

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPLU TAŞIMADAKİ DOĞALGAZLI OTOBÜSLERİN
KARBONDİOKSİT EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet TEKTANIL

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Otomotiv

TEMMUZ 2008

**TOPLU TAŞIMADAKİ DOĞALGAZLI OTOBÜSLERİN
KARBONDİOKSİT EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet TEKTANIL

(503061713)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Temmuz 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Temmuz 2008

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

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

Prof. Dr. Orhan DENİZ (YTÜ)

TEMMUZ 2008

ÖNSÖZ

Son yıllarda hem ülkemizde hem de dünyada, küresel ısınma ciddi bir tehlike haline gelmiştir. Yüksek lisans tezimde de, ulaşım sektöründe, doğalgazlı otobüslerin küresel ısınmaya pozitif anlamda getirisi incelenip, sonuçları ortaya konulmuştur. Bu çalışmada bana yardımcı olan, yol gösteren yüksek lisans tezi danışmanım sayın **Prof. Dr. Cem SORUŞBAY**'a, hocam sayın **Prof. Dr. Metin ERGENEMAN**'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı tamamlamada büyük yardımları bulunan İETT Hasanpaşa Garajı makina mühendisi sayın **Ferit AKBULUT**'a ve beni tüm eğitim ve öğretim hayatımda destekleyen anneme ve babama, ve ayrıca proje arkadaşlarım **Anıl DİLER**, **Levent TOPÇU** ve **M. Sedat ÇEVİRGEN**'e teşekkür ederim.

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

Temmuz 2008

Mehmet TEKTANIL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. KÜRESEL ISINMA, SERA GAZI ve ETKİLERİ, KÜRESEL ISINMANIN TÜRKİYE'YE ETKİLERİ	4
2.1 Küresel Isınma	4
2.1.1 Etkileri:	5
2.1.2 İklim Sistemi	7
2.1.3 Önerilen Çözüm Yolları	8
2.2 Sera Gazları ve Etkileri	9
2.2.1 Sera Gazlarının Tanıtımı	11
2.3 İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	16
2.4 Kyoto Protokolü	18
2.4.1 Amaçlar	21
2.4.2 Anlaşmanın Durumu	22
2.4.3 Anlaşmanın Detayları	23
2.5 Küresel Isınma ve Türkiye	24
3. ULAŞIMDA SERA GAZLARI, YAKIT OLARAK DOĞALGAZ ve DOĞALGAZLI OTOBÜSLER	27
3.1 Taşıtlardan Kaynaklanan Sera Gazları	27
3.2 Yakıt Olarak Doğalgaz	30
3.2.1 Enerji Üretiminde Doğalgaz	30
3.2.2 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	31
3.2.3 Doğalgazın Avantajları	33
3.2.4 Doğal Gazın Dezavantajları	34
3.2.5 Doğalgaz Yakıt Sistemleri	34
3.2.6 Doğalgazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması	35
3.2.7 Doğalgazın Yanma Özellikleri	36
3.2.8 Doğalgaz Tabanlı Yakıtlar:	37
3.2.9 Araçların CNG'ye Dönüşümü için Opsiyonlar	37
3.3 İstanbul'da Toplu Taşımacılık	40
3.3.1 Karayolları	40
3.3.2 Raylı Sistemler	42
3.3.3 Deniz Yolları	42
3.4 İETT'ye Ait Doğalgazlı Otobüsler	43

4. IPCC METODOLOJİSİ ve HASANPAŞA GARAJINDAKİ OTOBÜSLERİN TIER 1 YAKLAŞIMINA GÖRE CO₂ EMİSYONLARININ ve MALİYETİNİN İNCELENMESİ	47
4.1 IPCC Metodolojisi	47
4.1.1 Tanım	47
4.1.2 IPCC Tier Yaklaşımları	49
4.1.3 Tier 1 Metoduna Göre Karbondioksit Emisyonlarının Hesap Şekli	50
4.2 Hasanpaşa Garajındaki Doğalgazlı Otobüslerin Tier 1 Yaklaşımına Göre CO ₂ Emisyonlarının ve Maliyetinin İncelenmesi	52
4.2.1 Tier 1 Yöntemine Göre 1 Megajoule Enerjiye Denk Gelen Doğalgaz, LPG, Motorin ve Benzin Tüketildiğinde Oluşan CO ₂ Emisyonları ve Yakıt Maliyeti	52
4.2.2 Aylara Göre Otobüslerin Ortalama Yakıt Tüketimlerinin Bulunması	55
4.2.3 1 Km’de Oluşan CO ₂ Emisyonlarının ve Yakıt Maliyetinin Hesaplanması	59
4.2.4 Tier 1 Yöntemine Göre Hasanpasa Garajında Çalışan Otobüslerin CO ₂ Emisyonlarının Hesaplanması	64
5. YAKIT TÜKETİMİNİN ve KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ TEORİK OLARAK HESAPLANMASI	75
5.1 Yakıt Tüketimine Etki Eden Değişkenlerin Analizi	75
5.2 Yakıt Tüketim Modelinin Yazılması	79
5.3 Diesel ve Doğalgaz Motorlarının Belli Bir Çevrim Boyunca Karbon Dioksit Emisyonları ve Yakıt Tüketimi Açısından Karşılaştırılması	89
6. CHASE CAR METODU İLE OTOBÜS SEYİR ÇEVİRİMİNİN ÇIKARILMASI	93
6.1 Metodun Tanımı	93
6.2 Seyir Çevriminin Çıkarılması	95
6.3 Deneysel Çalışma ile Teorik Çalışmanın Karşılaştırılması	96
7. SONUÇLAR	100
KAYNAKLAR	105
EK A	108
ÖZGEÇMİŞ	112

KISALTMALAR

CNG	: Compressed natural gas
LNG	: Liquefied natural gas
LPG	: Likit petrol gazı
OPEC	: Organization of the Petroleum Exporting Countries
CFC	: Cloroflorokarbon
HFC	: Hidroflorokarbon
İDÇS	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
OECD	: Organization for Economic Cooperation and Development
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BM	: Birleşmiş Milletler
TGT	: Temiz Gelişim Tekniği
OSA	: Onaylı Salınım Azaltımları
COP4	: The Fourth Session of the UNFCCC Conference of the Parties
COP6	: The Sixth Session of the UNFCCC Conference of the Parties
HC	: Hidro Karbon
EPA	: Environmental Protection Agency
PM	: Particule Matter
CDM	: Clean Development Mechanism
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
KP	: Kyoto Protokolü
IPCC	: Intergovernmental Panel On Climate Change
YTL	: Yeni Türk Lirası
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
İDO	: İstanbul Deniz Otobüsleri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Sera Gazlarının Küresel Isınmaya Katkısı (GWP) ve Sanayi Çağındaki Artış Oranları..... 10
Tablo 2.2	Kyoto Protokolü..... 18
Tablo 2.3	Türkiye'nin İklim Değişikliği ile İlgili Seçilmiş Göstergeleri. 25
Tablo 2.4	Temel CO ₂ Göstergelerine Göre Türkiye'nin Dünyadaki Sıralaması..... 26
Tablo 3.1	Sektörlere Göre Doğalgaz Kullanımı..... 31
Tablo 3.2	Yakıtların Özellikleri..... 36
Tablo 3.3	Motorları Doğalgaza Çevirme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları..... 39
Tablo 4.1	Yakıt Cinslerine Göre Net Kalorifik Değerler..... 50
Tablo 4.2	Yakıt Cinsine Göre Karbon Emisyon Faktörleri..... 51
Tablo 4.3	Yakıt Cinslerine Göre Oksidasyon Faktörleri..... 51
Tablo 4.4	Yakıtların Bazı Özellikleri..... 52
Tablo 4.5	1 Megajolue'e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Maliyet..... 53
Tablo 4.6	Megajolue'e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Karbondioksit Emisyonları 54
Tablo 4.7	Otobüslerin 2006 Yılına Ait Ocak, Şubat, Mart Yakıt Tüketimleri..... 56
Tablo 4.8	Otobüslerin 2006 Yılına Ait Nisan, Mayıs, Haziran Yakıt Tüketimleri..... 56
Tablo 4.9	Otobüslerin 2006 Yılına Ait Temmuz, Ağustos, Eylül Yakıt Tüketimleri..... 57
Tablo 4.10	Otobüslerin 2006 Yılına Ait Ekim, Kasım, Aralık Yakıt Tüketimleri..... 57
Tablo 4.11	Otobüslerin 2007 Yılına Ait Ocak, Şubat, Mart Yakıt Tüketimleri..... 58
Tablo 4.12	Otobüslerin 2007 Yılına Ait Nisan, Mayıs, Haziran Yakıt Tüketimleri..... 58
Tablo 4.13	Otobüslerin 2007 Yılına Ait Temmuz, Ağustos, Eylül Yakıt Tüketimleri..... 59
Tablo 4.14	Otobüslerin 2007 Yılına Ait Ekim, Kasım, Aralık Yakıt Tüketimleri..... 59
Tablo 4.15	Hasanpaşa Garajındaki Hatlar ve Çeşitli Özellikleri..... 64
Tablo 4.16	Hafta İçi Otobüs Adetleri..... 65
Tablo 4.17	Cumartesi ve Pazar Otobüs Adetleri..... 65
Tablo 4.18	8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO ₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması..... 66
Tablo 4.19	8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü 67

	CO ₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması	
Tablo 4.20	8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO ₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması.....	67
Tablo 4.21	8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO ₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması.....	68
Tablo 4.22	8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO ₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması.....	68
Tablo 5.1	İkarus 260.25 Taşıtının Teknik Özellikleri.....	78
Tablo 5.2	Kadıköy Ünalın Mahallesi Hattının Özellikleri.....	81
Tablo 5.3	Yakıt Tüketim Modelindeki Hızlara Göre Çevrim Oranları ve λ Değerleri.....	85
Tablo 5.4	Diesel ve Doğalgaz Motorunun Çevrim Boyunca Karşılaştırılması.....	89
Tablo 5.5	Çeşitli Tip Motorların 1 km'de CO ₂ ve Maliyet Karşılaştırılmaları.....	90
Tablo 5.6	Çeşitli Motorların 1 km'de Kişi Başına CO ₂ ve Maliyet Karşılaştırılmaları.....	90
Tablo 6.1	Diesel ve Doğalgaz Motorunun Çevrim Boyunca Karşılaştırılması.....	96
Tablo 6.2	Deneyisel Çalışma ile Teorik Çalışmanın 1 km'de CO ₂ ve Maliyet Karşılaştırılmaları.....	97
Tablo 6.3	Deneyisel Çalışma ile Teorik Çalışmanın 1 km'de Kişi Başına CO ₂ ve Maliyet Karşılaştırılmaları.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : Türkiye’de CO ₂ Emisyonlarının Sektörlere Göre Dağılımı (2000).....	2
Şekil 1.2 : Sera Gazlarının Küresel Isınmadaki Payları.....	3
Şekil 2.1 : 1856-2004 Arası Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı.....	4
Şekil 2.2 : Keeling Eğrisi.....	7
Şekil 2.3 : Küresel İklim Sisteminin Elemanları.....	8
Şekil 2.4 : Sera Etkisi.....	9
Şekil 2.5 : Türkiye’de Yıllara Göre Karbondioksit Salınımı (Kg).....	11
Şekil 2.6 : 2000 Yılında Yakıt Kullanımına Bağlı CO ₂ Emisyonlarının İllere Göre Dağılımı.....	12
Şekil 2.7 : Türkiye’de Yıllara Göre Kloroflorokarbon Salınımı (kg)...	13
Şekil 2.8 : Türkiye’de Yıllara Göre Metan Gazı Salınımı (kg).....	13
Şekil 2.9 : Türkiye’de Yıllara Göre Azot Oksitler Salınımı (kg).....	14
Şekil 3.1 : İstanbul’daki Ulaşım Yüzdeleri.....	40
Şekil 3.2 : İstanbul’da Kara Ulaşım Yolculuk Payları.....	41
Şekil 3.3 : İstanbul’daki Raylı Ulaşım Yolculuk Payları.....	42
Şekil 3.4 : İstanbul’daki Deniz Ulaşım Yolculuk Payları.....	43
Şekil 3.5 : Doğalgazlı Otobüs.....	44
Şekil 3.6 : Yüke Göre Doğalgaz Oranı.....	45
Şekil 3.7 : Ön Konsol.....	45
Şekil 3.8 : Basınç Tankları.....	46
Şekil 3.9 : İç Koltuk Dizaynı.....	46
Şekil 4.1 : 1 Megajoule’e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Maliyet.....	53
Şekil 4.2 : 1 Megajoule’e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Karbondioksit Emisyonları.....	54
Şekil 4.3 : Otobüslerin 2006 Yılı Aylarına Göre 1 Km’de Çıkarttıkları CO ₂ Emisyonları.....	60
Şekil 4.4 : Otobüslerin 2007 Yılı Aylarına Göre 1 Km’de Çıkarttıkları CO ₂ Emisyonları.....	60
Şekil 4.5 : 2006 Yılında 1 Kmde Kişi Başına Düşen CO ₂ Emisyonları	61
Şekil 4.6 : 2007 Yılında 1 Kmde Kişi Başına Düşen CO ₂ Emisyonları	62
Şekil 4.7 : 2006 Yılında Otobüslerin 1 Km de Tükettikleri Yakıtın Maliyeti.....	63
Şekil 4.8 : 2007 Yılında Otobüslerin 1 Km de Tükettikleri Yakıtın Maliyeti.....	63
Şekil 4.9 : 2006 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Haftaiçi 1 Gün CO ₂ Miktarı.....	70
Şekil 4.10 : 2007 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Hafta içi 1	70

