier 2/3 yaklaşımında ise yakıt tüketimi yerine taşıtın yapmış olduğu aktivite hesaba katılmaktadır. Diğerlerine göre daha ayrıntılı bir hesap yöntemi olan Tier 2/3 yaklaşımı, daha fazla veri gereksinimine karşın özellikle CO₂ dışındaki gazların emisyonlarında daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Tier 2/3 yaklaşımında emisyon faktörleri, ülkeye göre farklılık gösterebilecek yakıt türleri, taşıtın emisyon kontrolü teknolojisi, sektör faaliyeti gibi özelliklere göre daha spesifik olarak seçilmektedir.[22]

$$\Sigma \text{Emisyon} = \Sigma [\text{Aktivite}_{abc} \times \text{EF}_{abc}] \quad (4.2)$$

Emisyon : Emisyon miktarı (g)

Aktivite : Taşıtın kat ettiği yol (km)

EF : Emisyon faktörü (g/km)

a : yakıt tipi (Benzin, dizel, lpg gibi)

b : taşıt tipi

c : emisyon kontrol teknolojisi (kontROLSÜZ, 15.04, Euro I, Euro III gibi)

Tier 2/3 yaklaşımının hesap yöntemi adımları şu şekildedir:

Adım 1. Taşıtlar türlerine göre ayrılarak (otomobil, otobüs, minibüs gibi) kullandıkları yakıt türü (Benzin, Dizel, LPG gibi) ve emisyon kontrolü teknolojisine (Kontrolsüz, 15.04, Euro I, Euro III gibi) göre sınıflandırılır.

Adım 2. Taştın tipi, kullandığı yakıt türü, emisyon kontrol teknolojisi ve hesaplanacak emisyon gazına göre emisyon faktörü belirlenir.

Adım 3. Taşıtların aktivitesi yaptığı km olarak belirlenir.

Adım 4. Taşıtların sayısı, yaptığı km ve emisyon faktörü çarpılarak o gaza ait emisyon miktarı bulunur.

Adım 5. Belirtilen kriterlere göre sınıflandırılan taşıtlardan kaynaklı, aynı gaza ait diğer veriler toplanarak, o gazın toplam emisyon değeri hesaplanır.

4.3.2 Hesaplamalarda Kullanılan Emisyon Faktörleri

Bu çalışmada araç özelliklerinin Türkiye'deki taşıtlar parkına benzerliğinden ötürü Avrupa emisyon yaklaşımı kullanılmıştır. Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş olan COPERT modeli ile elde edilen emisyon faktörlerinden yararlanılarak, Marmaray projesinin emisyonların azaltılmasına olan katkısını belirlemek amacıyla öncelikle Türkiye ve İstanbul taşıtlar parklarını oluşturan değişik türdeki araçların yüzdeleri karşılaştırılmış ve İstanbul taşıtlar parkı özelliklerinin kullanılması daha uygun bulunmuştur. Daha sonra da geliştirilen değişik senaryolar ışığında bu katkının gösterdiği değişimler karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir. Burada unutulmaması gereken nokta Marmaray projesinin katkısı incelenirken insanların kendi araçları yerine Marmaray hattını tercih edebilecekleri türdeki araçların emisyonların azaltılmasına olan katkısının dikkate alındığıdır. Bir başka deyişle İstanbul araç parkı içinde bulunan bir traktör veya kamyonun etkisi dikkate alınmamıştır. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 bu hesaplamalarda kullanılan değişik emisyon standardı ve yakıt tipindeki araç türlerinin, g/km ve g/MJ cinsinden emisyon faktörlerini göstermektedir.

Tablo 4.2: Yakıt türleri ve emisyon kontrol teknolojilerine göre otomobil emisyon faktörleri[36]

		Otomobil					
		Otomobil (Benzinli)				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		KontROLSÜZ	ECE 15,04	EURO I	EURO III		
Ortalama Yakıt Tüketimi (l/100km)		11,2	8,3	8,3	8,5	7,3	11,2
Emisyon Faktörü (g/km)	CO ₂	270	200	205	205	190	180
	NO _x	2,2	2,3	0,5	0,5	0,7	2,2
	CH ₄	0,07	0,07	0,02	0,02	0,005	0,06
	NMVOC	5,3	4,5	0,5	0,5	0,2	1,5
	CO	46	19	2,9	2,9	0,7	7,1
	N ₂ O	0,005	0,005	0,05	0,05	0,01	0
Emisyon Faktörü (g/MJ)	CO ₂	73	73	73	73	74	65
	NO _x	0,6	0,8	0,12	0,12	0,3	0,9
	CH ₄	0,02	0,03	0,007	0,007	0,002	0,02
	NMVOC	1,5	1,7	0,2	0,2	0,07	0,6
	CO	13	6,9	1	1	0,3	2,6
	N ₂ O	0,001	0,002	0,02	0,02	0,004	0

Tablo 4.3: Otobüs, minibüs ve motosiklet emisyon faktörleri [36]

		Otobüs	Minibüs	Motosiklet
		Ağır Dizel	Hafif Dizel	Benzinli
Ortalama Yakıt Tüketimi (l/100km)		10,9	29,9	
Emisyon Faktörü (g/km)	CO ₂	770	280	95
	NO _x	10	1,4	0,08
	CH ₄	0,06	0,005	0,15
	NMVOC	1,9	0,4	16
	CO	9	1,6	22
	N ₂ O	0,03	0,02	0,002
Emisyon Faktörü (g/MJ)	CO ₂	74	74	-
	NO _x	1	0,4	-
	CH ₄	0,006	0,001	-
	NMVOC	0,2	0,1	-
	CO	0,9	0,4	-
	N ₂ O	0,003	0,004	-

5. MARMARAY PROJESİNİN ULAŞTIRMA KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ

Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntem bu hattın kullanacak yolcuların Marmaray'ı değil de normalde kullandıkları araçları tercih etmeleri durumunda neden olacakları sera gazı emisyonları miktarının, aslında bu hattın sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik olan etkisi olduğu prensibine dayanmaktadır. Hesaplamalarda Tier2/3 yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre emisyonlar;

$$\Sigma \text{Emisyon} = \Sigma [\text{Aktivite}_{abc} \times \text{EF}_{abc}]$$

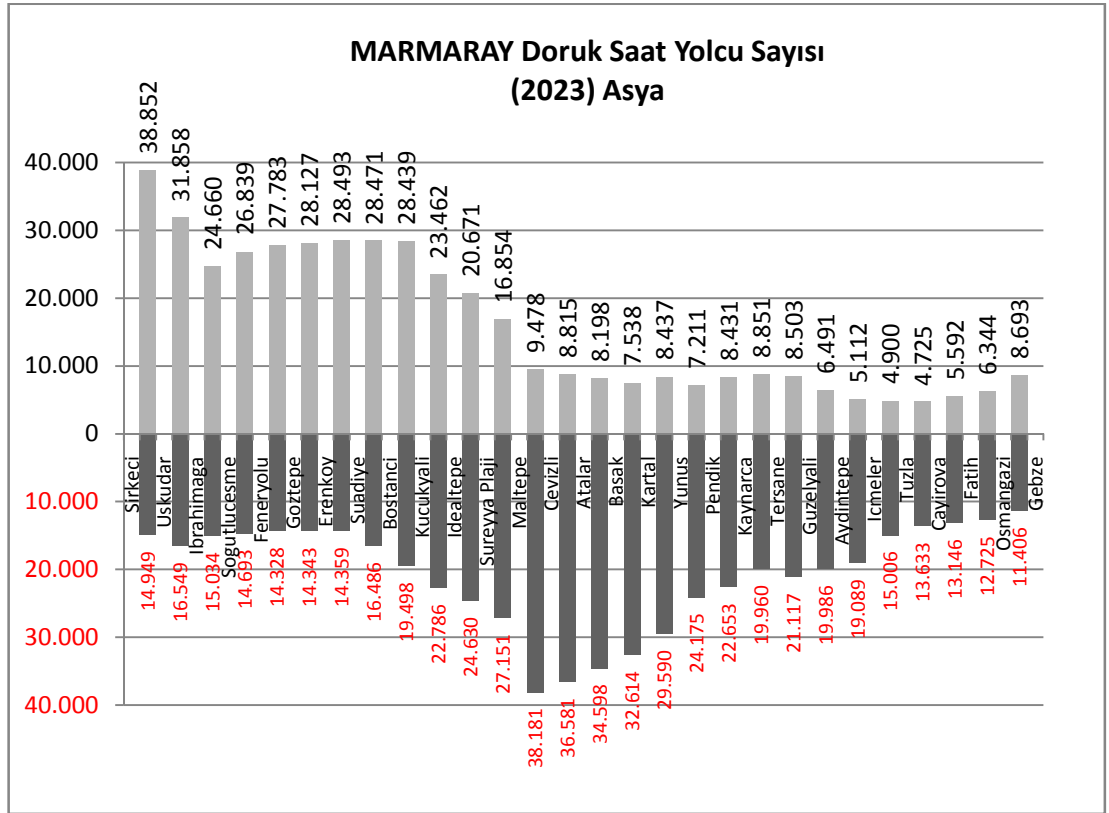
Denklemine göre hesaplanmıştır. Marmaray raylı sistemi her iki durak arası bir bölge olmak üzere toplam 40 bölgeye ayrılmış ve her bölge ayrı ayrı incelenmiştir. Yıllık aktivitenin ($\text{Aktivite}[\text{km}] = \text{toplam taşıt/yıl} \times \text{yolculuk uzunluğu} [\text{km}]$) belirlenmesi için öncelikle ayrılan her bölüm için doruk saat yolcu sayısının öngörüsü kullanılarak, hattın saatlik kullanım kapasitesi senaryosuna göre iş günü ve tatil günü yolcu trafiği hesaplanmış, buradan da yıllık yolcu sayısı öngörüsü yapılmıştır. Taşıt sayısının hesaplanması için öncelikle İstanbul trafiğindeki taşıt doluluk sayılarını sembolize eden senaryolar oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra taşıt sayısı iki farklı veri kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapılan ilk hesaplamada, İstanbul taşıt parkındaki taşıt dağılımı verilerine ve taşıt doluluk sayılarına göre yolcular taşıtlara dağıtılarak taşıt sayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan taşıtlar yakıt türleri, emisyon kontrol teknolojileri gibi özelliklerine göre sınıflandırılarak her kategorideki taşıt sayısı hesabı yapılmıştır. Daha sonra hattın ayrılan her bir bölümünde bu taşıtların gideceği yol uzunlukları bulunmuştur. Taşıtların sayıları ile yolculuk uzunlukları çarpılarak taşıt aktiviteleri bulunmuş, ardından bulunan taşıt aktivitesi ile ilgili emisyon faktörünün çarpımı sonucu her bölüme ait ayrı ayrı emisyon değerleri hesaplanmıştır. Son olarak 40 farklı bölümde hesaplanan emisyon değerleri her sera gazı için toplanarak hattın neden olacağı yıllık emisyon kazancı değerleri bulunmuştur.

Yapılan ikinci hesaplamada, taşıt sayısı İstanbul kent içi karayolu ulaşımında yolculukların türlere göre dağılımı verileri ve ilk hesapta kullanılan taşıt doluluk sayıları kullanılarak hesaplanmıştır. Ardından ilk hesaplama yöntemindeki adımlar tekrarlanarak hattın ayrılan her bölümüne ve hattın tamamına ait emisyon değerleri hesaplanmıştır.

5.1 Yıllık Yolcu Sayısının Hesaplanması

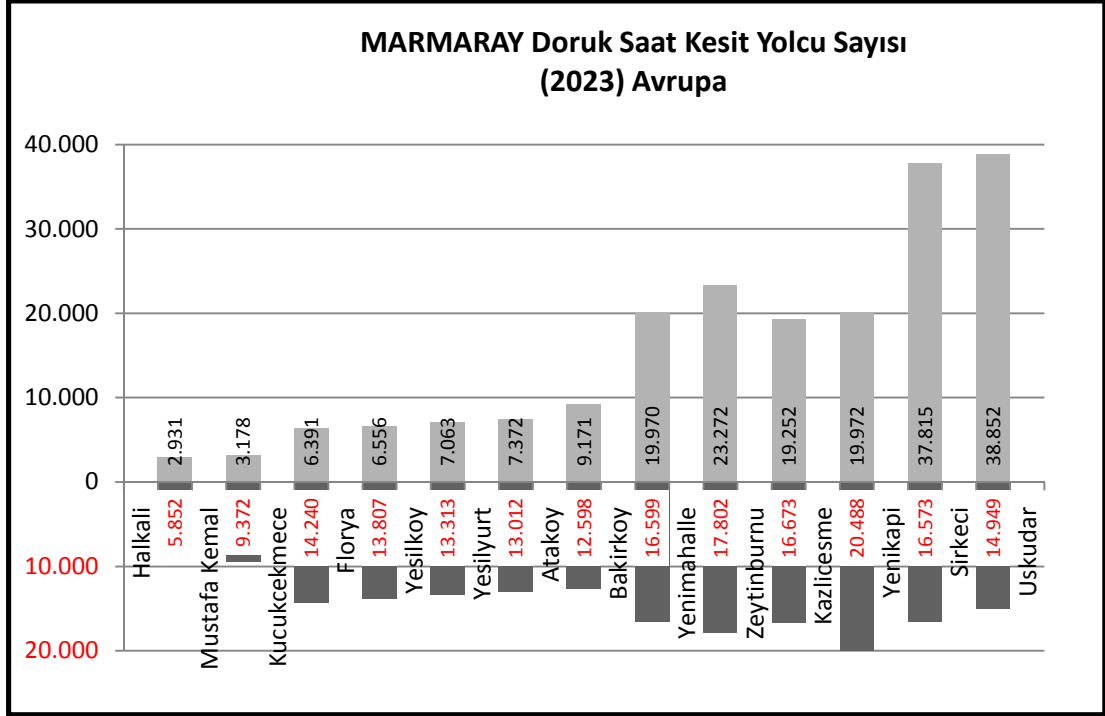
Hesaplamanın ilk basamağını yolcu sayısı hesapları oluşturmaktadır. Yolcu sayısı hesabında DLH ve JBIC 'nın hazırlamış olduğu, Marmaray 2023 yılı doruk saat kesit yolcu trafik öngörüsü değerleri temel alınmıştır. Şekil 5.1 Anadolu yakasına ait, Şekil 5.2 Avrupa Yakasına ait Marmaray raylı sisteminin yolcu trafik öngörüsünü göstermektedir.



Şekil 5.1: 2023 yılı Asya Yakası Doruk Saat Yolcu Trafikleri[37]

Grafikler sabah doruk saatlerindeki iki durak arası saatlik yolcu sayılarını göstermektedir. Grafğin alt kısmı Avrupa – Anadolu yönünü, üst kısmı ise Anadolu - Avrupa yönünü temsil etmektedir. Şekil 5.1’de görüleceği üzere Üsküdar – Sirkeci

yönünde (Anadolu yakasından Avrupa yakasına) sabah doruk saatlerde, saatteki yolcu trafiği öngörüsü 38852 yolcu/doruk saat olarak görülmektedir.



Şekil 5.2: 2023 yılı Avrupa Yakası Doruk Saat Yolcu Trafikleri[37]

Ayrıca grafiklerden sabah doruk saatlerde hattın Anadolu yakasındaki ucu olan Gebze istasyonundan Avrupa yakasına doğru, hattın Avrupa yakasındaki ucu olan Halkalı istasyonundan da Anadolu yakasına doğru yolcu trafiğinin arttığı gözlenmektedir. Bunun sonucu olarak da en yüksek yolcu trafiğinin Yenikapı-Sirkeci istasyonları arasında olacağı öngörülmüştür.[37]

Öngörülen doruk saat kesit trafiklerinden günlük yolcu sayısına geçilmesi için, hattın saatlere bağlı kullanım yüzdelerinden yararlanılmıştır. Marmaray raylı sisteminin öngörülen saatlere bağlı kullanım yüzdeleri Tablo 5.1 'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Marmaray saatlere bağlı kullanım yüzdeleri [28]

Hizmet Düzeyleri	İşletim Saatleri	Yolcu Talebi
Başlangıç	05.00-06.00	-
Sabah doruk işletme aralığı	06.00-09.00	Doruk
Gün ortası işletme aralığı	09.00-16.00	Doruk olmayan (%50)
Akşam doruk işletme aralığı	16.00-19.00	Doruk
Gece saatleri işletme aralığı	19.00-23.00	Doruk olmayan (%30)
Kapanış	23.00-24.00	-

Marmaray hattında öngörülen doluluk sayılarına bakıldığında, sabah ve akşam iş giriş-çıkış saatlerine karşılık gelen 06.00-16.00, 16.00-19.00 saatleri arasında yolcu talebi en üst seviyededir. 09.00-16.00 saatleri arasındaki gün ortası işletmesinde talebin %50 ye düşeceği, 19.00-23.00 saatleri arasındaki gece saatleri işletmesinde ise talebin %30 a düşeceği öngörülmüştür. [28]

Öngörülen saatlere bağlı doluluk sayıları ve doruk saatlerdeki saatlik kesit yolcu sayıları kullanılarak günlük yolcu sayıları hesaplanmıştır. Örnek olarak Gebze-Osmangazi hattındaki günlük yolcu sayısını hesaplanması şu şekilde yapılmıştır.

Tablo 5.2: Gebze-Osmangazi güzergahının işletme saatlerine bağlı, saatlik yolcu trafiği

	Gidiş/Geliş Kesit Yolcu Sayısı [Yolcu _{yön} /Saat]	Doruk Saat Sabah 06.00- 09.00 [Yolcu/Saat]	Gün Ortası 09.00-16.00 - 50% [Yolcu/Saat]	Doruk Saat Akşam 16.00-19.00 [Yolcu/Saat]	Gece İşletmesi 19.00-23.00 - 30% [Yolcu/Saat]
Gebze-Osmangazi	3.866	9.640	4.820	9.640	2.892
Osmangazi-Gebze	5.774				

Anadolu-Avrupa yönündeki ve Avrupa-Anadolu yönündeki doruk saatlerdeki kesit trafiğindeki yolcu sayıları toplanarak kesitteki saatteki yolcu sayısı bulunmuş, bu sayı %100 kabul edilerek gün içi kullanım taleplerine göre yüzdelerle çarpılması sonucu gün ortası işletmesi ve gece işletmesindeki saatlik yolcu sayıları hesaplanmıştır. Ardından hesaplanan bu değerler kullanım saatleriyle çarpılarak (Doruk saat kullanımı sabah ve akşam olmak üzere toplam 6 saat, gün ortası işletmesi 7 saat, gece işletmesi 4 saat) günlük yolcu sayılarına ulaşılmıştır. Bulunan bu değerler iş günlerindeki trafiği temsil etmektedir.

Tablo 5.3: Taksim-4.Levent Metrosu'na ait iş günleri ve Pazar günleri aylık yolcu sayıları (2007) [27]

Taksim - 4. Levent Metrosu							
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	6 aylık Ortalama
İş günü	171.106	185.321	184.564	184.046	173.190	167.494	177.620
Pazar	81.638	90.467	78.838	83.803	90.761	88.095	85.600
Yüzde	0,48	0,49	0,43	0,46	0,52	0,53	0,48

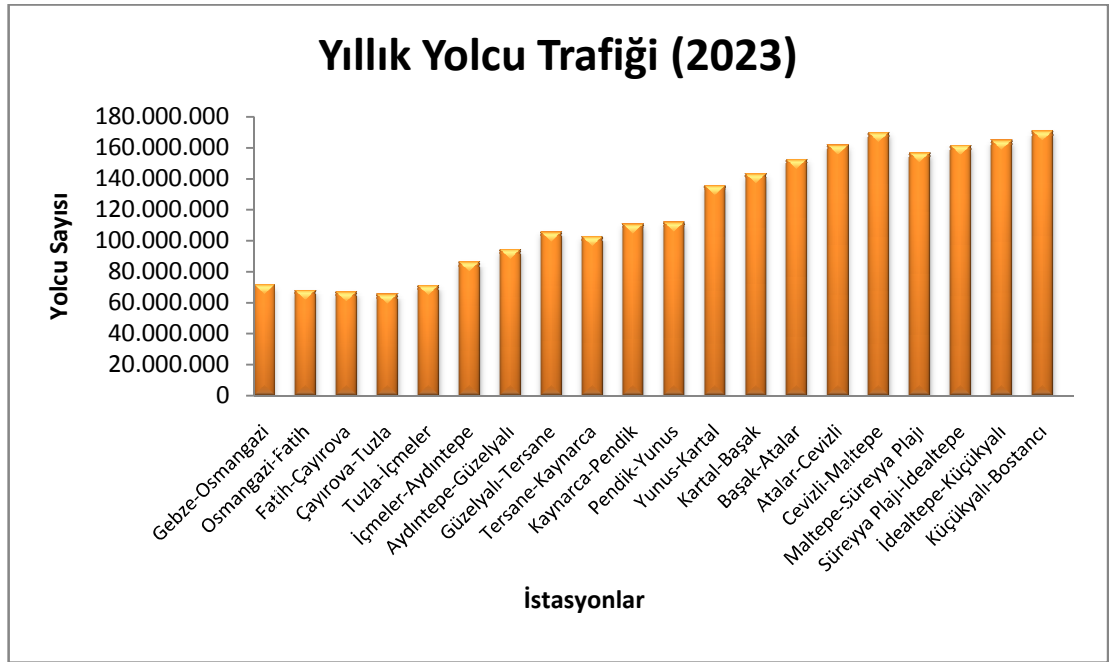
Pazar ve tatil günleri için farklı bir yaklaşım kullanılmıştır. Taksim – 4.Levent Metrosuna ait 6 aylık yolcu verileri kullanılarak, Pazar ve tatil günlerindeki hattı taşınan yolcu sayısının, iş günlerinde taşınan yolcu sayısına oranı hesaplanmıştır.

Marmaray’da da bu tip bir dağılım olacağı düşünülerek pazar ve tatil günlerinde, iş günlerindeki yolcu trafiklerinin %50 oranında düşeceği kabul edilmiştir.

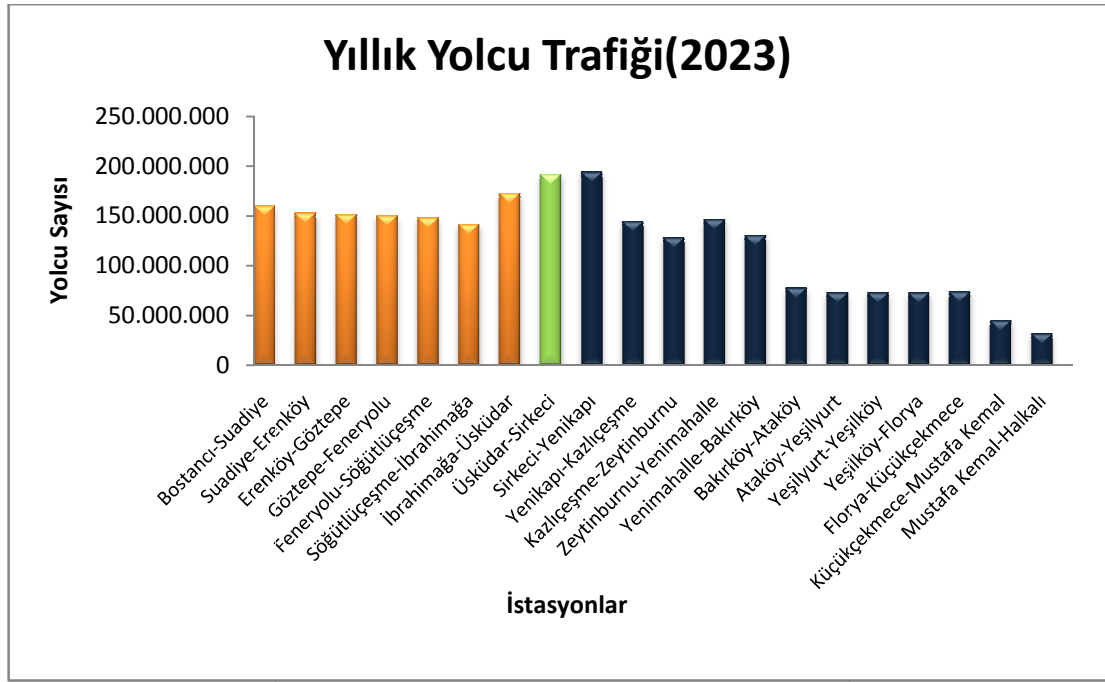
Tablo5.4: Gebze-Osmangazi güzergahı yolcu trafikleri

	Pazartesi- Cumartesi Günlük Yolcu Trafiği	Pazar Günlük Yolcu Trafiği (%50)	Yıllık Yolcu Trafiği
Gebze-Osmangazi	215.059	107.530	71.614.747

Yıllık toplam iş günü (Pazartesi – Cumartesi) 301 gün, Pazar ve tatil günleri 64 gün olarak hesaplara dahil edilmiştir. Yıllık iş günü, Pazar ve tatil günleri sayıları ile bu günlere ait yolcu sayısı değerleri çarpılarak o kesitteki yıllık yolcu trafiği hesaplanmıştır. Marmaray hattındaki yıllık yolcu öngörüsü Şekil 5.3 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Gebze-Bostancı istasyonları arası yıllık yolcu trafiği



Şekil 5.4: Bostancı-Halkalı istasyonları arası yıllık yolcu trafiği

5.2 Taşıt Sayısının Hesaplanması

Hattın kullanacak yıllık yolcu sayısının Marmaray'ı değil de normalde kullandıkları araçları tercih etmeleri durumunda neden olabilecek sera gazı emisyonları miktarının hesaplanması için, yolcuların kullanacakları taşıt sayısının hesaplanması gerekmektedir.

İstanbul'daki ölçülmüş ortalama taşıt doluluk sayıları kullanılarak Senaryo 1 oluşturulmuştur. Senaryo 1'de otomobilde ortalama 1,5 kişi, otobüste 45 kişi, minibüste 14 kişi, motosiklette de 1 kişi seyahat etmektedir.

Tablo 5.5: Senaryo 1'e göre taşıt doluluk sayıları[31]

Senaryo 1	
Otomobil (x)	1,5 Kişi
Otobüs (y)	45 Kişi
Minibüs (z)	14 Kişi
Motosiklet (t)	1 Kişi

Her bir güzergâh boyunca araçların doluluk sayılarının sera gazı emisyonuna olan etkisine dikkat çekmek amacıyla iki farklı senaryo daha oluşturulmuştur. Bunlar Marmaray Raylı Sisteminin etkisini en düşük olarak gösteren verimli taşıt kullanımı Senaryo 2, Marmaray Raylı Sisteminin etkisini en yüksek olarak gösteren verimsiz taşıt kullanımı Senaryo 3 dür.

Tablo 5.6: Senaryo 2 ve Senaryo 3'e göre taşıt doluluk sayıları

Senaryo 2		Senaryo 3	
Otomobil (x)	4 Kişi	Otomobil (x)	1 Kişi
Otobüs (y)	100 Kişi	Otobüs (y)	10 Kişi
Minibüs (z)	25 Kişi	Minibüs (z)	3 Kişi
Motosiklet (t)	1 Kişi	Motosiklet (t)	1 Kişi

Verimli taşıt kullanımını sembolize eden senaryo 2'ye göre otomobilde 4 kişi, otobüste 100 kişi, minibüste 25 kişi, motosiklette 1 kişi seyahat etmektedir. Verimsiz taşıt kullanımı senaryosuna göre ise otomobilde 1 kişi, otobüste 10 kişi, minibüste 3 kişi, motosiklette 1 kişi seyahat etmektedir. Görüleceği üzere iki senaryo da çok uç durumları sembolize etmektedir.

Tablo 5.5 ve 5.6 da x yıllık o hatta kullanılan otomobil sayısını, y otobüs sayısını, z minibüs sayısını, t ise motosiklet sayısını temsil etmektedir. Hesaplamalarda kamyon, kamyonet gibi taşıtlar yolcu taşıma amacıyla değil de, yalnızca ticari yük taşıma amaçlı kullanıldığı düşünülerek hesaplara dahil edilmemiştir. Hattın ayrı ayrı incelenen her bölümü için senaryo 1, 2 ve 3'e göre aşağıdaki denklemler oluşturulmuştur.

Senaryo 1 için,

$$1,5x + 45y + 14z + 1t = \text{yolcu/yıl} \quad (5.1)$$

Senaryo 2 için,

$$4x + 100y + 25z + 1t = \text{yolcu/yıl} \quad (5.2)$$

Senaryo 3 için,

$$x + 10y + 3z + 1t = \text{yolcu/yıl} \quad (5.3)$$

Bu denklemde yerine koyulmak üzere her bir araç türü, İstanbul taşıt parkı içindeki dağılımlarına göre bir k sabitine eşitlenmiştir. 2006 yılı yolcu taşıma amaçlı kullanılan taşıtlardan oluşan İstanbul taşıt parkı verileri Tablo 5.7'te verilmiştir.