	Gün CO ₂ Miktarı.....	
Şekil 4.11	: 2006 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Cumartesi 1 Gün CO ₂ Miktarı.....	71
Şekil 4.12	: 2007 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Cumartesi 1 Gün CO ₂ Miktarı.....	71
Şekil 4.13	: 2006 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Pazar 1 Gün CO ₂ Miktarı.....	72
Şekil 4.14	: 2007 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Pazar 1 Gün CO ₂ Miktarı.....	72
Şekil 4.15	: 2006 Yılı Aylarına Göre Toplam Karbondioksit Emisyonları.....	73
Şekil 4.16	: 2007 Yılı Aylarına Göre Toplam Karbondioksit Emisyonları.....	73
Şekil 4.17	: 2006 Yılı Aylarına Göre Toplam Maliyet.....	74
Şekil 4.18	: 2007 Yılı Aylarına Göre Toplam Maliyet.....	74
Şekil 5.1	: Çeşitli Değerleri Belli Olmayan Seyir Çevrimi.....	80
Şekil 5.2	: Hızlanma, Yavaşlama İvmeleri ve Kat Edilen Mesafeleri Eşit, Sabit Seyir Hızları Oranı 2 Olan Örnek Sabit Seyir Hızı Çevrimleri.....	80
Şekil 5.3	: Modelin Bulduğu Seyir Çevrimi (m/s olarak).....	83
Şekil 5.4	: Modelin Bulduğu Seyir Çevrimi (km/saat olarak).....	84
Şekil 5.5	: Raba Man Motorunun Yakıt Tüketim Eğrisi.....	87
Şekil 5.6	: Nonox Doğalgaz Motorunun Yakıt Tüketim Eğrisi.....	87
Şekil 5.7	: Kişi Başına Düşen Karbondioksit Emisyonları.....	91
Şekil 5.8	: Kişi Başına Düşen Yakıtın Maliyeti.....	92
Şekil 6.1	: Veri Toplama Aracı.....	93
Şekil 6.2	: GPS Ölçüm Donanımları.....	94
Şekil 6.3	: Sürücü Koltuğu.....	94
Şekil 6.4	: Otobüs Güzergahı.....	95
Şekil 6.5	: Otobüs Seyir Çevrimi.....	96
Şekil 6.6	: 1 Km'de Kişi Başına Düşen CO ₂ Emisyonları.....	98
Şekil 6.7	: 1 Km'de Kişi Başına Düşen Yakıtın Maliyeti.....	99

SEMBOL LİSTESİ

CO₂	:Karbon dioksit
CH₄	:Metan
O₃	:Ozon
N₂O	:Diazot monoksit
CO	:Karbon monoksit
HC	:Hidro karbon
NO_x	:Azot oksit
SO₂	:Kükürt dioksit
C	:Karbon
fr	:Yuvarlanma direnç katsayısı
m	:Taşıt kütlesi
t	:Süre
A	:Projeksiyon alanı
G	:Taşıt ağırlığı
S	:Mesafe
V	:Taşıt hızı
b_e	:Özgül yakıt tüketimi
B_e	:Yakıt tüketimi
C_w	:Aerodinamik direnç katsayısı
N_e	:Efektif motor gücü
α	:Eğim açısı
λ	:İvme direnç katsayısı
ρ	:Havanın özgül kütlesi
η_m	:Mekanik verim
TJ	:Terajoule
KW	:Kilowatt
N	:Newton
d/d	:Devir/dakika
l	:Litre
mm	:Milimetre
kg	:Kilogram
gr	:Gram

TOPLU TAŞIMADAKİ DOĞALGAZLI OTOBÜSLERİN CO₂ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

ÖZET

Dünyadaki sera gazlarının artması, küresel sıcaklıklarda da artışa neden olmaktadır. Özellikle fosil yakıtlardan ortaya çıkan CO₂ emisyonları küresel ısınmayı yaklaşık % 60 oranında etkilemektedir. Sanayi devriminden sonra bu yakıtların hızlı bir şekilde tüketilmesi ile dünya sıcaklığında 0.4 ile 0.6 °C artış gözlemlenmiştir. Bu yüzden daha düşük emisyonlara sahip ucuz alternatif yakıtların kullanılması gereklidir. Doğalgaz da bu alternatif yakıtlar arasından hem ucuzluğu, hem de az CO₂ emisyonu nedeniyle en çok öne çıkan fosil yakıttır. Toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerin çoğunun dizel motorlu olduğu düşünülürse, bu otobüslerin doğalgazlı otobüslere dönüştürülmesi, bulundukları şehir içinde hava kirliliğinin azaltımında önemli bir rol oynayacaktır. Bu çalışmada, İETT Hasanpaşa Garajında bulunan 100 adet hem doğalgaz, hem de mazotla çalışan çift yakıtlı otobüslerin hem CO₂ hem de maliyet açısından diğer otobüslere göre getirileri incelenmiştir. Ayrıca doğalgazın diğer yakıtlara göre emisyon ve maliyet açısından getirileri de incelenmiştir. Otobüslerin 2006 ile 2007 yıllarına ait yakıt tüketim değerleri İETT'den alınmış olup, IPCC Tier 1 yaklaşımı ile bu tüketim değerleri kullanılarak, 24 ay için de bu hesaplamalar yapılmıştır. Buna ek olarak, Matlab programı vasıtasıyla aynı otobüste hem doğalgaz motoru, hem de dizel motoru olduğu varsayılarak teorik bir hesap yapılmıştır ve bu iki motor emisyon ve maliyet bakımından birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamaların sonucu olarak, diğer yakıtlara göre doğalgazın otobüslerde kullanımının, hem maliyet, hem de emisyonlar açısından ciddi bir getirisi olduğu görülmüştür.

THE EFFECTS OF NATURAL GAS BUSES ON CARBON DIOXIDE EMMISSIONS IN PUBLIC TRANSPORTATION

SUMMARY

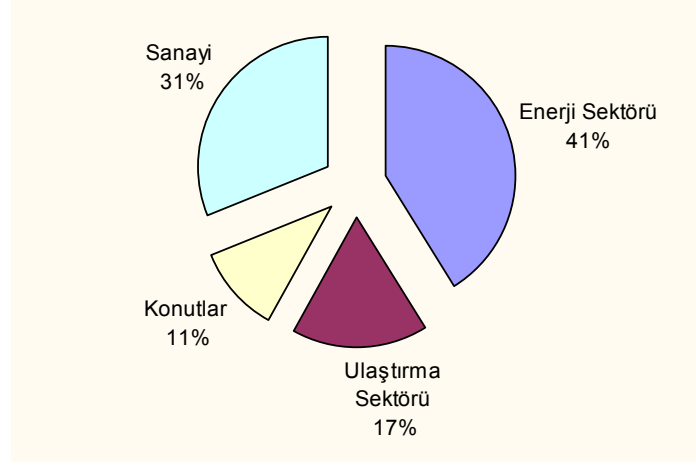
The increase in greenhouse gases on world also causes an increase in global warming. Particularly, CO₂ emitted from fossil fuels affects global warming in approximately % 60 rate. After industry revolution, a temperature increase between 0.4 and 0.6 °C is observed in world since these fossil fuels are consumed rapidly. Therefore, alternative fuels that have lower emissions and are cheap, should be used. Natural gas comes into prominence from these alternative fuels since it is cheaper and has low CO₂ emissions. Considering many of buses used in public transportation are diesel, converting them to natural gas also plays an important role for reduction in air pollution of the city. In this study, 100 dual buses that are in İETT Hasanpaşa Garage, are observed with regard to CO₂ emissions as well as their cost according to other buses. Also, natural gas is observed for its profit according to other fossil fuels considering CO₂ emissions and cost. The consumed fuel values of the buses related to 2006 and 2007 are taken from İETT and by using these values, calculations are done for 24 months according to IPCC Tier 1 Method. In addition to this, by means of Matlab software, supposing that a bus has a diesel engine as well as natural gas engine on it, a calculation is done theoretically and the engines are compared as their cost and emissions. According to the results, the usage of natural gas on buses with respect to other fuels provides a significant profit on account of CO₂ emissions and cost.

1. GİRİŞ

Dünyanın sıcaklığının uzun vadede artması, küresel ısınma veya sera gazı etkisi olarak bilinmektedir. Sanayi devriminden sonra fosil yakıtların daha fazla kullanılması ve ormanların tahrip edilmesi, insanlar tarafından üretilen sera gazlarında ciddi bir artışa neden olmuştur. Bu gazlar içinde CO₂ (Karbondiyoksit), sera etkisinin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. [1]

Dünya nüfusundaki artışa ek olarak, gelişmekte olan ülkelerde yaşam standardındaki artış yakın dönemde toplam enerji üretiminde de önemli artışa neden olmuştur. Son 50 yıllık dönem içerisinde birincil enerji üretimi yaklaşık 4 kat artarken, sıvı yakıtların üretiminde de 5.4 kat artış gerçekleşmiştir. Bu süreç içerisinde gelişmekte olan ülkeler, nüfuslarının yüksek olmasına karşın toplam enerji tüketimi içerisinde düşük pay almışlardır. Diğer taraftan enerji tüketiminin bir bölümünü hidrolik ve nükleer enerji kaynaklarından karşılamakta olan ülkeler, buna rağmen toplam enerji tüketiminde %80 mertebesindeki payları nedeniyle, çevre kirliliğine, payları açısından, önemli miktarda katkıda bulunmuşlardır.