Tablo 5.7: İstanbul taşıt parkı (2006) [29]

2006	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
İstanbul TP	1.657.320	46.307	62.282	109.827	1 875 736
%	88,4	2,5	3,3	5,9	100

Tablo 5.7'ye göre,

$$x = 88,4k$$

$$y = 2,5 k$$

$$z = 3,3 k$$

$$t = 5,8 k$$

Bu değerleri denklem 5.1, 5.2 ve 5.3 te yerine koyduğumuzda;

Senaryo 1 için;

$$\begin{aligned} 1,5.88,4k + 45.2,5k + 14.3,3k + 5,8k &= \text{yolcu/yıl} \\ 296k &= \text{yolcu/yıl} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Senaryo 2 için;

$$\begin{aligned} 4.88,4k + 100.2,5k + 25.3,3k + 5,8k &= \text{yolcu/yıl} \\ 691,9k &= \text{yolcu/yıl} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Senaryo 3 için;

$$\begin{aligned} 88,4k + 10.2,5k + 3.3,3k + 5,8k &= \text{yolcu/yıl} \\ 129,1k &= \text{yolcu/yıl} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Denklemleri oluşturulmuştur. Hesaplanan k değerleri yerine konularak yolcuların Marmaray hattı yerine her bir araç türünden kaçar adet kullanması gerektiği hesaplanmıştır.

5.3 Taşıt Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi

Bulunan taşıt türlerine ait emisyon faktörlerinin belirlenmesi için, taşıtlar öncelikle yakıt tipi, emisyon kontrolü teknolojisi özelliklerine göre ayrılması gerekmektedir. Ayrıntılı bir hesap için özellikle otomobil türlerinin sınıflandırılması üzerinde durulmuştur. İstanbul taşıt parkı 2006 verilerine göre trafikteki otomobillerin %77 si benzin, %14 ü diesel, %9 u ise LPG kullanmaktadır. Benzinli taşıtların emisyon kontrolü teknolojisine göre ayırmak için taşıt parkındaki taşıtların model yılları baz alınmıştır.[39]

Tablo 5.8'de gösterilen model yılı 1993 ve öncesi olan otomobillerin emisyon kontrolü olmadığı kabul edilmiştir. Model yılı 1993- 2001 yılları arasında olan benzinli otomobillerin emisyon standardı ECE 15.04 ve Euro I, 2001-2006 yılı

arasındaki otomobillerin ise emisyon standardı Euro III olarak alınmıştır. Model yıllarına göre benzinli otomobillerin emisyon standartları Tablo 5.9’da gösterilmiştir.

Tablo 5.8: Model yıllarına göre otomobil sayısı (* 1980 yılı ve öncesine ait taşıtlar)[30]

Model Yıllarına Göre Otomobil Sayısı			
Model Yılı	Otomobil Sayısı	Model Yılı	Otomobil Sayısı
1980(*)	410 368	1994	343 762
1981	20 237	1995	207 658
1982	34 245	1996	234 394
1983	42 637	1997	284 283
1984	56 031	1998	358 841
1985	69 256	1999	260 338
1986	91 288	2000	386 392
1987	114 879	2001	319 827
1988	131 113	2002	90 467
1989	117 178	2003	144 571
1990	211 046	2004	417 860
1991	197 240	2005	381 894
1992	286 540	2006	425 837
1993	397 996	2007	104 814

Tablo 5.9: Benzinli otomobillerin yıllara göre emisyon kontrol teknolojileri

Yıl	Emisyon Standardı
1990	Kontrolsüz
1991	Kontrolsüz
1992	Kontrolsüz
1993	Kontrolsüz
1994	%1 Euro I + %99 15.04
1995	%1,8 Euro I + %98,2 15.04
1996	%4 Euro I + %96 15.04
1997	%9,4 Euro I + %90,6 15.04
1998	%15 Euro I + %85 15.04
1999	%21 Euro I + %79 15.04
2000	%30 Euro I + %70 15.04
2001	%32 Euro I + %68 15.04
2002	Euro III
2003	Euro III
2004	Euro III
2005	Euro III
2006	Euro III

Yakıt tipi ve emisyon kontrol teknolojilerine göre sınıflandırılan otomobillerin kendi türü içerisindeki yüzdeleri Tablo 5.10 da verilmiştir.

Tablo 5.10: Otomobillerin yakıt tipi ve emisyon kontrolü teknolojisine göre yüzdeleri

Otomobil					
Benzinli				Dizel	Lpg
Emisyon Standardı					
Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III		
%27	%25	%5	%20	%14	%9

Hesaplarda, otobüslerin ağır dizel, minibüslerin de hafif dizel yakıt kullandıkları kabul edilerek emisyon faktörleri belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan g/km cinsinden emisyon faktörleri Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’de gösterilmiştir.

Tablo 5.11: Otomobil emisyon faktörleri[36]

		Otomobil					
		Otomobil (Benzinli)				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		Kontrolsüz	ECE 15,04	EURO I	EURO III		
Emisyon Faktörü (g/km)	CO ₂	270	200	205	205	190	180
	NO _x	2,2	2,3	0,5	0,5	0,7	2,2
	CH ₄	0,07	0,07	0,02	0,02	0,005	0,06
	NMVOC	5,3	4,5	0,5	0,5	0,2	1,5
	CO	46	19	2,9	2,9	0,7	7,1
	N ₂ O	0,005	0,005	0,05	0,05	0,01	0

Tablo 5.12: Otobüs, minibüs, motosiklet emisyon faktörleri

		Otobüs	Minibüs	Motosiklet
		Ağır Dizel	Hafif Dizel	Benzinli
Emisyon Faktörü (g/km)	CO ₂	770	280	95
	NO _x	10	1,4	0,08
	CH ₄	0,06	0,005	0,15
	NMVOC	1,9	0,4	16
	CO	9	1,6	22
	N ₂ O	0,03	0,02	0,002

5.4 Yolculuk Uzunluğunun Belirlenmesi

Marmaray Hattı, bu hatta Avrupa ve Asya yakalarında paralel olan D100 karayolu ile yaklaşık aynı uzunluktadır. Asya yakasında Marmaray raylı sistem uzunluğu (Gebze

İstasyonu – Üsküdar İstasyonu) 47,21 km uzunluğundadır. Buna hatta paralel giden D100 Karayolu ise yaklaşık 45,4 km uzunluğundadır. Avrupa yakasında raylı sistem uzunluğu 25,16 km iken, bu hatta paralel Sahil yolu ve D100 Karayolu uzunluğu yaklaşık 26,1 km’dir. Karayolu uzunlukları ile demiryolu sistemi uzunluklarının çok yaklaşık değerlerde olması sebebiyle, hesaplarda kullanılan Tier2/3 yaklaşımında taşıt aktivitesi olarak tanımlanan yolculuk uzunluğu, raylı sistem uzunluğu ile aynı kabul edilmiştir.

Yalnızca Üsküdar – Sirkeci arasındaki boğaz geçişi tüp geçitle sağlandığı için, hattın bu bölümünde hat uzunluğu yolculuk uzunluğu olarak kabul edilmemiştir. Bu yaklaşım yerine İstanbul’un Avrupa ve Asya yakalarında boğaz hattına yakın iki merkez olarak Taksim ve Bostancı seçilerek, taşıtların bu iki merkez arasında yol aldıkları kabulü yapılmıştır ve bu iki güzergâh arasındaki karayolu uzunluğu 20 km alınmıştır. Yolculuk uzunlukları Tablo 5.13 de gösterilmiştir.

Tablo 5.13: Yolculuk Uzunlukları

Güzergâh	Yolculuk Uzunluğu (km)	Güzergâh	Yolculuk Uzunluğu (km)
Gebze-Osmangazi	3,12	Bostancı-Suadiye	1,22
Osmangazi-Fatih	1,67	Suadiye-Erenköy	1,54
Fatih-Çayırova	0,91	Erenköy-Göztepe	1,61
Çayırova-Tuzla	3,69	Göztepe-Feneryolu	1,17
Tuzla-İçmeler	2,57	Feneryolu-Söğütlüçeşme	1,7
İçmeler-Aydıntepe	0,94	Söğütlüçeşme-İbrahimağa	1,31
Aydıntepe-Güzelyalı	1,03	İbrahimağa-Üsküdar	3,9
Güzelyalı-Tersane	1,06	Üsküdar-Sirkeci	20
Tersane-Kaynarca	1,89	Sirkeci-Yenikapı	2,39
Kaynarca-Pendik	2,4	Yenikapı-Kazlıçeşme	3,54
Pendik-Yunus	1,87	Kazlıçeşme-Zeytinburnu	1,33
Yunus-Kartal	1,78	Zeytinburnu-Yenimahalle	2,19
Kartal-Başak	1,45	Yenimahalle-Bakırköy	0,76
Başak-Atalar	1,13	Bakırköy-Ataköy	1,35
Atalar-Cevizli	1,71	Ataköy-Yeşilyurt	2,53
Cevizli-Maltepe	2,25	Yeşilyurt-Yeşilköy	1,14
Maltepe-Süreyya Plajı	1,04	Yeşilköy-Florya	3,53
Süreyya Plajı-İdealtepe	1,51	Florya-Küçükçekmece	2,43
İdealtepe-Küçükyalı	1,3	Küçükçekmece-Mustafa Kemal	2,26
Küçükyalı-Bostancı	1,44	Mustafa Kemal-Halkalı	1,71

5.5 Emisyon Hesapları

5.5.1 Birinci Yaklaşım

Örnek hesap olarak hattın 40 bölüme ayrılarak incelenen güzergahlarından, hesaplanan 2023 yılı yolcu öngörüsüne göre en az ve en fazla sayıdaki yolcu sayısına sahip, Mustafa Kemal - Halkalı ve Yenikapı – Sirkeci güzergahlarının emisyon hesabı gösterilmiştir.

5.5.1.1 Mustafa Kemal – Halkalı Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Marmaray raylı sisteminin en batı ucunda bulunan ve hattın en az yolcu sayısına sahip bölümü olacağı öngörülen Halkalı – Mustafa Kemal bölümün ait yolcu sayıları şu şekildedir;

Yolcu/Gün (İş günleri) = 93.978 kişi

Yolcu/Gün (Pazar Günleri) = 46.989 kişi

Yolcu/yıl = 31.294.707 kişi

Bulunan yıllık yolcu sayılarını Denklem 5.1, Denklem 5.2 ve Denklem 5.3 de yerine koyduğumuzda,

Senaryo 1 için,

$$1,5x + 45y + 14z + 1t = 31.294.707 \quad (5.7)$$

Senaryo 2 için,

$$4x + 100y + 25z + 1t = 31.294.707 \quad (5.8)$$

Senaryo 3 için,

$$x + 10y + 3z + 1t = 31.294.707 \quad (5.9)$$

Taşıtların İstanbul taşıt parkındaki yüzdeleri kullanılarak;

$$x = 88,4k, y = 2,5 k, z = 3,3 k, t = 5,8 k$$

Senaryo 1 için,

$$\begin{aligned} 296k &= 31.294.707 \\ k &= 105737 \end{aligned} \quad (5.10)$$

Senaryo 2 için,

$$691,9k = 31.294.707$$

$$k = 689,2 \quad (5.11)$$

Senaryo 3 için,

$$128,9k = 31.294.707$$

$$k = 242859,2 \quad (5.12)$$

bulunmuştur. k değerleri kullanılarak hesaplanan taşıt sayıları Tablo 5.14 ve Tablo 5.15 de verilmiştir.

Tablo 5.14: Senaryo 1’e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 1 (Yıl)		
X	9.342.464	Otomobil
Y	261.037	Otobüs
Z	351.089	Minibüs
T	619.105	Motosiklet
Toplam	10.573.695	Taşıt/yıl

Tablo 5.15: Senaryo 2 ve Senaryo 3 ye göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 2 (Yıl)			Senaryo 3(Yıl)		
X	4.012.216	Otomobil	x	21.458.003	Otomobil
Y	112.105	Otobüs	y	599.556	Otobüs
Z	150.779	Minibüs	z	806.391	Minibüs
T	265.881	Motosiklet	t	1.421.975	Motosiklet
Toplam	4.540.981	Taşıt/yıl	Toplam	24.285.924	Taşıt/yıl

Verimli taşıt kullanımını sembolize eden Senaryo 2 ile verimsiz taşıt kullanımını sembolize eden Senaryo 3 kullanılarak hesaplanan taşıt sayıları incelendiğinde, verimsiz taşıt kullanımında verimli kullanıma göre yaklaşık 5 kat daha fazla taşıt bulunduğu görülmektedir. Hesaplama da taşıtın aktivitesi yani km cinsinden aldığı yol, hat uzunluğu olan 1,71 km alınmıştır.

Değişik yakıt türleri ve emisyon standartlarına göre sınıflandırılmış araçların oluşturulan senaryolara göre hesaplanan emisyon değerleri Tablo 5.16-21’de gösterilmiştir.

Tablo 5.16 : Senaryo 1 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar

SENARYO 1 [TON / YIL]							
		Otomobil					
		Benzinli				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		KontROLSÜZ	15,04	EURO I	EURO III		
Araç Sayısı		2522465	2335616	467123	1868493	1307945	840822
Menzil (km)		1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	1164,622	798,781	163,750	655,000	424,951	258,805
	NOx	9,490	9,186	0,399	1,598	1,566	3,163
	CH4	0,302	0,280	0,016	0,064	0,011	0,086
	NMVOC	22,861	17,973	0,399	1,598	0,447	2,157
	CO	198,417	75,884	2,316	9,266	1,566	10,208
	N2O	0,022	0,020	0,040	0,160	0,022	0,000

Tablo 5.17 : Senaryo 1 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar

SENARYO 1 [TON / YIL]					
		Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
Araç Sayısı		261037	351089	619105	
Menzil (km)		1,71	1,71	1,71	Ton/yıl
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	343,707	168,102	100,574	3465,9094
	NOx	4,464	0,841	0,085	25,4012
	CH4	0,027	0,003	0,159	0,7588
	NMVOC	0,848	0,240	16,939	45,4346
	CO	4,017	0,961	23,291	297,6576
	N2O	0,013	0,012	0,002	0,2636

Tablo 5.18: Senaryo 2 ye göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar

SENARYO 2 [TON / YIL]							
		Otomobil					
		Benzinli				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		KontROLSÜZ	15,04	EURO I	EURO III		
Araç Sayısı		1083298	1003054	200611	802443	561710	361099
Menzil (km)		1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	500,159	343,044	70,324	281,296	182,500	111,146
	NOx	4,075	3,945	0,172	0,686	0,672	1,358
	CH4	0,130	0,120	0,007	0,027	0,005	0,037
	NMVOC	9,818	7,719	0,172	0,686	0,192	0,926
	CO	85,212	32,589	0,995	3,979	0,672	4,384
	N2O	0,009	0,009	0,017	0,069	0,010	0,000

Tablo 5.19: Senaryo 2 ye göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar

SENARYO 2 [TON / YIL]					
		Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
Araç Sayısı		112105	150779	265881	
Menzil (km)		1,71	1,71	1,71	Ton/yıl
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	147,609	72,193	43,192	1496,2119
	NOx	1,917	0,361	0,036	23,0491
	CH4	0,012	0,001	0,068	0,3377
	NMVOC	0,364	0,103	7,275	19,5124
	CO	1,725	0,413	10,002	127,8321
	N2O	0,006	0,005	0,001	0,1132

Tablo 5.20: Senaryo 3 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar

SENARYO 3 [TON / YIL]							
		Otomobil					
		Benzinli				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III		
Araç Sayısı		5793661	5364501	1072900	4291601	3004120	1931220
Menzil (km)		1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	2674,933	1834,659	376,105	1504,421	976,039	594,430
	NOx	21,796	21,099	0,917	3,669	3,596	7,265
	CH4	0,694	0,642	0,037	0,147	0,026	0,198
	NMVOC	52,508	41,280	0,917	3,669	1,027	4,954
	CO	455,729	174,293	5,321	21,282	3,596	23,447
	N2O	0,050	0,046	0,092	0,367	0,051	0,000

Tablo 5.21: Senaryo 3 e göre Mustafa Kemal – Halkalı istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar

SENARYO 3 [TON / YIL]					
		Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
Araç Sayısı		599556	806391	1421975	
Menzil (km)		1,71	1,71	1,71	Ton/yıl
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	789,435	386,100	231,000	7960,59
	NOx	10,252	1,930	0,195	58,34
	CH4	0,062	0,007	0,365	1,74
	NMVOC	1,948	0,552	38,905	104,36
	CO	9,227	2,206	53,495	683,67
	N2O	0,031	0,028	0,005	0,61

5.5.1.2 Yenikapı – Sirkeci Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Yenikapı – Sirkeci güzergâhı, hattın en yoğun yolcu trafiğinin olması beklenen istasyonlardır. Sirkeci istasyonunun boğaz tüp geçit hattının Avrupa yakasındaki ucu olması, Yenikapı istasyonunun Taksim – 4.Levent Metro su, Yenikapı – Havalimanı, Yenikapı – Otogar hafif raylı sistemi gibi önemli hatlarla birleştirilmesi ile bir aktarma merkezi haline getirilmesi bunun en önemli etkenlerindendir. Bu hatta ait yolcu sayıları şu şekildedir;

Yolcu/Gün (İş günleri) = 581.952 kişi

Yolcu/Gün (Pazar Günleri) = 290.976 kişi

Yolcu/yıl = 193.789.883 kişi

Senaryo 1 için,

$$1,5x + 45y + 14z + 1t = 193.789.883 \quad (5.12)$$

Senaryo 2 için,

$$4x + 100y + 25z + 1t = 193.789.883 \quad (5.13)$$

Senaryo 3 için,

$$x + 10y + 3z + 1t = 193.789.883 \quad (5.14)$$

Taşıtların İstanbul taşıt parkındaki yüzdeleri kullanılarak;

$$x = 88,4k$$

$$y = 2,5 k$$

$$z = 3,3 k$$

$$t = 5,8 k$$

Senaryo 1 için,

$$296k = 193.789.883$$

$$k = 654767$$

(5.15)

Senaryo 2 için,

$$691,9k = 193.789.883$$

$$k = 281196,5$$

(5.16)

Senaryo 3 için,

$$128,9k = 193.789.883$$

$$k = 1503885,7$$

(5.17)

Bulunmuştur. k değerleri kullanılarak hesaplanan taşıt sayıları Tablo 5.22 ve Tablo 5.23 de verilmiştir.

Tablo 5.22: Senaryo 1'e göre Yenikapı - Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 1 (Yıl)		
X	57.852.436	Otomobil
Y	1.616.449	Otobüs
Z	2.174.092	Minibüs
T	3.833.755	Motosiklet
Toplam	65.476.732	Taşıt/yıl

Tablo 5.23: Senaryo 2 ve Senaryo 3'e göre Yenikapı - Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 2 (Yıl)			Senaryo3(Yıl)		
X	24.845.316	Otomobil	x	132.876.904	Otomobil
Y	694.200	Otobüs	y	3.712.699	Otobüs
Z	933.686	Minibüs	z	4.993.507	Minibüs
T	1.646.445	Motosiklet	t	8.805.464	Motosiklet
Toplam	28.119.647	Taşıt/yıl	Toplam	150.388.575	Taşıt/yıl

Gerçek taşıt doluluk sayılarıyla (Senaryo 1) elde edilen taşıt sayılarıyla, verimli ve verimsiz taşıt doluluk senaryolarından hesaplanan taşıt sayıları incelendiğinde, verimli taşıt kullanımı ile trafiğe yaklaşık %60 daha az taşıt çıkarken, verimsiz taşıt kullanımında yaklaşık %130 daha fazla taşıt çıkmaktadır. Bu da verimli taşıt kullanımının trafik sıkışıklığını azaltıcı etkisinin iyi bir örneği olarak görülmektedir.

Yenikapı – Sirkeci güzergâhının emisyonlara etkisi oluşturulan taşıt doluluk sayılarına göre Tablo 5.24 – 5.29 da gösterilmiştir.

Tablo 5.24: Senaryo 1 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar

SENARYO 1 [TON / YIL]							
		Otomobil					
		Benzinli				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		KontROLSÜZ	15,04	EURO I	EURO III		
Araç Sayısı		15620158	14463109	2892622	11570487	8099341	5206719
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	10079,688	6913,366	1417,240	5668,960	3677,911	2239,931
	NOx	82,131	79,504	3,457	13,827	13,550	27,377
	CH4	2,613	2,420	0,138	0,553	0,097	0,747
	NM VOC	197,861	155,551	3,457	13,827	3,871	18,666
	CO	1717,280	656,770	20,049	80,195	13,550	88,353
	N2O	0,187	0,173	0,346	1,383	0,194	0,000

Tablo 5.25: Senaryo 1 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar

SENARYO 1 [TON / YIL]					
		Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
Araç Sayısı		1616449	2174092	3833755	
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	Ton/yıl
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	2974,751	1454,902	870,454	29997,0956
	NOx	38,633	7,275	0,733	219,8450
	CH4	0,232	0,026	1,374	6,5677
	NM VOC	7,340	2,078	146,603	393,2323
	CO	34,770	8,314	201,579	2576,1967
	N2O	0,116	0,104	0,018	2,2814

Tablo 5.26: Senaryo 2 ye göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar

SENARYO 2 [TON / YIL]							
		Otomobil					
		Benzinli				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		KontROLSÜZ	15,04	EURO I	EURO III		
Araç Sayısı		6708235	6211329	1242266	4969063	3478344	2236078
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	4328,824	2969,015	608,648	2434,593	1579,516	961,961
	NOx	35,272	34,144	1,485	5,938	5,819	11,757
	CH4	1,122	1,039	0,059	0,238	0,042	0,321
	NM VOC	84,973	66,803	1,485	5,938	1,663	8,016
	CO	737,503	282,056	8,610	34,441	5,819	37,944
	N2O	0,080	0,074	0,148	0,594	0,083	0,000

Tablo 5.27: Senaryo 2 ye göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar

SENARYO 2 [TON / YIL]					
		Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
Araç Sayısı		694200	933686	1646445	
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	Ton/yıl
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	1277,537	624,822	373,825	12949,5623
	NOx	16,591	3,124	0,315	199,4874
	CH4	0,100	0,011	0,590	2,9228
	NM VOC	3,152	0,893	62,960	168,8776
	CO	14,932	3,570	86,570	1106,3739
	N2O	0,050	0,045	0,008	0,9798

Tablo 5.28: Senaryo 3 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otomobil kaynaklı emisyonlar

SENARYO 3 [TON / YIL]							
		Otomobil					
		Benzinli				Dizel	Lpg
		Emisyon Standardı					
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III		
Araç Sayısı		35876764	33219226	6643845	26575381	18602767	11958921
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	23151,276	15878,790	3255,152	13020,608	8447,516	5144,728
	NOx	188,640	182,606	7,939	31,758	31,122	62,880
	CH4	6,002	5,558	0,318	1,270	0,222	1,715
	NM VOC	454,451	357,273	7,939	31,758	8,892	42,873
	CO	3944,291	1508,485	46,048	184,194	31,122	202,931
	N2O	0,429	0,397	0,794	3,176	0,445	0,000

Tablo 5.29: Senaryo 3 e göre Yenikapı – Sirkeci istasyonları arası oluşan otobüs, minibüs ve motosiklet kaynaklı emisyonlar

SENARYO 3 [TON / YIL]					
		Otobüs	Minibüs	Motosiklet	Toplam
Araç Sayısı		3712699	4993507	8805464	
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	Ton/yıl
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	6832,481	3341,655	1999,281	68898,07
	NOx	88,734	16,708	1,684	504,95
	CH4	0,532	0,060	3,157	15,08
	NM VOC	16,859	4,774	336,721	903,19
	CO	79,860	19,095	462,991	5917,07
	N2O	0,266	0,239	0,042	5,24

5.5.1.3 Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Yaklaşık 76,54 km uzunluğunda, 7'si şehirlerarası transfer istasyonu, 3'ü yer altı istasyonu ve 37'si yer üstü istasyonu olmak üzere toplam 40 istasyondan oluşan Marmaray Raylı Sisteminin ayrı ayrı incelenen 40 bölümünün toplam sera gazı emisyonlarına etkisini incelemek amacıyla öncelikle Senaryo I ele alınmıştır. Değişik yakıt türleri ve emisyon standartlarına göre sınıflandırılmış araçların Senaryo 1'e göre hesaplanan emisyon değerleri Tablo 5.30'da gösterilmiştir.

Tablo 5.30: Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 1 için emisyonlara etkisi

Senaryo 1 (Ton/yıl)									
	Otomobil						Otobüs	Minibüs	Motosiklet
	Benzinli				Dizel	Lpg			
	Emisyon Standardı								
	Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III					
CO ₂	266463,73	182759,76	37465,75	149863,00	97228,19	59214,16	78639,65	38461,37	23011,08
NO _x	2171,19	2101,74	91,38	365,52	358,21	723,73	1021,29	192,31	19,38
CH ₄	69,08	63,97	3,66	14,62	2,56	19,74	6,13	0,69	36,33
NM _{VOC}	5230,58	4112,09	91,38	365,52	102,35	493,45	194,05	54,94	3875,55
CO	45397,52	17362,18	530,00	2120,01	358,21	2335,67	919,16	219,78	5328,88
N ₂ O	4,93	4,57	9,14	36,55	5,12	0,00	3,06	2,75	0,48

Verimli ve verimsiz taşıt kullanımını sembolize eden Senaryo 2 ve Senaryo 3'e göre hesaplanan hattın toplam emisyon değerleri Tablo 5.31 ve Tablo 5.32'de gösterilmiştir.

Tablo 5.31: Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 2 için emisyonlara etkisi

Senaryo 2 (Ton/yıl)									
	Otomobil						Otobüs	Minibüs	Motosiklet
	Benzinli				Dizel	Lpg			
	Emisyon Standardı								
	Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III					
CO ₂	114435,56	78488,04	16090,05	64360,19	41755,63	25430,12	33772,60	16517,63	9882,34
NO _x	932,44	902,61	39,24	156,98	153,84	310,81	438,61	82,59	8,32
CH ₄	29,67	27,47	1,57	6,28	1,10	8,48	2,63	0,29	15,60
NM _{VOC}	2246,33	1765,98	39,24	156,98	43,95	211,92	83,33	23,60	1664,39
CO	19496,43	7456,36	227,62	910,46	153,84	1003,08	394,74	94,39	2288,54
N ₂ O	2,12	1,96	3,92	15,70	2,20	0,00	1,32	1,18	0,21

Tablo 5.32: Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 3 için emisyonlara etkisi

Senaryo 3 (Ton/yıl)									
	Otomobil						Otobüs	Minibüs	Motosiklet
	Benzinli				Dizel	Lpg			
	Emisyon Standardı								
	Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III					
CO ₂	612020,48	419767,14	86052,26	344209,05	223316,12	136004,55	180621,49	88339,03	52852,41
NO _x	4986,83	4827,32	209,88	839,53	822,74	1662,28	2345,73	441,70	44,51
CH ₄	158,67	146,92	8,40	33,58	5,88	45,33	14,07	1,58	83,45
NM _{VOC}	12013,74	9444,76	209,88	839,53	235,07	1133,37	445,69	126,20	8901,46
CO	104270,16	39877,88	1217,32	4869,30	822,74	5364,62	2111,16	504,79	12239,51
N ₂ O	11,33	10,49	20,99	83,95	11,75	0,00	7,04	6,31	1,11

Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek emisyon miktarının CO₂ emisyonu olduğu görülmektedir. Metandan yaklaşık 20 kat, diazotmonoksitten (N₂O) ise yaklaşık 300 kat daha az ısı tutma kapasitesi olan karbondioksitin (CO₂) miktarı, bu büyük farklılıklara rağmen CO₂'nin sera gazları arasında ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

Ayrıca emisyon kontrolü bulunmayan araçların örnek olarak CO₂ emisyonları göz önüne alındığında, tüm araçlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının yaklaşık %34'lük kısmını oluşturması, bu tip araçların trafikten çekilmesi durumunda ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonları çerçevesinde büyük yararlar sağlanacağını göstermektedir.

Oluşturulan senaryolara göre, hattın incelenen her bölümündeki sera gazı emisyonları toplanmasıyla hattın toplam emisyonları azaltmaya yönelik olan etkisi hesaplanmıştır. Senaryolara göre hattın toplam emisyon kazancı Tablo 5.33'de verilmiştir.

Tablo 5.33: Oluşturulan senaryolara göre tüm Marmaray Raylı Sisteminin emisyonlara etkisi

		Senaryo 1 (ton/yıl)	Senaryo 2 (ton/yıl)	Senaryo 3 (ton/yıl)
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO ₂	933.106,71	400.732,15	2.143.182,54
	NO _x	7.044,74	3.025,43	16.180,53
	CH ₄	216,77	93,09	497,88
	NM _{VOC}	14.519,92	6.235,73	33.349,70
	CO	74.571,42	32.025,45	171.277,49
	N ₂ O	66,61	28,60	152,98

Senaryo 1 deki emisyon değerleri incelendiğinde, hattın sadece CO₂ emisyonu açısından yıllık 933.106,71 tonluk bir emisyon azaltıcı etkisi olduğu görülmektedir. CO₂ ve CO emisyonlarından sonra en fazla salınan emisyonlar sırasıyla NMVOC, NO_x, CH₄ ve N₂O'dur. Emisyon miktarları azalan araç doluluk sayılarıyla artmaktadır.