Türkiye’de ise toplam enerji tüketimi 1990 yılından 2003 yılına kadarki dönemde %58 oranında artmış bulunmaktadır. Petrol kökenli yakıt tüketimi bu dönemde 22,700 değerinden, 30,669 değerine artış göstermiştir. Sıvı yakıt tüketimindeki bu artış beraberinde karbondiyoksit (CO₂) emisyonlarında ki artışı da getirmektedir. Şekil 1.1’de Türkiye’de CO₂ emisyonlarının sektörlere göre dağılımı görülmektedir. [2]



Şekil 1.1: Türkiye’de CO₂ Emisyonlarının Sektörlere Göre Dağılımı (2000) [2]

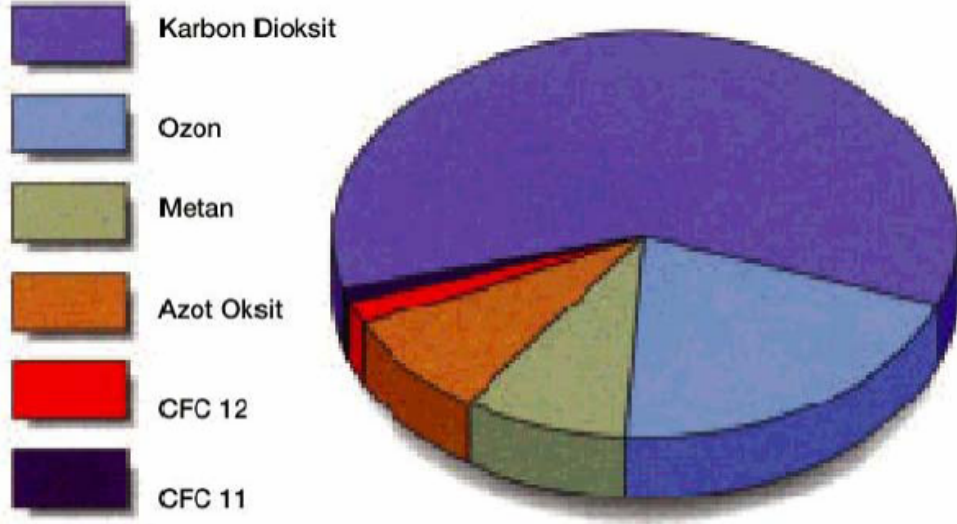
Dünyanın her yerinde, toplu taşımacılık, hava kirliliğine etkisi fazla olan dizel motorlu şehir otobüsleri tarafından sağlanmaktadır. Ağır taşıt motorları için, çevresel sebeplerden ortaya çıkan katı emisyon standartları, bütün dünyada dizel motorları için çeşitli kontrol stratejilerine gerek duyulduğunu göstermiştir. Bakımın geliştirilmesi ve denetim programları ilk adım olmuştur. Şehir otobüsleri için düşük emisyonun geliştirilmesi ve egzoz konusundaki gelişmeler ayrıca devam etmektedir. Ama sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) gibi temiz alternatif yakıtların kullanımı, bu yakıtların var olduğu veya yurtiçi kaynaklardan elde edilen ülkelerde bir çözüm olarak düşünülmektedir. [3]

Ulaşım sektörü için alternatif yakıt aramanın başlıca nedenleri; süratle tükenmekte olan petrol rezervleri, sınırlı sayıdaki petrol üreticilerine (Körfez ülkeleri ve OPEC) bağımlılığın azaltılması, uluslararası ticari açıkların azaltılması ve çevrenin korunması şeklinde özetlenebilir. Son yıllarda artış gösteren taşıt sayısı ile birlikte etkin hala gelen hava kirliliği de, daha temiz bir yanma sağlayabilecek alternatif yakıt arayışlarındaki diğer bir faktördür. Yüz yılı aşkın süredir, Otto ve Diesel ilkelerine göre çalışan otomobil motorlarının ana yakıtı petrol kökenli yakıtlar olmuştur. Halen, hiçbir enerji tüketim sektörünün petrole bağımlılığı % 30’ları aşamazken, bu oran ulaşımında % 90’lar düzeyindedir. Uygarlığın devamının; ulaşım amaçlı, ucuz, temiz ve kararlı yakıt teminiyle çok yakından ilişkili olduğu söylenebilir. [4]

Günümüz taşıt teknolojisinde, yakıt tüketimine ve kullanılan yakıt özelliklerine bağlı olarak üretim miktarı değişim gösteren, sera gazları arasında yer alan karbondioksit emisyonlarının azaltılması yönündeki çabalar küresel ısınma sorunu ile ön plana

çıkıştır. Şekil 1.2’de görüldüğü üzere karbondioksit, sera etkisinden %60 oranında sorumlu olan gazdır ve diğer gazlardan çok daha fazla etkilidir. [2]

Sera gazlarının küresel ısınmadaki payları



Şekil 1.2: Sera Gazlarının Küresel Isınmadaki Payları

Doğalgaz motor yakıtı olarak kullanılabilecek en önemli alternatif yakıtlardan birisidir. Bolluk, düşük maliyet ve temiz yanma karakteristikleri ve dağıtım sistemlerinin var oluşuna ek olarak daha düşük araç emisyonlarına imkan vermesi, doğal gazı son derece elverişli bir alternatif yakıt yapmaktadır. [4]

Doğalgaz, yanan fosil yakıtların en temizidir. Doğalgaz yandığında petrolden ve kömürden daha az CO₂ vermektedir, neredeyse hiç SO₂ emisyonu vermez, ve yalnızca küçük oranlarda NO_x vermektedir. Doğalgaz daha çok CH₄ ve diğer hafif hidro karbonlardan oluşur. Doğalgaz yandığında CH₄, içindeki hem karbon hem hidrojen oksijen ile birleşir ve ısı verir.

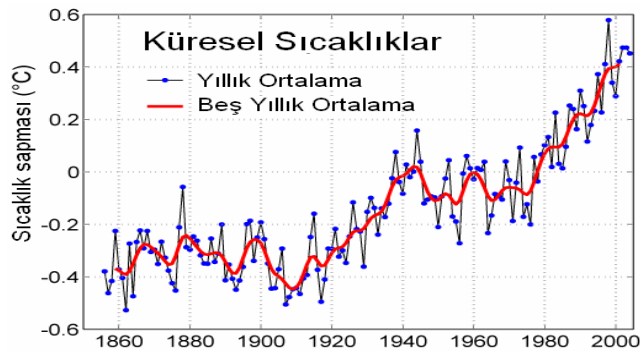
Küresel ısınma daha fazla doğalgazın kullanılmasını talep etmektedir. Çünkü bu, doğal gazın petrolden %25 daha az CO₂ emisyonu üretmesinden kaynaklanmaktadır. [5]

2. KÜRESEL ISINMA, SERA GAZI ve ETKİLERİ, KÜRESEL ISINMANIN TÜRKİYE'YE ETKİLERİ

2.1 Küresel Isınma

İklim değişikliğinin, fosil yakıtların yanmasından ortaya çıkan sera gazlarının atmosferde toplanmasından meydana geldiği kabul edilen genel bir kanıdır. İklim değişikliği, sağlıklı bir kaç yolla etkileyebilir. Isı dalgalarının sıklığı ve frekanslarının artması, sellerin ve kuraklıkların artması, hastalıkların dağılımının değişmesi ve yetersiz beslenme üzerindeki etkisi birkaç örnek olarak verilebilir. Sağlık üzerindeki toplam etki negatiftir ve düşük gelirli ülkelerdeki nüfuslar, bu etkilere karşı daha savunmasızdır. Avrupa'da 2003'teki ısı dalga deneyimi göstermiştir ki; yüksek gelirli ülkeler de bu etkilere maruz kalmışlardır. İklim değişikliğine adaptasyon, toplum sağlık stratejileri ve daha çok gözetim gerektirmektedir. Fosil yakıtların kullanımının azaltımı ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin artırımı ile iklim değişikliğinin azaltılması, hava kirliliğini azaltarak kısa dönemde insan sağlığını artırabilir. [6]

Küresel ısınma, dünya atmosferi ve okyanuslarının ortalama sıcaklıklarında belirlenen artış için kullanılan bir terimdir. Bu olay son 50 yıldır iyice saptanabilir duruma gelmiş ve önem kazanmıştır. Şekil 2.1'de görüldüğü üzere Dünya'nın atmosfere yakın yüzeyinin ortalama sıcaklığı 20. yüzyılda 0.6 (± 0.2) °C artmıştır. İklim değişimi üzerindeki yaygın bilimsel görüş, "son 50 yılda sıcaklık artışının insan hayatı üzerinde fark edilebilir etkiler oluşturduğu" yönündedir. [7]



Şekil 2.1 1856-2004 Arası Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı [7]

2.1.1 Etkileri:

Küresel ısınmanın etkisi, hava sıcaklıklarının dünyanın her yerinde artması biçiminde olmayacaktır. Sıcaklığın artış oranı, orta enlemlerde ve ekvatorunda, kutuplardakinden daha farklı olacaktır. Örneğin ekvatorunda, bu artışın, dünya ortalamasının çok altında olacağı tahmin ediliyor. Aslında bu ısınma, dünya iklim sisteminde köklü değişimlere ve aşırılıklara yol açacaktır. Öyle ki, dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, seller ve taşkınlar gibi hava olaylarının şiddeti ve sıklığı artarken, bazı bölgelerde de uzun süreli, şiddetli kuraklıklar ve çölleşme olayları etkili olabilecektir. Bunun yanında, sıcaklık artışının kışları, yazlara göre birkaç derece fazla olması beklenmektedir. Benzer bir durum, geceyle gündüz arasında da görülecektir. Gece sıcaklarındaki artış, gündüz sıcaklıklarındaki artıştan fazla olacaktır. Bu durumda karalar, geceleri eskisi kadar soğumaya fırsat bulamayacaktır. Yazla kış, geceyle gündüz arasındaki sıcaklık farkının azalması, bütün dünyadaki rüzgâr çeşitlerini etkileyecek; fırtınaların yoğunluğu, gücü ve rotaları değişecektir. Yağış dönemleri, miktar ve türlerinin değişmesiyle artan sıcaklık, daha çok buharlaşmaya ve buna bağlı olarak da daha çok bulut oluşmasına yol açacaktır. Kısaca söylemek gerekirse, dünyanın iklimi daha sıcak, daha nemli ve bol yağışlı olacaktır. [8]

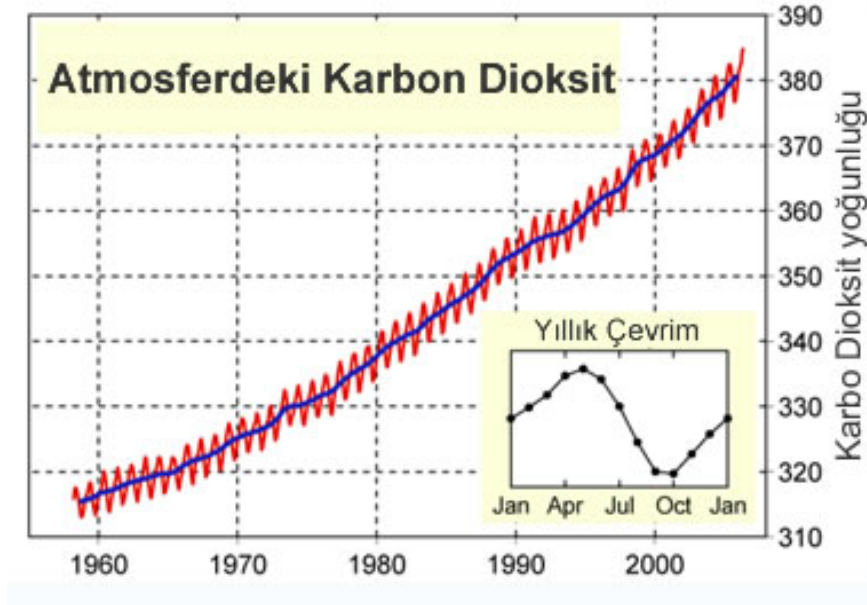
II. Dünya Savaşı sonrasında dünya nüfusu 2 kat, buna karşılık enerji kullanımı 4 kat artmıştır. 1958 yılında atmosferdeki 315 ppm/m³ karbondioksit oranı 2004'te 379 ppm/m³ olmuştur. ABD dünya nüfusunun % 4'üne sahipken karbondioksit üretiminin % 25'ini gerçekleştirmektedir. [7]