5.5.2 İkinci Yaklaşım

Buraya kadar yapılan emisyon değerleri bulunurken, taşıt sayısı hesabında İstanbul kent içi trafik karakteristiğinin İstanbul taşıt parkındaki taşıt yüzdeleri ile orantılı olduğu düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaba göre İstanbul taşıt parkındaki otobüs sayısı 46307, minibüs sayısı ise 62282 olarak alınmıştır. Ancak bu taşıt sayılarına İstanbul trafiğine kayıtlı şehirlerarası yolcu otobüsleri, özel ve ticari yük taşıma amaçlı minibüsler de dahildir. İstanbul kent içi karayolu toplu taşıma sisteminde kullanılan taşıt sayılarına bakıldığında; İETT'ye bağlı otobüs sayısı 2824, ÖHO sayısı 2046 olmak üzere toplam 4870 otobüs ve 5863 minibüs olduğu görülmüştür[40]. Ayrıca İstanbul taşıt parkı yüzdelerinin kent içi trafik karakteristiğini yansıtmadığı düşünülerek yapılan hesaplamaların yanlış sonuçlar vereceği sonucuna varılmış hesaplamalarda farklı bir yaklaşıma gidilmiştir. Bu ikinci yaklaşımda trafikteki taşıt yüzdeleri, İstanbul kent içi ulaşımında yolculukların türlere göre dağılımı değerleri olarak alınmıştır. Bu dağılıma göre kent içi trafiğinde otomobil yolculukları %31, otobüs yolculukları %24, minibüs yolculukları ise %15,7'lik bir paya sahiptir. Tablo 5.34 bu taşıtların kent içi ulaşımında kendi içlerindeki yüzdelerini göstermektedir. [41]

Tablo 5.34: İstanbul kent içi karayolu ulaşımında yolculukların türlere göre dağılımı[41]

2006	Otomobil	Otobüs	Minibüs
%	43,8	33,9	22,3

Boğaz tüp geçişinin karayolu alternatifi olan köprü geçişinde de farklı bir yöntem izlenmiştir. Boğaz köprü geçişlerindeki taşıt yüzdeleri, İstanbul içindeki diğer bölgelere göre farklı oranlardadır. Boğaz köprülerinden geçen taşıtların %89.5'ini otomobil, %5.5'ini ise İETT ve ÖHO, geri kalan %5'lik kısmını da diğer ticari amaçlı taşıtlar oluşturmaktadır. Boğaz geçiş hattındaki emisyonların hesabında boğaz

köprülerinin minibüs geçişine kapalı olması sebebiyle, minibüs bu hattın emisyon hesabına dahil edilmemiştir.

Kullanılan taşıtların trafikteki doluluk sayıları Tablo 5.35 ve Tablo 5.36’da verilmiştir.

Tablo 5.35: Senaryo 4’e göre taşıt doluluk sayıları[31]

Senaryo 4	
Otomobil (x)	1,5 Kişi
Otobüs (y)	45 Kişi
Minibüs (z)	14 Kişi

Tablo 5.36: Senaryo 5 ve Senaryo 6 ‘ya göre taşıt doluluk sayıları

Senaryo 5	
Otomobil (x)	4 Kişi
Otobüs (y)	100 Kişi
Minibüs (z)	25 Kişi

Senaryo 6	
Otomobil (x)	1 Kişi
Otobüs (y)	10 Kişi
Minibüs (z)	3 Kişi

İstanbul kent içi karayolu ulaşımında kullanılan taşıt türlerinin dağılımı ve taşıt doluluk sayıları kullanılarak aşağıdaki denklemler oluşturulmuştur.

x otomobil sayısı, y otobüs sayısı ve z minibüs sayısı olmak üzere;

$$\begin{aligned} x &= 43,8k \\ y &= 33,9k \\ z &= 22,3k \end{aligned} \tag{5.18}$$

Senaryo 4 için;

$$\begin{aligned} 1,5x + 45y + 14z &= \text{yolcu/yıl} \\ 1903,4k &= \text{yolcu/yıl} \end{aligned} \tag{5.19}$$

Senaryo 5 için ;

$$\begin{aligned} 4x + 100y + 25z &= \text{yolcu/yıl} \\ 4122,7k &= \text{yolcu/yıl} \end{aligned} \tag{5.20}$$

Senaryo 6 için;

$$\begin{aligned} x + 10y + 3z &= \text{yolcu/yıl} \\ 449,7k &= \text{yolcu/yıl} \end{aligned} \tag{5.21}$$

Hattın ayrılan her bir güzergahına ait yolcu/yıl değerleri kullanılarak k değerleri hesaplanmış, hesaplanan k değerleri (5.18) denklemlerinde yerine konularak

yolcuların Marmaray hattı yerine her bir araç türünden kaçar adet kullanması gerektiği hesaplanmıştır.

Bu bölümde örnek hesaplama olarak 2023 yılındaki yolcu öngörüsüne göre hattın en fazla yolcu trafiğine sahip Yenikapı – Sirkeci güzergâhının ve hattın boğaz tüp geçişini oluşturan Sirkeci – Üsküdar güzergâhının sera gazı emisyonuna etkisi incelenmiştir.

5.5.2.1 Yenikapı – Sirkeci Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Hattın en yoğun yolcu trafiğine sahip olası beklenen Yenikapı – Sirkeci hattına ait yolcu sayısı değerleri şu şekildedir.

Yolcu/Gün (İş günleri) = 581.952 kişi
Yolcu/Gün (Pazar Günleri) = 290.976 kişi
Yolcu/yıl = 193.789.883 kişi

Bulunan yıllık yolcu sayılarını İstanbul trafiğindeki gerçek taşıt doluluk sayılarını gösteren Senaryo 4 için denklemde yerine koyduğumuzda;

$$1,5x + 45y + 14z + 1t = 193.789.883$$

Bu denklemde taşıtların İstanbul kent içi trafiğindeki türlerine göre yüzdeleri kullanılarak;

$$\begin{aligned} x &= 43,8k \\ y &= 33,9k \\ z &= 22,3k \end{aligned}$$

$$1903,4k = 193.789.883$$

$$k = 101812,5$$

bulunmuştur. Senaryo 4'e göre hesaplanan taşıt sayıları Tablo 5.37'de gösterilmiştir.

Tablo 5.37 : Senaryo 4'e göre Yenikapı –Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 4 (Yıl)		
X	4.459.387	Otomobil
Y	3.451.443	Otobüs
Z	2.270.418	Minibüs
Toplam	10.181.248	Taşıt/yıl

Yakıt türlerine ve emisyon standartlarına göre ayrılan taşıtlardan kaynaklı emisyon değerleri Tablo 5.38 de verilmiştir.

Tablo 5.38 : Senaryo 4’e göre Yenikapı–Sirkeci hattının emisyonlara etkisi

SENARYO 4 [TON / YIL]									
		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III				
Araç Sayısı		1204034	1114847	222969	891877	624314	401345	3451443	2270418
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO ₂	776,963	532,897	109,244	436,975	283,501	172,659	6351,691	1519,364
	NO _x	6,331	6,128	0,266	1,066	1,044	2,110	82,489	7,597
	CH ₄	0,201	0,187	0,011	0,043	0,007	0,058	0,495	0,027
	NM _{VOC}	15,252	11,990	0,266	1,066	0,298	1,439	15,673	2,171
	CO	132,372	50,625	1,545	6,182	1,044	6,810	74,241	8,682
	N ₂ O	0,014	0,013	0,027	0,107	0,015	0,000	0,247	0,109

Görüldüğü üzere küresel ısınmada birincil öneme sahip CO₂ emisyonunda en yüksek değer otobüslere aittir. Hattaki toplam CO₂ emisyonlarının %70’inin otobüs kaynaklı olduğu görülmektedir. CO₂ emisyonunda ikinci sırada yaklaşık %10 luk bir oranla emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobiller gelmektedir. Ancak kişi başı CO₂ emisyonları incelendiğinde Senaryo 4’e göre otobüs için kişi başı 40,8 g / yolcu iken emisyon kontrolü olmayan otomobilde kişi başı 430,2 g/yolcu olduğu görülmektedir. Minibüs kaynaklı kişi başı CO₂ emisyonu ise 47,8 g/yolcu dur. Bu da toplu taşıma taşımanın sera gazı emisyonun azaltılmasında önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir.

Verimli ve verisiz taşıt kullanımını sembolize eden Senaryo 5 ve Senaryo 6 taşıt doluluk sayıları kullanılarak;

$$x=43,8k$$

$$y=33,9k$$

$$z=22,3k$$

olmak üzere

Senaryo 5 için;

$$4x + 100y + 25z = 193.789.883$$

$$4122,7k = 193.789.883$$

$$k = 47005,5$$

Senaryo 6 için;

$$x + 10y + 3z = 193.789.883$$

$$449,7k = 193.789.883$$

$$k = 430931,5$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan k değerlerine kullanılarak Senaryo 5 ve Senaryo 6'ya göre Yenikapı – Sirkeci Hattında kullanılan yıllık taşıt sayısı değerleri Tablo 5.39'da verilmiştir.

Tablo 5.39 : Senaryo 5 ve Senaryo 6 e göre Yenikapı –Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 5 (Yıl)			Senaryo 6 (Yıl)		
x	2.058.844	Otomobil	x	18.874.798	Otomobil
y	1.593.489	Otobüs	y	14.608.577	Otobüs
z	1.048.224	Minibüs	z	9.609.772	Minibüs
Toplam	4.700.557	Taşıt/yıl	Toplam	43.093.147	Taşıt/yıl

Hesaplanan taşıtlardan kaynaklı sera gazı emisyonları Tablo 5.40 ve Tablo 5.41 de verilmiştir.

Tablo 5.40 : Senaryo 5'e göre Yenikapı–Sirkeci hattının emisyonlara etkisi

SENARYO 5 [TON / YIL]									
		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III				
Araç Sayısı		555888	514711	102942	411769	288238	185296	1593489	1048224
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	358,714	246,032	50,437	201,746	130,889	79,714	2932,498	701,472
	NOx	2,923	2,829	0,123	0,492	0,482	0,974	38,084	3,507
	CH4	0,093	0,086	0,005	0,020	0,003	0,027	0,229	0,013
	NMVOC	7,041	5,536	0,123	0,492	0,138	0,664	7,236	1,002
	CO	61,114	23,373	0,713	2,854	0,482	3,144	34,276	4,008
	N2O	0,007	0,006	0,012	0,049	0,007	0,000	0,114	0,050

Tablo 5.41 : Senaryo 6’ya göre Yenikapı–Sirkeci hattının emisyonlara etkisi

SENARYO 6 [TON / YIL]									
		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III				
Araç Sayısı		5096196	4718700	943740	3774960	2642472	16987319	14608577	9609772
Menzil (km)		2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	3288,575	2255,538	462,385	1849,542	1199,946	7307,944	26884,164	6430,859
	NOx	26,796	25,939	1,128	4,511	4,421	89,319	349,145	32,154
	CH4	0,853	0,789	0,045	0,180	0,032	2,436	2,095	0,115
	NMVOC	64,554	50,750	1,128	4,511	1,263	60,900	66,338	9,187
	CO	560,276	214,276	6,541	26,164	4,421	288,258	314,230	36,748
	N2O	0,061	0,056	0,113	0,451	0,063	0,000	1,047	0,459

Yenikapı – Sirkeci hattındaki taşıt doluluk senaryolarına göre Yenikapı – Sirkeci güzergâhının sera gazı emisyonlarına etkisi Tablo 5.42’de gösterilmiştir.

Tablo 5.42: Oluşturulan senaryolara göre Yenikapı - Sirkeci hattının emisyonlara etkisi

		Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	10183,29	4701,50	49678,95
	NOx	107,0324	49,42	533,41
	CH4	1,03	0,47	6,54
	NMVOC	48,15	22,23	258,63
	CO	281,50	129,27	1450,91
	N2O	0,53	0,25	2,25

5.5.2.2 Üsküdar – Sirkeci Güzergâhının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Hattın boğaz tüp geçişini oluşturan bu güzergâh, özellikle İstanbul trafiğinde önemli bir sorun teşkil eden köprü trafiğini azaltıcı etkisi sebebiyle büyük öneme sahiptir. Üsküdar – Sirkeci güzergâhının Marmaray raylı sisteminin en yoğun bölümlerden birisi olması beklenmektedir. Hattın bu bölümünde hesaplanan günlük ve yıllık yolcu sayıları şu şekildedir;

Yolcu/Gün (İş günleri) = 575.561 kişi

Yolcu/Gün (Pazar Günleri) = 287.835 kişi

Yolcu/yıl = 191.698.343 kişi

Marmaray raylı sisteminin bu bölümü için, köprü trafiğinde yolcu taşıma amaçlı kullanılan taşıtların % 94,2 si hususi otomobil, % 5.8'lik kısmı ise otobüs olarak alınmıştır. Bu değerler ve Senaryo 4 deki taşıt doluluk sayıları kullanılarak aşağıdaki denklemler elde edilmiştir.

$$1,5x + 45y = 191.698.343$$

$$x = 94,2k$$

$$y = 5,8k$$

Buna göre ;

$$402,3k = 191.698.343$$

$$k = 476505,9$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan k değerine göre hattaki toplam taşıt sayısı Tablo 5.43 de verilmiştir.

Tablo 5.43 : Senaryo 4'e göre Üsküdar -Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 4 (Yıl)		
x	44.886.860	Otomobil
y	2.763.735	Otobüs
Toplam	47.650.595	Taşıt/yıl

2006 yılı verilerine göre Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Boğaziçi Köprüsü'nden ortalama günlük toplam 381.000 taşıt geçmiştir. [38] Bu hesaba göre Marmaray hattı yapılmasaydı 2023 yılında Üsküdar – Sirkeci hattında taşınan Marmaray yolcuları, 47.650.595 taşıt ile köprü trafiğine çıkmış olacaktı. Bu sayıyı gün bazında incelediğimizde köprü geçişinde günlük 130.550 taşıt azalacağı sonucuna varılabilir.

Emisyon kontrol teknolojilerine ve yakıt türlerine göre ayrılan taşıtlardan kaynaklı emisyonlar Tablo 5.44 de verilmiştir.

Tablo 5.44 : Senaryo 4 e göre Üsküdar–Sirkeci güzergahının emisyonlara etkisi

SENARYO 4 [TON / YIL]								
		Otomobil						Otobüs
		Benzinli				Dizel	Lpg	
		Emisyon Standardı						
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III			
Araç Sayısı		12119452	11221715	2244343	8977372	6284160	4039817	2763735
Menzil (km)		20	20	20	20	20	20	20
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	65445,042	44886,860	9201,806	36807,225	23879,810	14543,343	42561,511
	NOx	533,256	516,199	22,443	89,774	87,978	177,752	552,747
	CH4	16,967	15,710	0,898	3,591	0,628	4,848	3,316
	NMVOC	1284,662	1009,954	22,443	89,774	25,137	121,195	105,022
	CO	11149,896	4264,252	130,172	520,688	87,978	573,654	497,472
	N2O	1,212	1,122	2,244	8,977	1,257	0,000	1,658

Diğer taşıt doluluk senaryolarına göre hesaplanan taşıt sayıları tablo --- da verilmiştir.

Tablo 5.45 : Senaryo 5 ve 6'ya göre Üsküdar - Sirkeci istasyonları arası kullanılan taşıt sayısı

Senaryo 5 (Yıl)			Senaryo 6 (Yıl)		
x	18.873.311	Otomobil	X	118.646.412	Otomobil
y	1.162.051	Otobüs	Y	7.305.193	Otobüs
Toplam	20.035.362	Taşıt/yıl	Toplam	125.951.605	Taşıt/yıl

Hesaplanan taşıt sayılarına göre, Üsküdar – Sirkeci güzergahına ait sera gazı emisyon değerleri Senaryo 5 ve Senaryo 6 için Tablo 5.46 ve Tablo 5.47 de verilmiştir.

Tablo 5.46 : Senaryo 5 e göre Üsküdar–Sirkeci güzergahının emisyonlara etkisi

SENARYO 5 [TON / YIL]								
		Otomobil						Otobüs
		Benzinli				Dizel	Lpg	
		Emisyon Standardı						
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III			
Araç Sayısı		5095794	4718328	943666	3774662	2642264	1698598	1162051
Menzil (km)		20	20	20	20	20	20	20
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	27517,287	18873,311	3869,029	15476,115	10040,601	6114,953	17895,585
	NOx	224,215	217,043	9,437	37,747	36,992	74,738	232,410
	CH4	7,134	6,606	0,377	1,510	0,264	2,038	1,394
	NMVOC	540,154	424,649	9,437	37,747	10,569	50,958	44,158
	CO	4688,130	1792,965	54,733	218,930	36,992	241,201	209,169
	N2O	0,510	0,472	0,944	3,775	0,528	0,000	0,697

Tablo 5.47 : Senaryo 6’ya göre Üsküdar–Sirkeci güzergâhının emisyonlara etkisi

SENARYO 6 [TON / YIL]								
		Otomobil						Otobüs
		Benzinli				Dizel	Lpg	
		Emisyon Standardı						
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III			
Araç Sayısı		32034531	29661603	5932321	23729282	16610498	106781771	7305193
Menzil (km)		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	172986,469	118646,412	24322,514	97290,058	63119,891	384414,375	112499,974
	NOx	1409,519	1364,434	59,323	237,293	232,547	4698,398	1461,039
	CH4	44,848	41,526	2,373	9,492	1,661	128,138	8,766
	NM VOC	3395,660	2669,544	59,323	237,293	66,442	3203,453	277,597
	CO	29471,769	11271,409	344,075	1376,298	232,547	15163,011	1314,935
	N2O	3,203	2,966	5,932	23,729	3,322	0,000	4,383

Taşıt doluluk senaryolarına göre Üsküdar - Sirkeci hattındaki toplam sera gazı emisyonları Tablo 5.48 da verilmiştir.

Tablo 5.48: Senaryolara göre Üsküdar - Sirkeci güzergâhının emisyonlara etkisi

		Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	237325,60	99786,88	973279,69
	NOx	1980,15	832,58	9462,55
	CH4	45,96	19,32	236,80
	NM VOC	2658,19	1117,67	9909,31
	CO	17224,11	7242,12	59174,04
	N2O	16,47	6,93	43,54

5.5.2.3 Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Marmaray Raylı Sisteminin ayrı ayrı incelenen 40 bölümündeki sera gazı emisyonlarının taşıt türlerine göre toplamı Senaryo 1 için Tablo 5.49 da verilmiştir.

Tablo 5.49: Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 4’e göre emisyonlara etkisi

Senaryo 4 Toplam (ton/yıl)									
		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III				
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO2	79553,0	54563,1	11185,4	44741,7	29027,5	17678,4	157894,4	27588,3
	NOx	648,21	627,48	27,28	109,13	106,94	216,07	2050,58	137,94
	CH4	20,62	19,10	1,09	4,37	0,76	5,89	12,30	0,49
	NM VOC	1561,60	1227,67	27,28	109,13	30,56	147,32	389,61	39,41
	CO	13553,48	5183,50	158,23	632,93	106,94	697,32	1845,52	157,65
	N2O	1,47	1,36	2,73	10,91	1,53	0,00	6,15	1,97

Senaryo 4'e göre emisyonları incelediğimizde en önemli sera etkisine sahip, fosil yakıtların yanmasının doğal sonucu olan, CO₂ emisyonlarının toplam emisyonlar içinde yüksek bir paya sahip olduğunu görülmektedir. En fazla CO₂ emisyonu 157894,4 ton ile otobüslerden kaynaklanmaktadır. Bu değeri 79553 ton'la emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil, 54563,1 ton'la 15.04 Regülasyonu'nu sağlayan benzinli otomobil takip etmektedir. Ancak taşıdıkları kişi sayısı göz önüne alındığında kişi başına düşen CO₂ emisyonu miktarları taşıt tipine göre farklılık göstermektedir. Örnek olarak bir kişinin Marmaray hattını bir ucundan diğer ucuna sadece otobüs veya otomobil ile geçmesi halinde oluşan emisyon miktarları otobüs için 1628,9 gCO₂/kişi iken, emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil için 17136 gCO₂ / kişi, 15.04 regülasyonunu sağlayan benzinli otomobil için 12693,3 g CO₂/kişi'dir. Bu değerlerden görüleceği üzere otobüs kaynaklı toplam emisyonlar diğer emisyonlara göre fazla olmasına rağmen, emisyonlar kişi başına incelendiğinde toplu taşımanın sera gazı emisyonlarındaki azaltıcı etkisi daha iyi ortaya çıkmaktadır.

Senaryo 5 ve Senaryo 6 taşıt doluluk senaryoları için hattın sera gazı emisyonlarına etkisi Tablo 5.50 ve Tablo 5.51 de verilmiştir.

Tablo 5.50: Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 5'e göre emisyonlara etkisi

Senaryo 5 Toplam(ton/yıl)									
		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		Kontrolsüz	15,04	EURO I	EURO III				
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO ₂	34030,76	23340,72	4784,85	19139,39	12417,26	7562,39	71143,38	12737,20
	NO _x	277,29	268,42	11,67	46,68	45,75	92,43	923,94	63,69
	CH ₄	8,82	8,17	0,47	1,87	0,33	2,52	5,54	0,23
	NM VOC	668,01	525,17	11,67	46,68	13,07	63,02	175,55	18,20
	CO	5797,83	2217,37	67,69	270,75	45,75	298,29	831,55	72,78
	N ₂ O	0,63	0,58	1,17	4,67	0,65	0,00	2,77	0,91

Tablo 5.51: Tüm Marmaray Raylı Sisteminin Senaryo 6'ya göre emisyonlara etkisi

Senaryo 6 Toplam(ton/yıl)									
		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		KontROLSÜZ	15,04	EURO I	EURO III				
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO ₂	232699,8	159602,1	32718,4	130873,7	84908,3	517110,8	600658,0	116770,4
	NO _x	1896,07	1835,42	79,80	319,20	312,82	6320,24	7800,75	583,85
	CH ₄	60,33	55,86	3,19	12,77	2,23	172,37	46,80	2,09
	NM _{VOC}	4567,81	3591,05	79,80	319,20	89,38	4309,26	1482,14	166,81
	CO	39645,16	15162,20	462,85	1851,38	312,82	20397,15	7020,68	667,26
	N ₂ O	4,31	3,99	7,98	31,92	4,47	0,00	23,40	8,34

Marmaray'ın sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisini düşük seviyede gösteren verimli taşıt kullanımı senaryosu ve hattın sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisini yüksek seviyede gösteren verimsiz taşıt kullanımı senaryolarını incelediğimizde, taşıt doluluğunun arttıkça emisyon miktarlarının düştüğünü görmekteyiz. Oluşturulan bu üç senaryoda, taşıtların kişi başına bir km'de oluşturduğu CO₂ emisyonlarının karşılaştırdığı Tablo 5.52 de görüldüğü üzere verimli taşıt kullanımıyla (Senaryo 5) km'de kişi başına emisyonlar düşmekte, tersi şekilde verimsiz taşıt kullanımıyla (Senaryo 6) km'de kişi başına emisyonlar artmaktadır.

Tablo 5.52 : Taşıt türlerine göre km de kişi başı emisyon miktarları

CO ₂ (g/kişi-km)		Otomobil						Otobüs	Minibüs
		Benzinli				Dizel	Lpg		
		Emisyon Standardı							
		KontROLSÜZ	15,04	EURO I	EURO III				
Senaryo 6		270,00	200,00	205,00	205,00	190,00	180,00	77,00	93,33
Senaryo 4		180,00	133,33	136,67	136,67	126,67	120,00	17,11	20,00
Senaryo 5		67,50	50,00	51,25	51,25	47,50	45,00	7,70	14,00

Marmaray Raylı Sistemi'nin ayrı ayrı incelenen 40 bölümünde hesaplanan sera gazı emisyonlarının toplamı Senaryo 1 için Tablo 5.53 de verilmiştir.

Tablo 5.53: Senaryo 4 e göre tüm Marmaray Raylı Sisteminin emisyonlara etkisi

		Senaryo 4 (ton/yıl)
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO ₂	422.232,10
	NO _x	3.923,63
	CH ₄	64,63
	NM _{VOC}	3.532,57
	CO	22.335,56
	N ₂ O	26,13

Toplam emisyonlar kütsel olarak incelendiğinde en fazla emisyonun CO₂, daha sonra sırasıyla CO, NO_x, NMVOC, CH₄ ve N₂O olduğu görölmektedir. Daha önce belirtildiğı üzere aynı kütledeki farklı gazların küresel ısınma potansiyelleri de farklılık göstermektedir. Örnek olarak 1 ton CH₄’ın 23 ton CO₂ ile eşdeğer, 1 ton N₂O ‘in ise 296 ton CO₂ ile eşdeğer küresel ısınma potansiyeli vardır. Bu üç gazın küresel ısınma potansiyelleri göz önüne alındığında, toplam 65,50 ton CH₄ ‘ın CO₂ eşdeğeri 1506,5 ton, toplam 26,71 ton N₂O ‘in CO₂ eşdeğeri ise 7906,16 ton’dur. Bu değerlere rağmen tek başına CO₂ emisyonlarının 427725,23 ton ile diğer emisyonlardan çok daha fazla sera etkisinin olacağı görölmektedir.

Diğer taşıt doluluk senaryolarına göre hesaplanan sera gazı emisyonları miktarları Tablo 5.54 de verilmiştir.

Tablo 5.54: Senaryo 5 ve Senaryo 6’ya göre tüm Marmaray Raylı Sisteminin emisyonlara etkisi

		Senaryo 5 (ton/yıl)	Senaryo 6 (ton/yıl)
Emisyon Değeri (ton/yıl)	CO₂	185.155,95	1.875.341,64
	NO_x	1.729,86	19.148,17
	CH₄	27,94	355,64
	NMVOC	1.521,36	14.605,46
	CO	9.602,01	85.519,49
	N₂O	11,38	84,41

Hesaplanan emisyon miktarları Marmaray projesinin sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi olarak incelendiğinde yıllık 427725,3 ton CO₂ emisyonunda azalma olacağı görölmektedir. Ayrıca en kötü senaryoya (Senaryo 2) göre 188167,85 ton CO₂, en iyi senaryoya (Senaryo 3) göre ise 1907090,82 ton CO₂ emisyonunda azalmaya yol açacağı söylenebilir. Bu senaryolara göre Marmaray Raylı Sistemi’nin karşılaştırma amaçlı yolcu başına emisyonları Tablo 5.55 da gösterilmiştir.

Tablo 5.55 : Marmaray Raylı Sisteminin taşıdığı yolcu başına sera gazı emisyonu kazancı

		Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
Kişi Başı Emisyon Değeri (g/kişi)	CO₂	735,372	323,510	3278,789
	NO_x	6,744	2,982	33,112
	CH₄	0,113	0,049	0,625
	NMVOC	6,186	2,671	25,741
	CO	39,142	16,875	150,848
	N₂O	0,046	0,020	0,149

5.5.3 Marmaray Projesi'nin İstanbul Kent İçi Ulaşımına ve Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarına Olan Etkisi

Bu bölümde Marmaray Raylı Sistemi ve bu sisteme bağlanacak olan diğer sistemlerin İstanbul kent içi ulaşımına etkileri incelenmiş, sistemin ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarına etkisi hesaplanmıştır.

2023 yılı için İstanbul kent içi ulaşım karakteristiğinin, projenin olması ve olmaması durumundaki değişimini veren bir modelden alınmış, günlük otobüs, minibüs, otomobil ve raylı sistem yolcu sayılarının ve ortalama yolculuk uzunluklarının değişimi Tablo 5.56'da gösterilmiştir. Raylı sistemde projeli durumda, projersiz duruma ek olarak Marmaray Raylı Sistemi ve bu sisteme entegre edilecek diğer raylı sistemler bulunmaktadır, yani hesaplamalar sonucunda, Marmaray Projesi ile birlikte bu sisteme bağlı diğer raylı sistemlerin de ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarına etkisi hesaplanmıştır.

Tablo 5.56: Marmaray Projesinin yolcu sayıları ve ortalama yolculuk uzunluklarına etkisi [37]

	Projeli	Projersiz	Fark
Otobüs Yolcu Sayısı	6.144.947	6.747.653	-602.706
Otobüs Ortalama Yolculuk Uzunluğu	9,94	8,66	1,28
Minibüs Yolcu Sayısı	1.607.160	1.655.400	-48.240
Minibüs Ortalama Yolculuk Uzunluğu	5,37	5,33	0,04
Otomobil Yolcu Sayısı	10.090.612	10.139.426	-48.814
Otomobil Ortalama Yolculuk Uzunluğu	15,17	14,62	0,55
Raylı Sistem Yolcu Sayısı	7.031.687	5.781.193	1.250.494
Raylı Ortalama Yolculuk Uzunluğu	8,15	6,96	1,19
Toplam Karayolu Yolcu Sayısı (Otomobil, Otobüs, Minibüs)	17.842.719	18.542.479	-699.760
Toplam Toplu Taşıma Yolcu Sayısı (Otobüs, Minibüs, Raylı Sistem)	14.783.794	14.184.246	599.548
Toplam Yolcu	24.874.406	24.323.672	550.734

Model verileri incelendiğinde, 2023 yılı için, projeli durumda projersiz duruma göre otobüs yolcu sayısında 602.706, minibüs yolcu sayısında 48.240, otomobil yolcu sayısında 48.814 azalma ile karayolu ulaşımı toplam yolcu sayısında 699.760 lık bir azalma öngörülmektedir. Buna karşılık raylı sistem yolcu sayısında 1.250.494 lük bir artış söz konusudur. Toplam yolcu sayısında ise (Raylı sistem ve karayolu ulaşımı) 550.734 yolculuk bir artış öngörülmüştür. Bir başka deyişle Marmaray projesinin

devreye girmesi ile karayolu ulaşımından raylı sisteme kayan yolcuların dışında, daha önce ulaşım sistemine dahil olmayan yeni yolcular sisteme katılmıştır.