Küresel ısınma, kalp, solunum yolu, bulaşıcı, alerjik ve diğer bazı hastalıklara sebep olacaktır. Sürekli sıcak hava, seller, fırtınalar gibi hava olayları, psikolojik rahatsızlıklar, hastalıklara ve ölümlere yol açacaktır. Yeni alanlara yayılan böcekler ve diğer hastalık taşıyıcılar, bulaşıcı hastalıkların çoğalmasına neden olacaktır. Hava sıcaklığının artması ve su kaynaklarındaki azalma, kolera tipi hastalıkları yaygınlaştıracaktır. Üretimdeki bölgesel azalmalar sonucu, açlık ve kötü beslenmede artışlar görülecektir. Böcek yumurtalarının ölmesini sağlayan gece ve kış soğuklarının hafiflemesi, önemli bir sorun olacaktır. Kimi bölgelerde şiddetli kuraklık dönemlerinin ardından gelecek aşırı yağışlar, virüs mutasyonlarının artmasına, buna bağlı olarak da sıtma gibi hastalıkların yayılmasına neden olacaktır. Öte yandan tarım bitkilerinde görülen hastalıklarda da sıcaklıkla birlikte artış

gözlenecektir. Buzulların erimesi ve sıcaklık artışı, okyanuslardaki suları genişletirip, denizlerin seviyesini yükseltecektir. Deniz seviyesinin yükselmesi, kıyılardaki toprak kaybının yanı sıra, kıyılara yakın temiz su kaynaklarının denizle birleşmesine neden olacaktır. Artan buharlaşma yüzünden göl ve ırmaklarda meydana gelecek su kaybı, 21. yüzyılın en önemli meselelerinden biri olacaktır. Tatlı su kaynaklarının kalitesinde, tuzlu su karışımı nedeniyle azalma olacaktır. Tarım, turizm ve diğer ekonomik aktiviteler bu durumdan olumsuz etkilenecek; gelişmekte olan birçok ülkede yerli halkın beslenme ve yakıt kaynakları yok olacaktır. Yüksek deniz seviyesi, yüksek gel-git, kuvvetli dalga ve tsunami gibi riskli doğa olaylarına sebep olacaktır. Deniz seviyesinin yükselmesiyle düz alanlar seller altında kalarak, kıyılardaki üretim alanları zarar görecekler. Bunun sonucunda milyonlarca insan, kıyı alanları ve küçük adalardan göç edecektir. Kurak bölgelerdeki çiftçiler daha çok sulama yapıp, daha fazla tarım ilâcı kullanacaklarından, bu bölgelerde tarımsal etkinliklerin maliyeti artacaktır. Gelişmekte olan ülkelerin kurak ve yarı kurak alanları, bazı kıyı alanları, deltalar ve küçük ada gibi bölgeleri tehlike altında kalacaktır. Kırsal alanlarda doğal kaynakların verimliliğindeki gerileme sonucu, kırsal alandan kente göç hızlanacaktır. [8]

Bugün için bilim çevrelerinde küresel ısınma, atmosferde karbondioksit oranının artmasına bağlanmaktadır. Her ne kadar atmosferdeki karbondioksit, yeşil bitkilerin fotosentez olayında, karbondioksitin litosfer yüzeyinde suda çözünmesiyle, atmosferden çekilmekte ise de, bu mekanizmaların kapasitesinin üzerinde karbondioksit salınımı, gezegen üzerinde sera etkisi yaratmaktadır. [7]

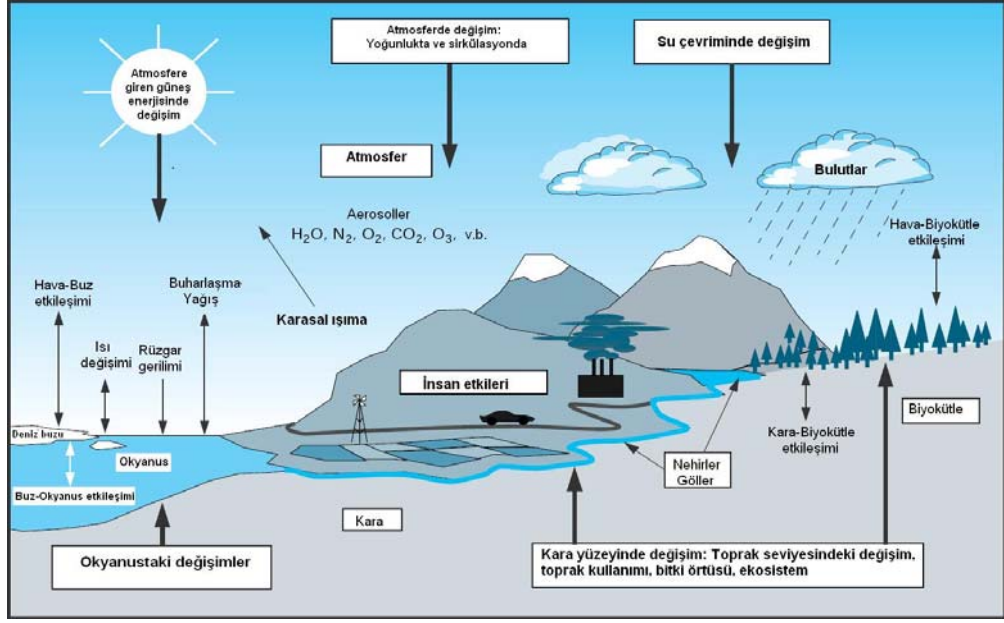
Her ilkbaharda bitkiler canlanır ve atmosferdeki CO₂'yi emerler. Her sonbaharda ise bu süreç tersine işler. Bu döngü sonunda, atmosferdeki CO₂ fazla değişmez. Ancak, 1958 yılından itibaren Hawai'de yapılmış olan ölçümler, CO₂'nin, mevsimsel salınımlarının yanı sıra, her yıl artmakta olduğunu da ortaya koymuştur. Ölçümleri yapan kişinin adına atfen Şekil 2.2'de görülen "Keeling Eğrisi" olarak adlandırılan aşağıdaki bu grafik, atmosferdeki CO₂'nin giderek hızlanan bir artış içinde olduğunu göstermiştir. [9]



Şekil 2.2 Keeling Eğrisi

2.1.2 İklim Sistemi

İklim sistemi şu temel elemanlardan oluşmaktadır: Atmosfer, okyanuslar, kara ve deniz biyosferi, krayosfer (deniz buzu, sezonluk kar örtüsü, dağ buzulları, kıtasal boyuttaki buz levhaları) ve kara yüzeyi. Bu elemanlar birbirleriyle etkileşim içindedir, ve bu etkileşim boyunca yerkürenin yüzey iklimini belirlerler. Bu etkileşimler enerji değişimi ile gerçekleşmektedir. İklim sistemi güneş enerjisi girişi ile güçlenir ve uzaya bu enerjinin belli bir kısmını geri göndererek kendini dengeler. Güneş enerjisi, atmosfer ve okyanusun hareketi, ısının ve suyun akışı ve biyolojik faaliyetin devamı için temel itici güçtür. Şekil 2.3 iklim sisteminin çeşitli elemanlarının ve değişebilecek olan eleman özelliklerinin şematik resmini göstermektedir. Koyu oklarla gösterilenler iklim değişikliğiyle ilişkilendirilebilecekleri ve iklim değişiminden etkilenebilecekleri ifade ederken, ince oklar ile gösterilenler bunların prosesleri ve etkileşimlerini göstermektedir. [10]



Şekil 2.3 Küresel İklim Sisteminin Elemanları [10]

2.1.3 Önerilen Çözüm Yolları

Küresel ısınmaya çözümler çevre ve enerji konuları üzerinde 3 ana başlık halinde toplanabilir:

- Bunlardan ilki endüstriyel enerji yöntemidir. Bu yöntemde geri dönüşümün geliştirilmesi ve daha az enerji ile daha çok verim elde edilmesi amaçlanmaktadır.
- İkinci önlem ise alternatif yakıt kullanımıdır. Biyokütleden üretilen alkol ile fosil olmayan yakıtlardan üretilen hidrojen kullanımı seçenekler arasındadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji, güneş ve rüzgar enerjisi gibi çevre dostu alternatifleri kullanmak ve geliştirmek zorunludur.
- Diğer bir önlem ise karbondioksit salınımının azaltılması veya tamamen önlenmesi yönünde tüm dünyada uygulanacak politikaların geliştirilmesine dayanır. Karbondioksitin depolanması gereklidir. Bu ise karbondioksitin yeraltına verilmesi, okyanuslarda depo edilmesi, biyokütlerde ve toprakta saklanmasıyla ve en önemlisi ormanların yok edilmesinin önüne geçilip, hızlı şekilde ormanlaştırma çalışmalarının yürütülmesi ile sağlanabilir. [11]

2.2 Sera Gazları ve Etkileri

Sera gazları, sera etkisini destekleyen, atmosferde bulunan ve en çok ısı tutma özelliğine sahip olan bileşiklerdir. Dünya atmosferi çeşitli gazlardan oluşur. Ayrıca küçük miktarlarda bazı asal gazlar bulunmaktadır. Güneşten gelen ışınlar (ısı ışınları/kısa dalgalı ışınlar), atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki gazlar, yeryüzündeki ısıнын bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olurlar. Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan ve Şekil 2.4'te gösterilen atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine "Sera etkisi" denir.



Şekil 2.4 Sera Etkisi [12]

Karbondioksit, su buharı, metan gibi bazı gazların, güneşten gelen radyasyonun bir yandan dış uzaya yansımısını önleyerek ve diğer yandan da bu radyasyondaki ısıyı soğutarak yerkürenin fazlaca ısınmasına yol açtığı ileri sürülmektedir.

Dünya'daki sera etkisine neden olan gazlar %36–70 su buharı, %9–26 karbondioksit, %4–9 metan ve %3–7 ile ozondur. Sera gazlarının bir kısmı kendi kendine oluşurken, bir kısmı da insanlar tarafından üretilir. Doğal yollarla oluşan sera gazları su buharı, karbondioksit, metan, azot oksit ve ozon içerir. İnsan aktiviteleri sonucunda da bu gaz seviyelerine eklemeler olur ve bunun sonucunda da sera etkisi görülür.

Ayrıca bu gazlardan olan metan gazı okyanuslardaki kirlenmeler nedeniyle oluşan kimyasal olaylar sonucu oluşur. Metan gazının havaya karışması ile iklim değişikliği görülür. [13]

Su buharı, diğer sera gazlarından farklı olarak güneşten gelen radyasyonun şiddetine ve gezegenin ortalama ısısına göre sabit olan bağlı bir değişkendir. Dolayısıyla küresel ısınma konusunda pasif etkiye sahiptir. Ancak diğer sera gazları, yer yer bağımsız değişken olarak küresel ısınma üzerinde aktif bir etki yaratabilirler. Örneğin karbondioksit, yoğun volkanik etkinlik sonucu ya da insanlar tarafından fosil yakıtların yakılmasıyla yoğun olarak atmosfere salınabilir. Bu durum, gezegenin ortalama ısısından bağımsız olarak ortaya çıkabilen ve ortalama ısının artması sonucunu doğuran bir etken olarak işlev görür. [14]

Sera gazlarının küresel ısınmaya katkısı ve tarih içindeki birikim oranları birbirinden oldukça farklıdır. Aşağıdaki tabloda sera gazlarının en önemlilerinin özellikleri ve sanayi devriminden sonraki artış oranları verilmiştir. [9]

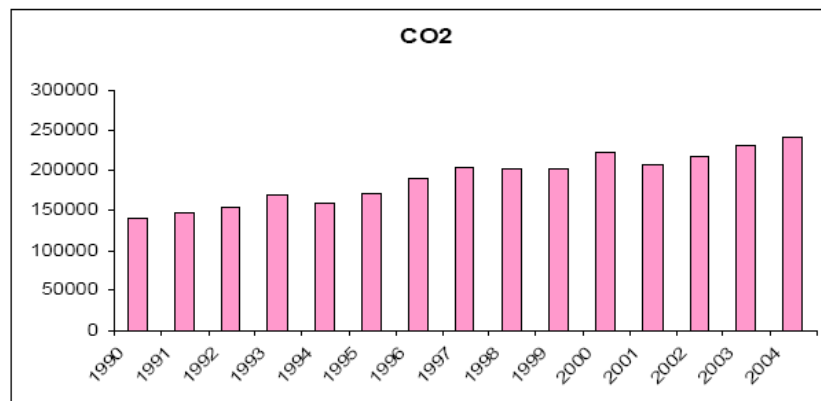
Tablo 2.1 Sera Gazlarının Küresel Isınmaya Katkısı (GWP) ve Sanayi Çağındaki Artış Oranları [9]

Kyoto Protokolü Kapsamındaki Sera Gazları	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Atmosferde Kalma süresi (yıl)	Tarihsel Dönem	Ortalama Yıllık Artış	En Güncel Oran
CO ₂	1	5–200	1000 – 1750 1750 – 2000	%0 %31	280 ppm 368 ppm
CH ₄	21	12	1000 - 1750 1750 - 2000	%0 %151	700 ppb 1750ppm
N ₂ O	310	114	1000 - 1750 1750 - 2000	%0 %17	270 ppb 316 ppb
HFCs	140 – 12.000	2 - >50.000	Son 50 yılda tüm dünyada arttı		
PFCs					
SF ₆	23.900	3.200			

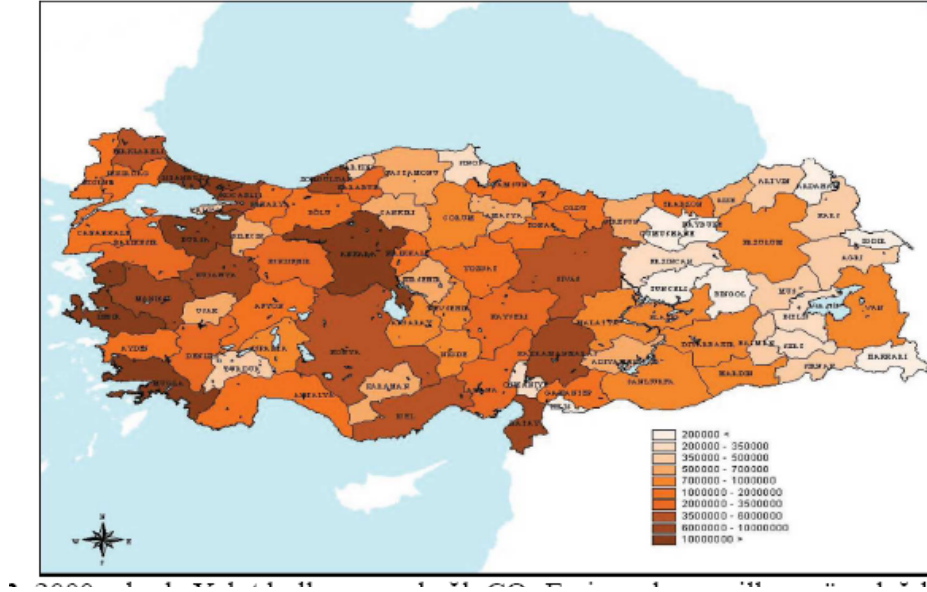
2.2.1 Sera Gazlarının Tanıtımı

Karbondioksit:

Bu gaz, fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömürlerin ve doğal gazın) sanayide kullanılması sonucunda oluşarak atmosfere karışmaktadır. Atmosfere karışan karbondioksitin %80-85'i fosil yakıtlardan, %15-20'si de canlıların solunumundan ve mikroskobik canlıların organik maddeleri ayrıştırmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sanayileşme devriminden önce atmosferdeki toplam karbondioksit miktarı 600 milyar ton tahmin edildiği halde, bugün bu miktarın yaklaşık 750 milyar tona çıktığı bildirilmektedir. Bir yandan fosil yakıt kullanımının hızla artışı, öte yandan fotosentez için tonlarca karbondioksit harcayan ormanların ve bitkisel planktonların tahribi, atmosferdeki karbondioksit miktarını son 160 bin yılın en yüksek düzeyine ulaştırmıştır. Yapılan ölçmeler, bu artışın devam ettiğini göstermektedir. Hawaii, Mauna Loa istasyonu ölçme sonuçlarına göre, atmosferdeki karbondioksitin sürekli artışı, bilimadamlarının son zamanlarda geliştirdikleri matematiksel bilgisayar modellere göre, CO₂ yoğunluğunun iki katına çıkması halinde küresel sıcaklığın 3°C artacağı hesaplanmıştır. Bu sonuç, karbondioksitin küresel ısınmadaki etki derecesinin ne kadar yüksek olduğu konusunda bir fikir vermektedir. Gerçekten sera gazları içinde karbondioksit, küresel ısınmada % 50 paya sahiptir. Bunun nedeni, hem miktarının çok hem de karbondioksit moleküllerinin atmosferdeki ömrünün 50 – 100 yıl gibi çok uzun olmasıdır. O nedenle küresel ısınmaya karşı alınacak önlemlerin başında karbondioksit salınımının azaltılması gelmekte ve bu hususta uluslar arası düzeyde olağanüstü çabalar harcanmaktadır. Şekil 2.5'te Türkiye'de yıllara göre karbondioksit salınımı (kg) görülmektedir. [14]



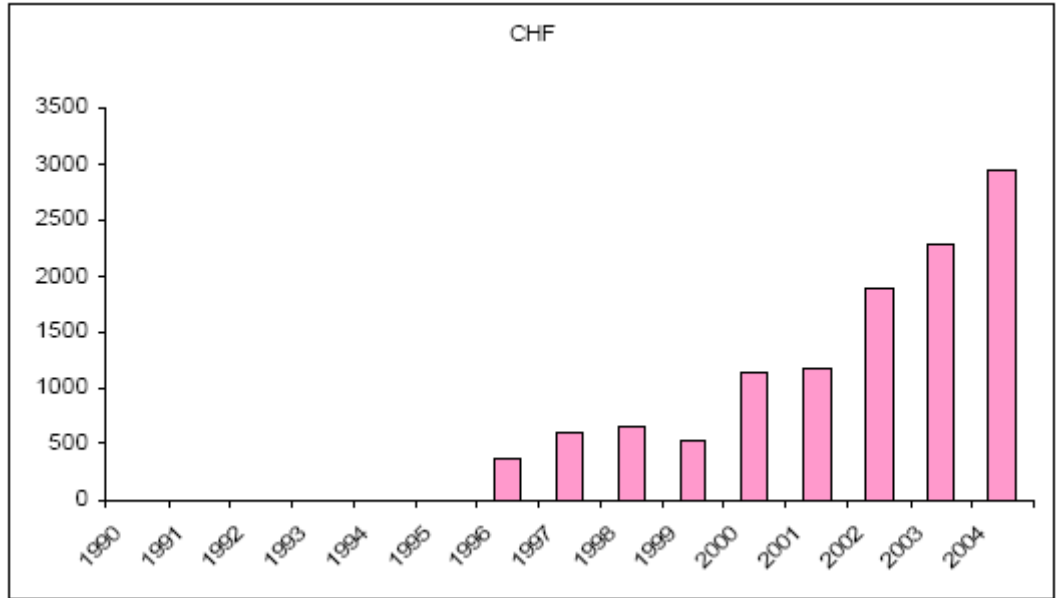
Şekil 2.5 Türkiye'de Yıllara Göre Karbondioksit Salınımı (Kg) [12]



Şekil 2.6 2000 Yılında Yakıt Kullanımına Bağlı CO2 Emisyonlarının İllere Göre Dağılımı [12]

Kloroflorokarbon (CFC):

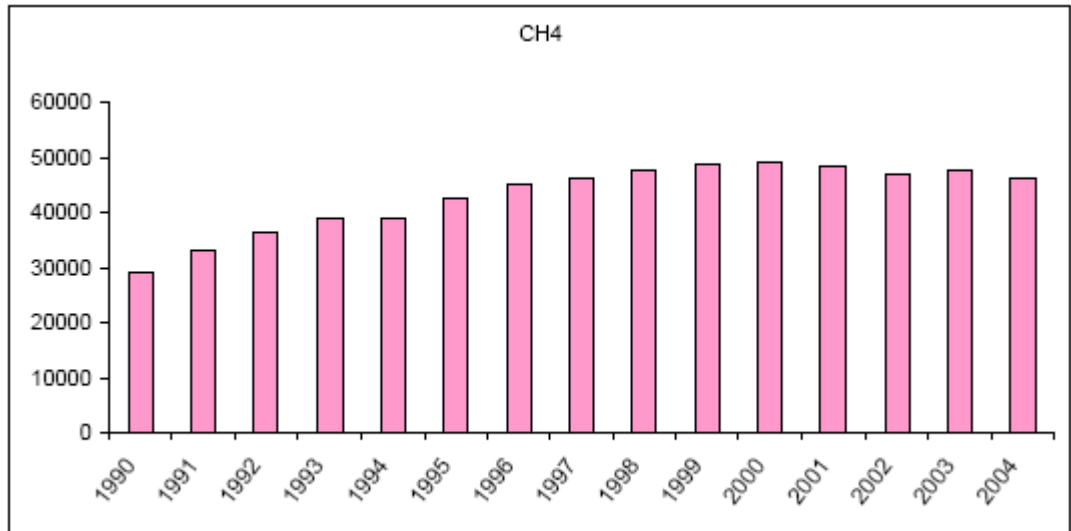
Spreylerdeki püskürtücü gazlar, soğutucu aletlerde kullanılan gazlar kloroflorokarbon gazının başlıca kaynaklarıdır. Kloroflorokarbon gazı için doğal bir kaynak yoktur. Türkiye’de de toplam kloroflorokarbon gazlarının emisyon oranı 1996–2004 döneminde 0,374 Tg’dan 2,933 Tg CO₂ eq’ye yükselmiştir. SF₆ ve HFC6’nın sanayide kullanımına bağlı emisyonu, bu gazların ülkede denetimi olmadığından, sadece ithal edilen miktara bağlıdır. HFC emisyonları sadece HFC134a’nın buzdolabı ve klima üreten bazı sektörlerce kullanımıyla sınırlıdır. HFC’lerin emisyonu, 2000-2004 yılları arasında 0.82 Tg’dan 2.23 Tg’ye çıkmıştır. Şekil 2.7’de Türkiye’de yıllara göre kloroflorokarbon salınımı (kg) görülmektedir. [12]