Modelden çıkan bir diğer veri de ortalama yolculuk uzunlukları verisidir. Bu değerler incelendiğinde karayolu ulaşımında (otomobil, otobüs, minibüs) toplam yolcu sayısındaki azalmaya karşılık, ortalama yolculuk uzunluklarının projeli durumda projersiz duruma göre artış göstermektedir. Raylı sistemi besleyen yeni otobüs ve minibüs hatlarının oluşması, ortalama yolculuk uzunluklarının artışının sebeplerinden biri olarak görülmektedir. Projeli durumda yolcu sayısı artan raylı sistemde de ortalama yolculuk uzunluklarında artış görülmektedir.

Bu bölümde Marmaray projesinin ve bu projeye entegre olacak diğer sistemlerin olması ve olmaması durumunda, yolcu sayılarında ve ortalama yolculuk uzunluklarındaki değişimin sera gazı emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Bunun için öncelikle taşıt doluluk sayılarına göre yolcular taşıtlara paylaştırılarak taşıt sayıları hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan taşıt doluluk sayıları şu şekildedir.

Tablo 5.57: Taşıt doluluk sayıları

Senaryo 7	
Otomobil (x)	1,5 Kişi
Otobüs (y)	45 Kişi
Minibüs (z)	14 Kişi

Taşıt doluluk senaryosuna göre hesaplanan taşıt sayıları ve modelden alınan ortalama yolculuk uzunlukları projeli ve projersiz durum için Tablo 5.58’de gösterilmiştir.

Tablo 5.58: Taşıt sayıları ve ortalama yolculuk uzunlukları

	Projeli	Projersiz	Fark
Otobüs Yolcu Sayısı	6.144.947	6.747.653	-602.706
Otobüs Sayısı	136.554	149.948	-13.393
Ortalama Yolculuk Uzunluğu	9,94	8,66	1,28
Minibüs Yolcu Sayısı	1.607.160	1.655.400	-48.240
Minibüs Sayısı	114.797	118.243	-3.446
Ortalama Yolculuk Uzunluğu	5,37	5,33	0,04
Otomobil Yolcu Sayısı	10.090.612	10.139.426	-48.814
Otomobil Sayısı	6.727.075	6.759.617	-32.543
Ortalama Yolculuk Uzunluğu	15.17	14.62	0,55

Hesaplanan taşıtlar kullandıkları yakıt tipleri ve emisyon kontrol teknolojilerine göre sınıflandırılarak, daha önce bahsedilen Tier2/3 yaklaşımına göre emisyon hesapları

yapılmıştır. Marmaray projesinin olması veya olmaması durumunda (Projeli – Projesiz) İstanbul kent içi trafiğindeki otomobil, otobüs ve minibüs kaynaklı sera gazı emisyonları miktarları Tablo 5.59 ve Tablo 5.60’da verilmiştir.

Tablo 5.59: Projesiz durum için otomobil, otobüs ve minibüs kaynaklı emisyonlar

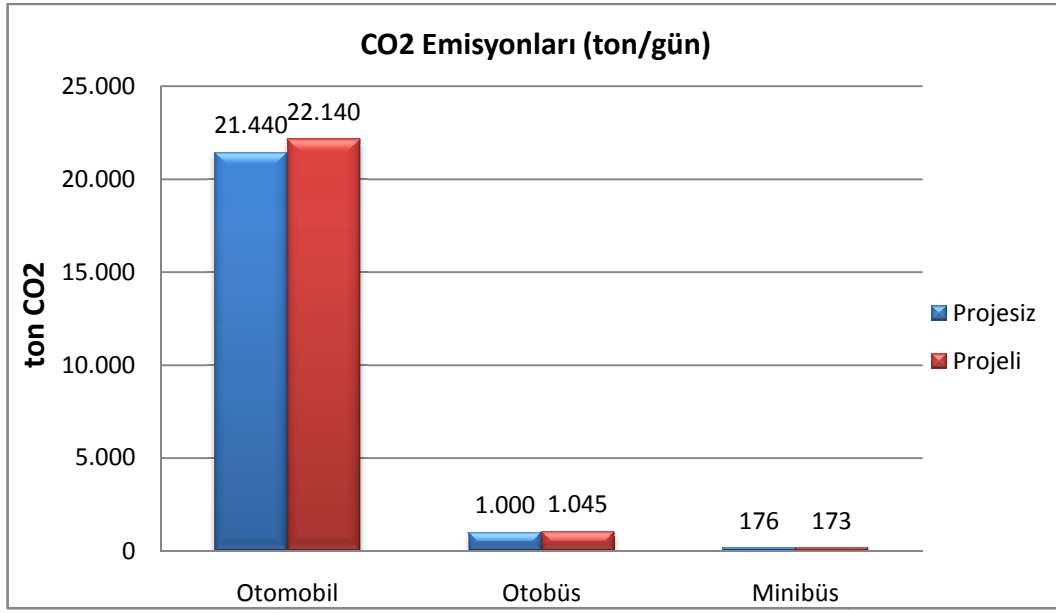
Projesiz Durum (Emisyonlar)										
		Otomobil						Otobüs	Minibüs	Toplam
		Benzinli				Dizel	Lpg			
		Emisyon Standardı								
		KontROLSüz	15,04	EURO I	EURO III					
	Araç Sayısı	1825097	1689904	337981	1351923	946346	608366			
Menzil		14,62	14,62	14,62	14,62	14,62	14,62	8,66	5,33	
Emisyonlar (ton/gün)	CO2	7.204,39	4.941,28	1.012,96	4.051,85	2.628,76	1.600,97	999,88	176,47	22.616,56
	NOx	58,70	56,82	2,47	9,88	9,68	19,57	12,99	0,88	171,00
	CH4	1,87	1,73	0,10	0,40	0,07	0,53	0,08	0,00	4,78
	NMVOC	141,42	111,18	2,47	9,88	2,77	13,34	2,47	0,25	283,78
	CO	1.227,41	469,42	14,33	57,32	9,68	63,15	11,69	1,01	1.854,01
	N2O	0,13	0,12	0,25	0,99	0,14	0,00	0,04	0,01	1,68

Tablo 5.60: Projeli durum için otomobil, otobüs ve minibüs kaynaklı emisyonlar

Projeli Durum (Emisyonlar)										
		Otomobil								Toplam
		Benzinli								
		Emisyon Standardı								
		KontROLSüz	15,04	EURO I	EURO III					
	Araç Sayısı	1816310	1681769	336354	1345415	941790	605437	136554	114797	
Menzil		15,17	15,17	15,17	15,17	15,17	15,17	9,94	5,37	
Emisyonlar (ton/gün)	CO2	7.439,42	5.102,49	1.046,01	4.184,04	2.714,52	1.653,21	1.045,16	172,61	23.357,46
	NOx	60,62	58,68	2,55	10,20	10,00	20,21	13,57	0,86	176,70
	CH4	1,93	1,79	0,10	0,41	0,07	0,55	0,08	0,00	4,93
	NMVOC	146,03	114,81	2,55	10,20	2,86	13,78	2,58	0,25	293,05
	CO	1.267,46	484,74	14,80	59,19	10,00	65,21	12,22	0,99	1.914,59
	N2O	0,14	0,13	0,26	1,02	0,14	0,00	0,04	0,01	1,74

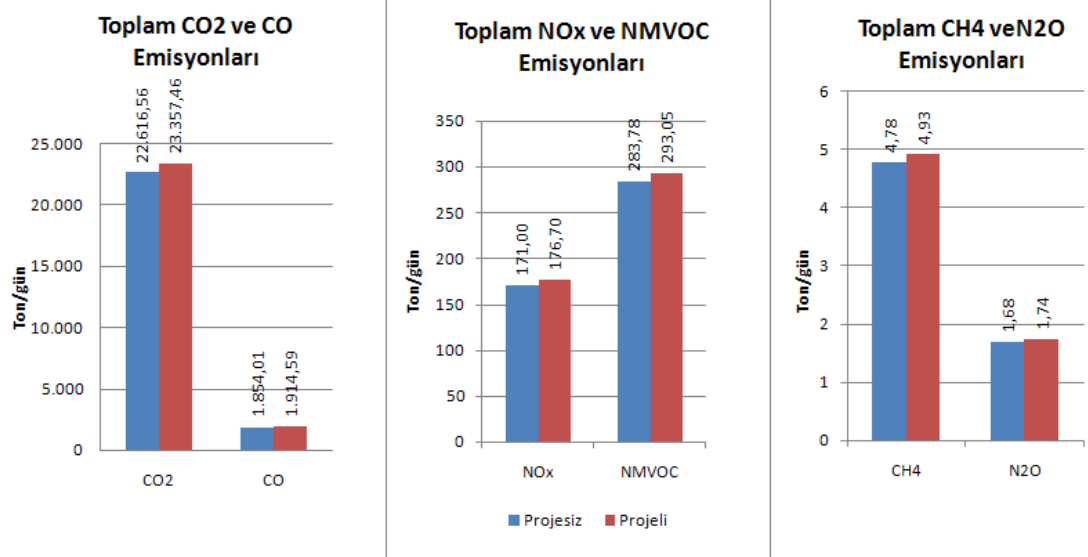
Sonuçlardan elde edilen verilere göre projeli durumda projesiz duruma göre emisyonlarda artış görülmektedir. Projeli durumda karayolu yolcu sayısının azalması sebebiyle trafiğe çıkan taşıt sayısının azalmasına rağmen toplam emisyon değerlerinin artmasının sebebi, projeli durumda ortalama yolculuk uzunluklarının artışı olarak görülmektedir. Emisyonları taşıt bazında incelediğimizde otomobil ve otobüs emisyonlarının projeli durumda aynı nedenle arttığı ancak minibüste bir azalma olduğu görülmüştür. Bunun sebebi de minibüs yolcu sayısının azalmasına

rağmen ortalama yolculuk uzunluğunun çok az seviyede (5,33 km'den 5,37 km'ye) artmasıdır. Yakıtların yanması kaynaklı emisyonların büyük bölümünü oluşturan CO₂ emisyonlarında otomobil kaynaklı olanların projersiz durumda 21.440 ton/gün iken, projeli durumda bu değer 22.140 ton/gün'e çıkmaktadır. Otobüs için projersiz durumda CO₂ emisyonları 1000 ton/gün iken projeli durumda bu değer 45 tonluk artışla 1045 ton/gün'e ulaşmaktadır. Minibüs için ise görüleceği üzere 176 ton/gün'den 173 ton/gün'e gerilemektedir. Şekil 5.5 de taşıt tiplerine göre projeli ve projersiz durum için CO₂ emisyonu değerleri görülmektedir.



Şekil 5.5: Taşıt türlerine göre projeli ve projersiz durum için emisyonlar

Hesaplanan verilerden otomobil kaynaklı CO₂ emisyonlarının minibüs ve otobüs kaynaklı toplam CO₂ emisyonu miktarlarından yaklaşık 20 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Buna karşılık otomobille taşınan yolcu sayısı, minibüs ve otobüs yolcu sayısı toplamının yalnızca yaklaşık 1,25 katıdır. Bu durum toplu taşımanın sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisinin iyi bir örneğidir. Şekil ... da projeli ve projersiz durumdaki sera gazı emisyonundaki değişim grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Projeli ve projersiz durum için sera gazı emisyonlarındaki değişim

Tablo 5.61’de taşıt türlerine göre yolcu km çarpımı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.61: Taşıt türlerine göre yolcu.km değerleri

	Projeli	Projesiz
Otobüs Yolcu X km	61.080.773	58.434.675
Minibüs Yolcu X km	8.630.449	8.823.282
Otomobil Yolcu X km	153.074.584	148.238.408
Raylı Sistem Yolcu X km	57.308.249	40.237.103
Toplam Yolcu X km	280.094.055	255.733.468
Toplam Yolcu	24.874.406	24.323.672

Tablo 5.62 de Marmaray projesinin olması ve olmaması durumunda, toplam, kişi başına ve kişi başına km’de oluşan emisyonları gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kişi başına düşen emisyon değerleri (otomobil, minibüs ve otobüs yolcu sayılarının azalmasına rağmen, ortalama yolculuk uzunluklarının yolcu sayısındaki azalışa oranla daha fazla artması sebebiyle projeli durumda yolcu x km değeri artış gösterdiğinden) yükselmekte, kişi başına km’de oluşan emisyonlar ise projeli durumda azalmaktadır. Örnek olarak kişi başına projersiz durumda 929.817 g CO₂ emisyonu açığa çıkarken, projeli durumda kişi başına yaklaşık 10 g artışla 939,016 g CO₂ salınmaktadır. Ayı şekilde projeli durumda projersiz durumdan kişi başına, NO_x 74 mg, CH₄ 2 mg, NMVOC 114 mg, CO 747 mg, N₂O 1 mg fazla emisyon açığa çıkmaktadır.

Tablo 5.62: Projeli ve projersiz durum için sistemin emisyonlara etkisi

Emisyonlar (g/gün)						
	Projersiz Durum			Projeli Durum		
	Toplam	Emisyon/ Yolcu	Emisyon/ Yolcu X km	Toplam	Emisyon/ Yolcu	Emisyon/ Yolcu X km
CO ₂	22.616.562.951	929,817	88,438	23.357.456.219	939,016	83,391
NO _x	171.000.524	7,030	0,669	176.695.609	7,104	0,631
CH ₄	4.775.280	0,196	0,019	4.931.885	0,198	0,018
NMVOC	283.779.357	11,667	1,110	293.054.962	11,781	1,046
CO	1.854.013.990	76,223	7,250	1.914.592.925	76,970	6,836
N ₂ O	1.682.184	0,069	0,007	1.736.870	0,070	0,006

Bu değerlere karşılık kişi başına km’de projeli durumda projersiz duruma göre CO₂ 5,047 g, NO_x 38mg, CH₄ 1 mg, NMVOC 64 mg, CO 434 mg, N₂O 1 mg daha az emisyon oluşmaktadır. Bu hesaplamalarda sadece işletme sırasında oluşan emisyonlar hesaplanmıştır. Bu sebeple raylı sistemin emisyonu sıfır kabul edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Özellikle sanayi devriminden günümüze, fosil yakıtların kullanımının artması ve orman alanlarının azalması sebebiyle atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları artmış ve küresel iklim sistemini tehdit eder hale gelmiştir. Atmosferdeki sera etkisini arttırıcı etkiye sahip sera gazlarının emisyonunda ulaştırma sektörü 2004 yılı itibarıyla %16,73 lük bir paya sahiptir. Ulaştırma sektöründeki alt gruplar içinde en büyük emisyon kaynağını karayolu oluşturmaktadır. 1990 yılında 24035,93 Gg olan karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonları, 2006 yılında 37309,17 Gg'a çıkmıştır. Ülkemizde yeni proje ve yatırımlarla bu emisyon değerlerinin aşağıya çekilmesi planlanmaktadır.