Şekil 2.7 Türkiye’de Yıllara Göre Kloroflorokarbon Salınımı (kg) [12]

Metan:

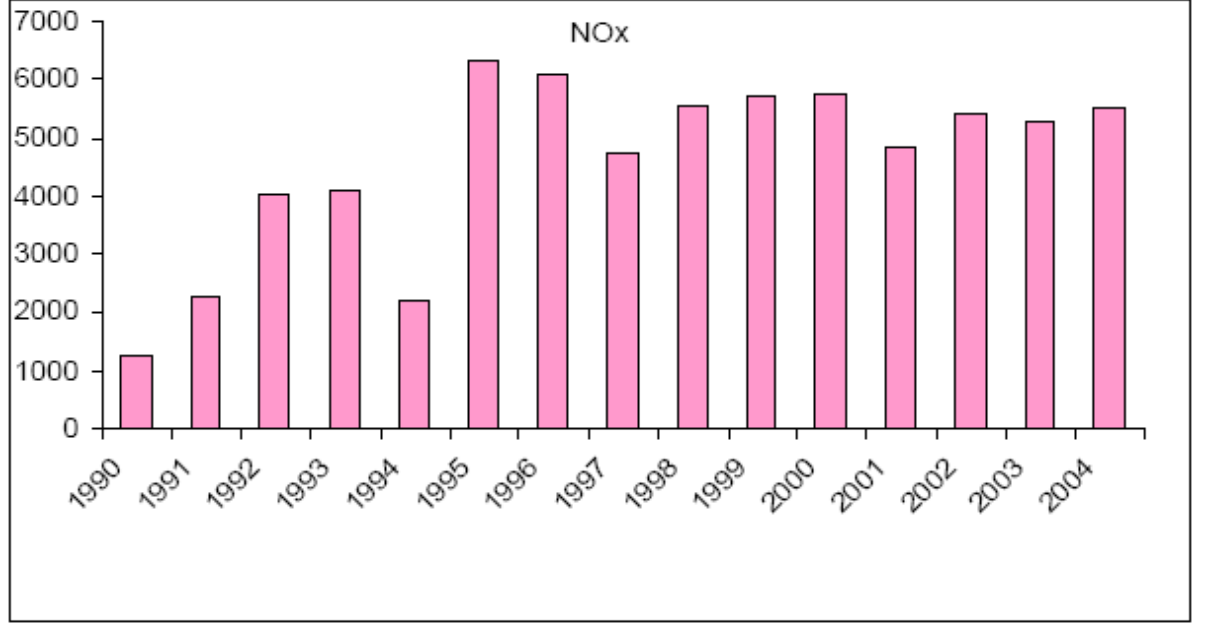
Bu gaz organik artıkların oksijensiz ortamda ayrışması (anaerobik ayrışma) sonucunda meydana gelmektedir. Başlıca kaynakları pirinç tarlaları, çiftlik gübreleri, çöp yığınları ve bataklıklardır. Metan moleküllerinin ömrünün ve miktarının az olması nedeniyle, küresel ısınmadaki etki payı % 13 kadardır. Şekil 2.8’de Türkiye’de yıllara göre metan gazı salınımı (kg) görülmektedir. [14]



Şekil 2.8 Türkiye’de Yıllara Göre Metan Gazı Salınımı (kg) [12]

Azot Oksitler:

Bu sera gazının kaynakları egzoz gazları, fosil yakıtlar ve organik maddelerdir. Küresel ısınmadaki payı % 5'dir. Şekil 2.9'da Türkiye'de yıllara göre azot oksitler salınımı (kg) görülmektedir.



Şekil 2.9 Türkiye’de Yıllara Göre Azot Oksitler Salınımı (kg) [12]

Ozon:

Yeryüzüne yakın atmosfer tabakalarındaki ozonun başlıca kaynağı, egzoz gazlarının 2/3’ünü oluşturan azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile fizikoşimik reaksiyona girmesidir. Bu reaksiyon sonucunda bol miktarda ozon meydana gelir ve atmosferde birikir. Yalnız, bu gazın oluşumu egzoz gazlarına ve güneşin ışınlarına bağlı olduğu için (geceleri üretilmez) miktarı çok değildir. Küresel ısınmadaki sera etkisi % 7 kadardır. [14]

Halokarbon gazları:

Hem ozon tabakasını zayıflatan, hem de sera gazı etkisi gösteren halojenli karbon (halokarbon) gazları salımında, Montreal Protokolünün uygulanmaya başlamasıyla, 1995 yılından beri çok az artış veya azalma görülmüştür. Buna karşılık, sanayide söz konusu gazların yerine kullanılan ve sera gazı etkisine sahip diğer halokarbon gazlarında ise artış gözlenmektedir. Buzdolaplarında soğutucu gaz olarak ve köpük izolasyonunun yapımında kullanılan CFC gazları ozon tabakasının bir numaralı

düşmanıdır. 1986 yılı ölçümlerine göre, küresel CFC üretiminin dörtte biri soğutma amacıyla kullanılıyordu. Su anda, Avrupa Topluluğu'na üye ülkelerde CFC gazlarının üretimi yasaklanmış durumdadır. Ancak üreticiler depolarında bulunan CFC gazları içeren buzdolaplarını satabilmektedirler. CFC'lere alternatifi olarak düşünülen hidrokloroflorokarbonlar (HFC) da ozon tabakasına zarar verdiği için artık buzdolaplarında soğutucu gaz olarak ve izolasyon köpüğü yapımında ozon tabakasına zarar vermeyen hidroflorokarbonların (HFC) kullanılması özendirilir. Hidroflorokarbonlar sera etkisini arttırmada CO₂'nin 1200 katı kadar etkilidir. 2000 yılında HFC'lerin CFC pazarının %25 ini ele geçireceği tahmin edilmektedir. Buna göre 2000 yılına kadar tam 1.931 milyon ton CO₂'ye denk gelen HFC nin atmosfere yayılacağı hesaplanmıştır. Aslında hem HCFC'lere, hemde HFC'lere alternatif olarak kullanılabilecek gazlar vardır; bunlar 1930larda CFClerin geliştirilmesine kadar soğutmada kullanılan gazlar olan hidrokarbonlardır. Hidrokarbonlar ozon tabakasına zarar vermezler. CO₂'nin 3-4 katı olan sera etkisini artırma özelliği ise onun 1200 katı olan HFC'larınkiyle karşılaştırıldığında oldukça önemsiz kalmaktadır. Ayrıca hidrokarbonlar CFC'lerden daha ucuz ve zehirsizdir. Bir elektrik santrali, sıradan bir buzdolabını çalıştırabilecek enerjiyi üretebilmek için atmosfere yılda 0.5 ton kadar CO₂ yaymaktadırlar. Evlerdeki buzdolapları tarafından harcanan enerji, evlerde tüketilen toplam enerjinin %36 sına karşılık gelmektedir. Enerji tasarrufu sağlayan buzdolabı modellerinin bazıları, %70'e varan oranlarda daha az enerji tüketmektedir. Enerji tüketimi konusunda en verimli modellerinse CFC ve HFC kullanmayan modeller olduğu söylenebilir. [10]

Su Buharı:

Küresel ısınmada sera etkisi bakımından en başta gelir. Ancak yeryüzüne yakın atmosfer içindeki miktarı çok nadir hallerde yükselir. Bol miktarda bulunduğu atmosfer katmanı genellikle bulutların olduğu yükseklerdeki atmosfer tabakalarında. O nedenle daha çok güneşten gelen ışınları tutmada ve yükseklerle yansıtma (albedo) etkilidir. Buraya kadar yapılan açıklamalardan anlaşılacağı üzere, küresel ısınmanın temel nedeni, bol fosil yakıt kullanılmasıyla atmosfere salınan karbondioksit miktarının çok yüksek miktarlara ulaşmasıdır. Miktar ve atmosferde kalma süresinin çok yüksek olması nedeniyle küresel ısınmada, sera gazları içindeki etki payı da çok yüksek olmaktadır (%50). [14]

2.3 İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Küresel sorunların çözümü küresel işbirliğini gerektirmektedir. Küresel ısınmanın muhtemel sonuçlarının, giderek çevre alanındaki en temel sorunu oluşturmaya başlaması karşısında, 1992 yılında Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda kabul edilen ve 50 ülkenin onaylamasını müteakip 21 mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” teşkil edilmiştir. 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 değişikliğinden etkilenecek olan gelişme yolundaki ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması,
- İklim değişikliğinin 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 olmasıdır.

Sözleşme iki ek liste içermektedir. Teknoloji transferi ve mali yükümlülükleri yerine getirecek ülkeleri içeren Ek-II listesi, 1992 yılında OECD'ye üye olan ülkeler ile AB'den oluşmaktadır. Bunlar; Almanya, Fransa, İsviçre, Norveç, Avustralya, Hollanda, İtalya, Portekiz, Avusturya, İngiltere, İzlanda, Türkiye, Belçika, İrlanda, Japonya, Yeni Zelanda, Danimarka, İspanya, Kanada ve Yunanistan'dır. 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 temel 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 yükümlülükleri yerine getirirken bu hususların da göz önünde bulundurulması gerekir. [15]

Türkiye 24 Mayıs 2004'te UNFCCC'ye (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi) katılmıştır. Ama Kyoto Protokolüne henüz üye değildir. Artan emisyon oranlarını düşünerek ve Avrupa Birliği'ne üye olma sürecinde Kyoto Protokolünü onaylama ihtimali, var olan enerji kullanımı planlarının gözden geçirilmesini önemli kılabilir ve sera gazı emisyonlarını azaltacak politikaları gündeme getirecektir. Bundan dolayı, CO2 emisyonlarının özel hesaplanması ve yakıt kullanımı ve CO2 emisyonları arasındaki ilişkinin analizi ayrıca çok gereklidir. [1]

Ek-I Ülkelerinin 1990-2000 yılları arası birincil enerji kaynaklı sera gazı emisyon indirim performansına bakıldığı zaman; AB'ne aday ülkelerin ortalama %35 civarında indirim sağladıkları, Türkiye'nin ise aynı dönem için %65 oranında artış kaydettiği, AB ülkelerinin 1990 yılı değerini korurken, diğer Ek-I ülkeleri içinde yer alan ABD, Japonya, Kanada, Avustralya ve Norveç ortalama olarak yaklaşık %20 oranında artış kaydettikleri görülmektedir. Sözleşmeye 189 ülke taraf olmuştur.

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. Geline 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 imkan sağlayacaktır. Ayrıca, hem küresel çevrenin korunması alanındaki uluslararası çabalara etkin bir şekilde katılmasına imkan tanıyacak hem de Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde halen yürütülmekte olan çalışmalara çok ciddi bir katkı sağlayacaktır. [15]

2.4 Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası tek çerçeve, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içinde imzalanmıştır. Bu protokolü imzalayan ülkeler, karbondioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorlarsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir. Protokol, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki düzeylere düşürmelerini gerekli kılmaktadır. 1997'de imzalanan protokol, 2005'te yürürlüğe girebilmiştir. Çünkü protokolün yürürlüğe girebilmesi için, onaylayan ülkelerin 1990'daki emisyonlarının (atmofere saldıkları karbon miktarının) yeryüzündeki toplam emisyonun %55'ini bulması gerekmektedir ve bu orana ancak 8 yılın sonunda Rusya'nın katılımıyla ulaşılabilmektedir. [16]

Tablo 2.2 Kyoto Protokolü [16]

Kyoto Protokolü	
İmzalanma Tarihi ve Yeri	11 Aralık 1997, Kyoto, Japonya
Yürürlüğe Giriş Tarihi	16 Şubat 2005
Yürürlüğe Giriş Şartları	BMİDÇS Ek 1 ülkelerinden en az 55 ülkenin katılımı ve bu ülkelerin CO ₂ salınımlarının toplam CO ₂ salınımının %55'ini oluşturması
Katılımcılar	169 ülke ve diğer devlete bağlı örgütler (Aralık 2006)

Kyoto Protokolü şu anda tüm dünyadaki 160 ülkeyi ve sera gazı salınımlarının %55'inden fazlasını kapsamaktadır. Kyoto Protokolü ile devreye girecek önlemler, pahalı yatırımlar gerektirmektedir. Sözleşmeye göre;

- Atmosfere salınan sera gazı miktarı %5'e çekilecek,
 - Endüstriden, motorlu taşıtlardan, ısıtmadan kaynaklanan sera gazı miktarını azaltmaya yönelik mevzuat yeniden düzenlenecek,
 - Daha az enerji ile ısınma, daha az enerji tüketen araçlarla uzun yol alma, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerini endüstriye yerleştirme sağlanacak,
 - Ulaşımda, çöp depolamada çevrecilik temel ilke olacak,
 - Atmosfere bırakılan metan ve karbondioksit oranının düşürülmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelinecek,
 - Fosil yakıtlar yerine örneğin bio dizel yakıt kullanılacak,
 - Çimento, demir-çelik ve kireç fabrikaları gibi yüksek enerji tüketen işletmelerde atık işlemleri yeniden düzenlenecek,
 - Termik santrallerde daha az karbon çıkartan sistemler, teknolojiler devreye sokulacak,
 - Güneş enerjisinin önü açılacak, nükleer enerjide karbon sıfır olduğu için dünyada bu enerji ön plana çıkarılacak,
 - Fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha fazla vergi alınacaktır.
- [17]

Kyoto Protokolü şu prensipleri temel alır:

- Kyoto Protokolü devletler tarafından desteklenir ve BM şemsiyesi altında küresel kurallar ile belirlenir.
- Devletler iki genel sınıfa ayrılmıştır: gelişmiş ülkeler, bu ülkeler Ek 1 ülkeleri olarak anılacaktır; ve gelişmekte olan ülkeler, bu ülkeler Ek 1'de yer almayan ülkeler olarak anılacaklardır. Ek 1 ülkeleri sera gazı salınımlarını azaltmayı kabul etmişlerdir. Ek 1'de yer almayan ülkelerin ise sera gazı sorumlulukları yoktur ve her yıl sera gazı envanteri raporu vermelidirler.

- Kyoto Protokolündeki hedeflerine uymayan herhangi bir Ek 1 ülkesi bir sonraki dönem azaltma hedeflerinin %30 daha azaltılması ile cezalandırılacaktır.
- 2008 ile 2012 arasında, Ek 1 ülkeleri sera gazı salınımlarını 1990 yılı seviyesinden ortalama %5 aşağıya çekmek zorundadırlar (birçok AB üyesi ülke için bu 2008 için beklenen sera gazı salınımlarının %15 aşağısına denk gelmektedir).
- Ortalama salınım azalmasının %5 olarak belirlenmesine rağmen AB üyesi ülkelerin salınım hedefleri %8 azaltma ile İzlanda tarafından hedeflenen %10 artırıma kadar değişmektedir. Bu azaltma hedefleri 2013 yılına kadar belirlenmiştir.
- Kyoto Protokolü, Ek 1 ülkelerinin sera gazı salınımı hedeflerine ulaşmak için başka ülkelere salınım azaltması satın alabilmeleri esnekliğine imkan tanımıştır. Bu, çeşitli borsalardan (AB Salınım Ticaret Borsası gibi) veya Ek 1'de yer almayan ülkelerin salınımlarını azaltan Temiz Gelişim Tekniği (TGT) projeleri ile veya diğer Ek 1 ülkelerinden satın alınabilir.
- Sadece TGT Yönetim Kurulu tarafından onaylanmış Onaylı Salınım Azaltımları (OSA) alınıp satılabilir.
- BM çatısı altında, Kyoto Protokolü Bonn merkezli Temiz Gelişim Tekniği Yönetim Kurulu'nu Ek 1'de yer almayan ülkelere gerçekleştirilen TGT projelerini değerlendirip onaylaması için kurmuştur. Bu projeler onaylandıktan sonra OSA verilir.

Pratikte bu kurallar Ek 1'de yer almayan ülkelerin sera gazı sınırlamalarına tabi olmadıklarını ama sera gazını azaltan bir projenin bu ülkelere uygulanması durumunda elde edilen Karbon Kredisinin Ek 1 ülkelerine satılabileceğini anlatır. [16]

Emisyon hedefleri bu şekilde belirlenmişken, Kyoto Protokolü ile , Ek I ülkelerinin sera gazı emisyonlarını azaltmak için uygulayacakları ulusal politikalar haricinde, “Esneklik Mekanizmaları” olarak adlandırılan mekanizmalardan yararlanabilmeleri de sağlanmıştır. Diğer ülkelerle ortak hareketi gerektiren bu esneklik mekanizmaları:

a) Ortak Yürütme Mekanizması (Joint Implementation): Protokol’de yer alan esneklik mekanizmalarından biri, 6. maddede düzenlenen “Ortak Yürütme” mekanizmasıdır. Bu esneklik mekanizmasına göre, emisyon hedefi belirlemiş bir ülke, emisyon hedefi belirlemiş diğer bir ülkede, emisyon azaltıcı projelere yatırım yaparsa, emisyon azaltma kredisi (Emission Reduction Unit) kazanır ve kazanılan bu krediler toplam hedeften düşülür.

b) Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism): Kyoto Protokolü’nde yer alan bir diğer mekanizma ise, 12. maddede düzenlenen “Temiz Kalkınma Mekanizması”dır. Bu mekanizmada, emisyon hedefi belirlemiş bir ülke, emisyon hedefi belirlememiş az gelişmiş bir ülke ile işbirliğine giderek, o ülkede sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik projeler yaparsa, “Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltma Kredisi (Certified Emission Reductions)” kazanır ve toplam hedeften düşülür. İncelememize konu olan Türkiye Cumhuriyetler açısından bu mekanizma önem arz etmektedir. Çünkü, EK I’deki ülkeler sera gazı azaltımı bağlamında Ekler dışı ülkelere proje almak isteyeceklerinden, bu mekanizma sayesinde uygun projeler sunarlarsa bu cumhuriyetler dış yatırım imkanını sağlayabilirler.

c) Emisyon Ticareti (Emission Trading): Kyoto Protokolü’nün 17. maddesinde düzenlenmiş olan “Emisyon Ticareti Mekanizması”, emisyon hedefi belirlemiş ülkelerin, taahhüt ettikleri indirimi tutturmak için, ilave olarak kendi aralarında emisyon ticareti yapabilmelerine imkan tanımaktadır. Söz konusu madde uyarınca, sera gazı emisyonunu belirlenen hedeften daha da fazla miktarda azaltan bir Ek I ülkesi, gerçekleştirmiş olduğu söz konusu bu ek indirimi, başka bir taraf ülkeye satabilmektedir. Son yıllarda ülkelerin CO₂ salınımlarına bakıldığında, emisyon ticareti bağlamında, en büyük alıcılar ABD (eğer Kyoto Protokolü’nü imzalarsa), Japonya ve bazı Avrupa Birliği ülkeleri, en önemli satıcılar ise Rusya, Ukrayna, bazı Doğu Avrupa Ülkeleri ve Kazakistan (eğer Kyoto Protokolü’nü imzalarsa) olacaktır. [17]

2.4.1 Amaçlar

Kyoto Protokolündeki amaç, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklime tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli, 1990 ile 2100 yılları arasında 1.4 °C ile 5.8 °C arası sıcaklık artışı tahmin etmektedir. Tahminlere göre, başarılı bir şekilde uygulanması durumunda

Kyoto Protokolü bu artışı 0.02 ile 0.28 C arasında düşürebilecektir. Kyoto Protokolü savunucuları bu protokolün amaca ulaşmak için ilk adım olduğunu ve amaca ulaşmaya kadar hedeflerin değiştirileceğini belirtmektedirler. [13]

Emisyon Ticareti Mekanizması sonucu, uluslararası piyasada on milyarlarca dolara ulaşan yeni bir iktisadi araç ortaya çıkacaktır. Bu tutar, ABD'nin Kyoto Protokolü'ne imza atıp atmamasına göre büyük değişiklik arz etmektedir. ABD'nin Kyoto Protokolü'ne dahil olması durumunda ton başına emisyon ticaretinin 100 dolar ve üzeri olabileceği, dışında bulunması halinde ise ton başına 0–10 dolar arasında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.

Kyoto Protokolü'nün uluslararası geçerlilik kazanması için, 1990 yılındaki toplam CO₂ emisyonunun en az % 55'inden sorumlu ve Ek I'deki ülkelerin de içinde bulunduğu, en az 55 ülkenin imzalaması şartı öngörülmüştür. 1997 Kyoto Protokolü sonrası toplanan yıllık Taraflar Konferansı'nın temel hedefi, protokolün hayata geçirilmesi için uygulanacak politikaların ve anlaşmazlığa yol açan noktaların giderilmesine yönelik atılacak adımların belirlenmesi yönünde olmuştur. Bu bağlamda, 1998 yılında, Bounes Aires'de yapılan Taraflar Konferansı'nda (COP4), protokolün iki yıl sonra (COP6) yürürlüğe girmesi amacıyla alınacak tedbirlerin belirlenmesi için katılımcılar “Bounes Aires Hareket Planı” üzerinde anlaşmaya varmışlardır. Ne yazık ki, Kasım 2000'de Lahey'de toplanan VI. Taraflar Konferansı (COP6), özellikle ABD ve Avrupa Birliği arasında büyük tartışmalara neden olmuş ve bir konsensüs sağlanamadan başarısızlıkla sona ermiştir. Görüş ayrılığının temel nedeni, ABD'nin yukarıda belirtilen esneklik mekanizmalarını (özellikle Emisyon Ticareti Mekanizması) sınırsız kullanabilme isteğine karşın, Avrupa Birliği emisyon oranlarını azaltırken bu mekanizmaların ek olarak kullanılması gerektiğini, asıl yapılması gerekenin yerel eylem planları ile ülke içinde azaltmaya gidilmesi esasına dayanmaktadır. [18]

2.4.2 Anlaşmanın Durumu

Anlaşma Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto şehrinde görüşülmüş, 16 Mart 1998'de imzaya açılmış ve 15 Mart 1999'da son halini almıştır. Rusya'nın 18 Kasım 2004'te katılmasıyla 90 gün sonra 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Aralık 2006 tarihinde toplam 169 ülke ve devlete bağlı örgütler anlaşmaya imza atmışlardır (Ek 1 ülkelerinin salınımlarının %61,6'sından fazlasına karşılık gelmektedir). İmza

atmayan önemli ülkeler arasında ABD ve Avustralya gibi gelişmiş ülkeler haricinde, gelişmekte olan Türkiye gibi ülkeler de yer almaktadır. Çin ve Hindistan gibi bazı ülkeler ise anlaşmaya imza atsalar bile karbon salınımlarını azaltmak zorunda değildirler.