Türkiye'nin en fazla nüfusa sahip ili olan İstanbul'da yapım aşamasında olan Marmaray projesi, hem kentteki toplu taşıma oranını arttırma hem de sera gazı emisyonlarının azaltma yönünde çok önem taşıyan bir projedir. Yapılan bu çalışmada kent içi ulaşımında toplu taşımanın önemi belirtilerek, Marmaray projesinin karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarda IPCC emisyon hesabı yaklaşımlarında Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları kullanılmıştır. Emisyon faktörlerinde ise Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş olan COPERT modeli ile elde edilen emisyon faktörlerinden yararlanılmıştır.

Hesaplamalarda Marmaray projesi durak durak toplam 40 bölüme ayrılmış, öncelikle her bölümün ayrı ayrı, sonra hattın tamamının sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi incelenmiştir. Bu hesaplamalarda iki farklı yaklaşım kullanılmıştır.

İlk hesaplamalarda Marmaray Raylı Sistemi'nin olmaması durumunda yolcuların karayolu ulaşımında kullanacakları taşıt türleri dağılımının, İstanbul taşıt parkındaki türlere göre dağılımına eşit olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca hesaplamalarda, yalnızca yolcu taşıma amacı ile kullanıldıklarından, otomobil, otobüs, minibüs ve motosiklet hesaba dahil edilmiş, traktör, kamyon ve iş makineleri dahil edilmemiştir.

İstanbul taşıt parkı dağılımının kent içi trafik karakteristiğini yansıtmadığı düşünülerek, taşıt parkı verileri yerine İstanbul kent içi karayolu ulaşımında taşıtların türlere göre dağılımı verileri kullanılarak ikinci bir hesap yöntemi oluşturulmuştur. Ayrıca köprü geçişlerinde taşıt yüzdeleri olarak Boğaziçi Köprüsü ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsünden geçen ortalama taşıt yüzdeleri alınmıştır. Bu hesaplamalarda motosiklet kullanım oranının düşük olması, ve motosikletin diğer taşıtlara göre çok daha az sera gazı emisyonu yapması sebebiyle hesaplama dahil edilmemiştir.

Yolcu sayısı hesabında 2023 yılı duraklar arası trafiği öngörüsü kullanılarak yıllık yolcu sayıları hesaplanmış, ardından oluşturulan taşıt doluluk senaryoları ve trafikteki taşıt dağılımına göre taşıt sayısı hesaplanmıştır. Taşıtlar yakı türleri ve emisyon kontrol teknolojilerine göre sınıflandırılmalarının ardından, ilgili emisyon faktörü ve taşıt aktivitesi kullanılarak, Marmaray Raylı Sisteminin ayrı ayrı incelenen 40 bölümü için sera gazı emisyonları hesaplanmış. Daha sonra bu değerler toplanarak hattın toplam yıllık sera gazı emisyonlarını azaltıcı etkisi incelenmiştir.

Yapılan ilk hesaplamada İstanbul trafiğindeki gerçek doluluk sayıları kullanılarak oluşturulan Senaryo 1' e göre, Marmaray projesinin CO₂ emisyonlarını yıllık 933106,71 tonluk bir azaltma etkisi olduğu bulunmuştur. Marmaray projesinin sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik etkisini en yüksek olarak gösteren Senaryo 3 ve en düşük gösteren Senaryo 2 ile elde edilen sonuçlara göre 400732,15 ton/yıl ile 2143182,54 ton/yıl arasında CO₂ emisyonlarını azaltıcı etkisi olduğu görülmüştür.

Yapılan ikinci hesaplamada ise Senaryo 4'e göre Marmaray projesinin yıllık CO₂ emisyonlarını 427725,23 ton azaltacağı hesaplanmıştır. Diğer senaryolara göre hattın CO₂ emisyonlarını azaltıcı etkisi en az 188167,85 ton/yıl, en çok 1907090,82 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu hesaplamada Marmaray projesinin önemli bölümlerinden biri olan boğaz tüp geçidinin, FSM ve Boğaziçi köprüsü trafiğini günlük yaklaşık 130000 taşıt azaltacağı sonucuna varılmıştır.

Marmaray Raylı sisteminin işletilmesi için gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında da çeşitli sera gazı emisyonları oluşmaktadır. Ancak aynı şekilde motorlu taşıtların kullandığı yakıtların rafinerilerde üretimi sırasında da emisyonlar oluşmaktadır. Bu sebeple Marmaray Raylı Sisteminin enerji ihtiyacı sebebiyle oluşan emisyonlar ile yakıtların işlenmesi sırasında açığa çıkan emisyonlar ihmal edilmiştir. Ayrıca taşıt üretimi ve lokomotif üretimi süreçlerinde oluşan emisyonlar hesaplara

dahil edilmiştir. Bir başka deyişle sadece işletme sırasında oluşan emisyonlar üzerinde durulmuştur.

Hesaplamalar sonucunda en fazla sera gazı emisyonunun CO₂ emisyonu olduğu, bu gazı sırasıyla CO, NO_x, NMVOC, CH₄ ve N₂O olduğu gözlenmiştir. CH₄'ın küresel ısınma potansiyelinin aynı miktar CO₂'in 23 katı, N₂O'nın küresel ısınma potansiyelinin aynı miktar CO₂'in 296 katı olmasına rağmen CO₂ emisyonu miktarının diğer emisyonlara göre çok yüksek olması sebebiyle, karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonları içinde en etkin gazın CO₂ olduğu görülmüştür.

Yapılan hesaplarda en fazla sera gazı emisyonu yayan taşıtın otobüs olduğu görülmüştür. Toplam yıllık 152768,16 ton CO₂ emisyonuna yol açan otobüsler, toplam CO₂ emisyonlarının %35 ini oluşturduğu görülmüştür. CO₂ emisyonunda ikinci sırayı %19'luk pay ile emisyon kontrolü olmayan taşıtlar almaktadır. Ancak bu taşıtların taşıdıkları yolcu sayıları dikkate alındığında, otobüste 45 yolcu otomobilde 1,5 yolcu olduğu düşünüldüğünde, otobüs için bir kişi başına km'de oluşan CO₂ emisyonu 17,1g iken, bu değer kontrolsüz taşıt için 180 g olarak hesaplanmıştır. Bu da kent içi toplu taşıma alışkanlıklarının artışının, sera gazı emisyon miktarını azaltıcı etkisinin çarpıcı bir örneğidir.

Bir sonraki adımda, Marmaray Raylı Sistemi ve bu sisteme bağlanacak olan diğer sistemlerin İstanbul kent içi ulaşımına etkileri incelenmiş, sistemin ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonlarına etkisi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda projeli ve projersiz durumda otomobil, otobüs, minibüs ve raylı sistem yolcu sayıları ve ortalama yolculuk uzunlukları verileri kullanılmıştır. Projeli durumda otomobil, otobüs ve minibüs yolcu sayısında azalma, raylı sistem yolcu sayısında artma öngörülmüştür. Ayrıca bu yolcu verilerinden sisteme yeni yolcuların dahil olduğu görülmüştür.

Yapılan hesaplamalarda projeli durumda emisyonlar projersiz duruma kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi projeli durumda karayolu ulaşımı yolcu sayılarının projersiz duruma göre azalmasına rağmen, ortalama yolculuk uzunluklarının artışı olarak tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra kişi başı ve kişi başı km'de oluşan emisyonlar incelenmiştir. Projeli durumda kişi başına emisyonlar artarken, kişi başı km'de emisyonların düştüğü görülmüştür.

Marmaray projesinin, kent içi ulaşımında toplu taşımanın payını arttıracığı öngörülmektedir. Elde edilen sonuçlar taşınan yolcu sayısının artışıyla, yolcu başına düşen emisyon değerlerinde azalma sağlanabileceğini göstermektedir. Özellikle demiryolu ulaşımında kullanılan sistemlerin daha kaliteli hale getirilmesi, yolcu kapasitelerinin artırılması ve tam kapasite yolcu taşınması gibi unsurlar sağlandığında, hem ucuz hem de çevreye daha az zararlı ulaşım imkanları elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Türkeş M.** , 2007. Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007*, İTÜ, İstanbul, 11 - 13 Nisan, s. 38-52
- [2]**IPCC**,2002. Climate Change and Biodiversity, *IPCC Technical Paper V*
- [3]**DPT**, 2000. İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Sekizinci beş yıllık kalkınma planı*, Ankara
- [4] **Türkeş M.**, 2001. İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205
- [5]**IPCC**, 2007. IPCC 4th Assesment Report. *27th Session of the Integovermental Panel of Climate Change*, Valencia, 12 – 17 Kasım
- [6]**İncecik S.** , 2007.,İnsan Kaynaklı iklim Değişimi ve Türkiye, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007*, İTÜ, İstanbul, 11 - 13 Nisan, s. 28-37
- [7]**T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2004. İklim değişikliklerinin araştırılması çalışma grubu raporu, *Çevre ve Orman Bakanlığı İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu*, Nisan, s. 1-8
- [8]**Zeydan Ö.** , 2007. Küresel ısınmada etken olan hava kirleticileri ve Ülkemiz Emisyonları, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007*, İTÜ, İstanbul, 11 - 13 Nisan, s. 221-225
- [9]**T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2008. *İnternet sitesinde bulunmaktadır* <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/>
- [10]**TMMOB**, Küresel Isınma, İklim Felaketleri, Dünya ve Türkiye, *Jeoloji Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı* s. 156-163
- [11]**Kovancılar B.**, 2001, Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi ve Etkinliği, *Yönetim ve Ekonomi*, Cilt 8, Sayı 1
- [12]**U.S. Environmental Protection Agency**, 2002. Greenhouse Gases and Glocal Warming Potential Values Exerpt from the Inventory uf U.S. Greenhouse Emissions and Sinks, *U.S. Greenhouse Gas Inventory Program*, April
- [13]**T.C. Ulaştırma Bakanlığı**, 2006. Sera Gazları Emisyon Envanteri Çalışma Grubu Taslak Raporu, Nisan, s. 3-10
- [14]**TÜİK**, 2007. Sera Gazı Emisyonu envanteri 1990-2004, *Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu*, Sayı:197, 19 Ocak

- [15]T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 2007. National Inventoy Report Turkish Transport Sector, Eylül.
- [16]Ergeneman M., Kutlar A., 1997. Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [17]IPCC, 2007. Changes in Atmospheric Constituentsin Radiative Forcing, *IPCC 4th Assessment Report Chapter 2, s.214*
- [18]Türkeş M. 2001. Küresel iklimin korunması, İklim Degisikligi Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye. *Tesisat Mühendisligi*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süreli Teknik Yayın 61, s.14-29.
- [19]T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kapsamında Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi, Ankara, Ocak
- [20]Şahin M., 2006. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye, *Çevre Ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*. s. 1-7
- [21]Kadioğlu S., Dokumacı O., 2006. İklim Değişikliği ve Türkiye, *Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, s 1- 7
- [22]IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Gas Inventories Volume 2 ,Chapter 2, *Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme*, Paris
- [23]T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 2007. Ulaşımdan İletişime Kalkınan Türkiye 2004 – 2007, Ankara
- [24]İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2006. İstanbul Büyükşehir Belediyesi 2007 - 2011 Stratejik Planı, İstanbul, s. 73-80
- [25]OSD, 2008. 2007 Yılı Otomobil ve Toplam Motorlu Araç Parkı, Dünya ve Türkiye, *Otomotiv Sanayicileri Derneği*, Şubat
- [26]T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Marmaray Projesi, *İnternet sitesinde bulunmaktadır* (www.marmaray.com.tr)
- [27] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2007. 2007 Yılı Ulaşım A.Ş. Toplam Yolcu Geçişleri, *İnternet sitesinde bulunmaktadır* (www.istanbul-ulasim.com.tr)
- [28]T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 2007. Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları inşaatı genel müdürlüğü, Ankara, B.11 DLH.010/587,Mart
- [29]TÜİK, 2007. Türkiye Taşıt Parkı, *Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, İnternet sitesinde bulunmaktadır*, (www.tuik.gov.tr)
- [30]TÜİK, 2007. Model Yıllarına Göre Türkiye Taşıt Parkı, *Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, İnternet sitesinde bulunmaktadır*, (www.tuik.gov.tr)
- [31]JICA, 2007. Study on integrated urban transportation master plan for İstanbul metropolitan area in Republic of Turkey Progress Report, *İstanbul metropolitan Municipaty & Japan International Cooperation Agency*, Kasım.
- [32]TÜİK, 2006. Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (milyon ton CO2 eşdeğeri) *İnternet sitesinde bulunmaktadır*, (www.tuik.gov.tr)

- [33]TÜİK, 2006. Türkiye'nin Toplam Sera Gazı Emisyonu (milyon ton CO2 eşdeğeri) *Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, İnternet sitesinde bulunmaktadır*, (www.tuik.gov.tr)
- [34]İETT, 2008. İstanbul kent içi trafiğinde yolculukların türlere göre dağılımı, *İnternet sitesinde bulunmaktadır*, (www.iett.gov.tr)
- [35]Pekin M. A., 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, *Yüksek Lisans Tezi*,İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [36]IPCC 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume III: Reference Manual, Chapter1 pp 4-44, 62-98, *Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme*, Paris.
- [37]JBIC/DLH, 2007. Special Assistance for Projects Implementation for Bosphorus Rail tube Crossing Project 1 and 2 Draft Final Report, April.
- [38]KGM, 2007. Otoyollar ve devlet yollarının trafik dilimlerine göre yıllık ortalama trafik değerleri, *Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü*, Temmuz, s.13
- [39]TÜİK, 2007. 2006 yılı sonu itibariyle trafiğe kayıtlı taşıtların yakıt türlerine göre dağılımı, *Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu*, Ankara
- [40]İETT, 2007. Stratejik Plan 2008 – 2012, *T.C. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı*, İstanbul.
- [41]Gerçek H. 2008, Kişisel görüşme.

ÖZGEÇMİŞ

Levent Topçu, 1983 yılında Balıkesir’de doğdu. İlköğrenimini Hilal Necmiye Hüsnü Ataberk İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Orta öğrenimini Suphi Koyunucuoğlu Orta Okulu’nda tamamladıktan sonra lise öğrenimini geçirdiği Bornova Anadolu Lisesi’ni kazandı. 2002 senesindeki mezuniyetinden sonra aynı sene Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’ne başladı. 2006 senesinde lisans programından mezun olduktan sonra aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Otomotiv Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.