Anlaşmanın 25. maddesine göre anlaşma “Ek 1’de yer alan en az 55 ülkenin imzalaması ve bunun Ek 1 ülke salınımlarının en az %55’ine karşılık gelmesi durumunda, buna uyulduğu tarihten sonraki doksanıncı gün yürürlüğe girer.” 55 ülke şartı 23 Mayıs 2002’de İzlanda’nın anlaşmayı kabul etmesi ile, %55 şartı da Rusya’nın 18 Kasım 2004’te anlaşmayı imzalaması ile sağlanmış, anlaşma 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir. [16]

2.4.3 Anlaşmanın Detayları

Birleşmiş Milletler Çevre Programı basın bildirisine göre:

- Kyoto Protokolü gelişmiş ülkelerin sera gazı salınımlarını 1990 yılına göre %5.2 azaltmalarını öngören bir anlaşmadır (protokolün uygulanmaması durumunda 2010 yılı salınım tahminleri dikkate alınırsa bu, %29’luk bir azalmaya karşılık gelmektedir).
- Amaç altı sera gazının, karbondioksit, metan, azot oksit, sülfür heksaflorid, HFC’ler ve PFC’ler, 2008-2012 arası beş yıllık ortalama salınım değerlerini azaltmaktır.
- Ulusal hedefler AB ve başka bazı ülkeler için %8’lik, ABD için %7’lik, Japonya için %6’lık azaltma, Rusya için %0 değişiklik ve Avustralya için %8 ile İzlanda için %10’luk bir artış şeklinde çeşitlilik göstermektedir.
- Anlaşma 1992’de Rio De Janeiro’da yapılan Dünya Zirvesi’nde kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne (BMİDÇS) ek olarak kabul edilmiştir. BMİDÇS üyesi tüm ülkeler Kyoto Protokolüne imza atabilir, üye olmayanlar atamazlar.
- Kyoto Protokolünün birçok maddesi BMİDÇS Ek 1’de belirtilen gelişmiş ülkeler için geçerlidir. [17]

2.5 Küresel Isınma ve Türkiye

Daha önce de açıklandığı gibi, küresel boyutta olabilecek bir sıcaklık artışına bağlı olarak, iklimde önemli değişimler olacaktır. Bu değişimin sonuçları kara ve deniz buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının sınırlarının değişmesi, aşırı meteorolojik olayların ve bunlara bağlı doğal afetlerin artması şeklinde görülecektir.

Türkiye, sup tropikal kuşak, kıtalarının batı bölümünde görülen Akdeniz iklim bölgesinde bulunmaktadır. Üç yanı denizlerle çevrili, ortalama yükseltisi 1100 m civarında ve çok farklı topografik ve orografik yapıya sahip bir ülkedir. Ayrıca Türkiye'yi bilinen hemen bütün hava kütleleri etkilemektedir. Türkiye, genel olarak Akdeniz iklim kuşağında yer almakla birlikte, birçok alt iklim tipinin de yaşandığı bir ülkedir. Türkiye bu karmaşık iklim yapısı içinde, iklim değişikliğinden en fazla etkilenebilecek ülkelerin başında gelmektedir.

Türkiye özellikle küresel ısınmaya bağlı olarak görülebilecek, su kaynaklarının azalması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalardan etkilenecektir. Olası bir iklim değişikliğinin ülkemizde neden olabileceği çevresel ve sosyo-ekonomik sorunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Sıcak ve kurak devrelerin süresindeki ve şiddetindeki artış, kuraklık ve çölleşme ile tuzlanma ve erozyon gibi olayları hızlandıracaktır.
- İklim kuşaklarının kuzeye kayması sonucu Türkiye, daha sıcak ve kurak iklim koşullarının etkisinde kalabilecektir.
- Türkiye'nin mevcut su kaynakları sorununa yeni sorunlar eklenecek, içme ve kullanma suyunda büyük sıkıntılar yaşayacaktır.
- Tarımsal üretim potansiyeli değişebilecektir. (Bu değişiklik bölgesel ve mevsimsel farklılıklarla birlikte, türlere göre bir artış yada azalış biçiminde olabilir).
- Karasal ekosistemler ve tarımsal üretim sistemleri, zararlılardaki ve hastalıklardaki artıştan zarar görebilecektir.
- Sıcaklıktaki artış insan ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapacak, aşırı sıcaktan kaynaklanan hastalık ve ölüm oranları artacaktır.

- Deniz seviyesi yükselmesine bağlı olarak Türkiye'nin yoğun yerleşme, turizm ve tarım alanlarının yer aldığı alçak alanları su altında kalacaktır.
- Mevsimlik kar ve kalıcı kar-buz örtüsünün kapladığı alanlarda, erimelere bağlı olarak kar çığları, sel ve taşkın olaylarında artış olacaktır.
- Deniz akıntılarındaki değişimler, deniz ekosistemleri üzerinde olumsuz etkiler yaratacak, deniz ürünleri azalacaktır.

Şüphesiz küresel iklimde görülebilecek bir değişiklik, Türkiye'nin değişik bölgelerini farklı biçimde etkileyecektir. Türkiye'nin özellikle çölleşme tehdidi altındaki yarı kurak ve yarı nemli özelliğe sahip; İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde tarım, ormancılık ve su kaynakları açısından daha olumsuz sonuçlar görülecektir. Son yıllarda Türkiye ormanlarında toplu ağaç kurumalarının, zararlı böcek salgınlarının ve yangınların arttığı bilinmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak kuraklık derecesinin artması, bu olayları daha da hızlandıracaktır. [8]

Dünyadaki CO₂ emisyonları yönünden Türkiye'nin yeri kademeli olarak artmaktadır: 1960'da 31. sırada iken, 1996'da 25. ve 2000'de 23. sıradadır.

Aynı süreçte, en yüksek CO₂ emisyonlarına sahip olan ABD 1960'taki % 32'lik payını 2000 senesinde % 24.4'e düşürdü. Bu arada, Türkiye'nin payı 1960'da % 0.2 iken 2000'de % 1'e çıkmıştır. [1]

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

Tablo 2.3 Türkiye'nin İklim Değişikliği ile İlgili Seçilmiş Göstergeleri [15]

Göstergeler	Türkiye	OECD	Dünya
Kişi Başı Enerji Temini (Ton/Kişi-Yıl)	1.2	4.74	1.68
Kişi Başı Elektrik Tüketimi	1.817	8.089	2.343
Yakıt Tüketiminden Kaynaklı Toplam CO ₂ Emisyonları (Mt CO ₂ /yıl)	204	12.450	23.395
Yakıt Tüketiminden Kaynaklı Kişi Başı CO ₂ Emisyonları (Mt CO ₂ /Kişi-Yıl)	3.0	11.1	3.9

Türkiye, 1999 yılı temel CO₂ göstergeleri açısından, dünya ülkeleri arasında, toplam CO₂ salımında 23, kişi başına düşen CO₂ salımı açısından 75, CO₂ salımının gayrisafi yurt içi hasılaya (GSYH) oranında 60. ve satın alma gücü paritesi dahil GSYH'nin CO₂ 'ye oranında ise 55. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin, toplam CO₂ salım tutarı dışında kalan göstergelerde alt sıralarda yer aldığı, bu nedenle gelişmiş ülkelerle birlikte değerlendirilmesinin hakkaniyete ve İDÇS'nin “ortak ama farklı sorumluluklar” ilkesine uymadığı görülmektedir. [10]

Tablo 2.4 Temel CO₂ Göstergelerine Göre Türkiye'nin Dünyadaki Sıralaması

	1995	1996	1997	1998	1999
Toplam CO ₂ salınımı	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

3. ULAŞIMDA SERA GAZLARI, YAKIT OLARAK DOĞALGAZ ve DOĞALGAZLI OTOBÜSLER

3.1 Taşıtlardan Kaynaklanan Sera Gazları

Dünyada kullanılan enerjinin çoğu fosil yakıtlar ile sağlanır. Fosil yakıtların yanması artık materyaller ve emisyonlar üretir. Bu emisyonların çevreye ciddi zararları vardır: Bazıları lokal, bazıları daha geniş ve hatta bazılarının global etkisi vardır. Kullanılan büyük miktarlarda fosil yakıt sadece çevreyi tehdit etmekle kalmıyor, ayrıca fosil yakıt rezervleri de dünya üzerinde sınırlı olduğundan gittikçe azalmaktadır. Bu uzmanlar arasında ciddi bir tartışma konusudur. Genel kanı, fosil yakıtların hemen hemen yarısının 21. yüzyıl başı ile çoktan tüketilmiş olduğudur. Dünya çapında bilinen petrol rezervleri 1000 milyar varil civarındadır ve bu petrol rezervlerinin 40 yıl içinde tükeneyeceği tahmin edilmektedir. Petrolle alakalı diğer bir problem ise CO₂, NO_x, CO ve hidrokarbon (HC) gibi kirletici maddelerin emisyonudur. Kömürün daha yüksek miktarlarda var olduğu biliniyor fakat geleneksel kömür yanma teknolojisi ,özellikle ürettiği faydalı enerji başına çıkardığı sera gazı emisyonları bakımından, birçok diğer yakıttan daha kirleticidir. [19]

Fosil enerji kaynakları 3 gruba ayrılır: Petrol, kömür ve doğal gaz. Fosil yakıtlar dünyadaki toplam birincil enerji kullanımının büyük bir kısmını sağlar, 2001’de %85 oranında. Fosil yakıtlar, 2020 yılı itibariyle dünyadaki birincil enerjinin % 90’ını oluşturacaklar. Fosil yakıtlar oldukça verimli ve ucuzdur. Şu anki tüketim oranında, petrol için onaylanmış rezervler 40 yıl içinde sona erecek. Buna ek olarak, petrol kaynaklarının çoğu siyasi olarak güvenilir olmayan ve istikrarsız coğrafi konumlardadır. [5]

Enerjinin verimli kullanımı, sera gazı emisyonları düşük alternatif enerji sistemlerinin uygulanması vb. gibi yaklaşımlar sonucu bazı ülkelerde kişi başına enerji tüketimi ve kişi başına CO₂ emisyonu değerleri 1990 yılından sonraki dönemde düşürülmüştür.

Karayolu taşıtlarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması için;

- Trafiğe yeni çıkan taşıtların yakıt tüketimlerinin azaltılması,
- Sera gazı üretimi daha düşük olan alternatif yakıtların kullanımı
- Trafik akışının düzenlenmesi ve
- Ulaşım planlaması sonucu alternatif yaklaşımlarının kullanımı gerekmektedir.

[2]

Çoğu metropol toplu taşıma birimleri, toplu taşıma filolarını çevre kirliliğini azaltıcı yönde iyileştirmeyi düşünmektedir. Motor ve yakıt teknolojisindeki ilerlemeler, bazı tip yakıtlarda düşük emisyonlu otobüslerin üretilmesine yol açmıştır.

Nüfusun artmasının bir sonucu olarak şehir bölgelerindeki ulaşım talebi hızla artmaya devam etmektedir. Toplu taşıma otobüsleri, bu talebe ilaç olabilir fakat; hava kirliliğine ciddi katkıda bulunmaktadır. Toplu taşıma otobüsleri için en genel motor tipi olan dizel motorların egzozu konusundaki çalışmalar, bu araçların çok fazla sağlık sorunlarına yol açtığını göstermektedir.

EPA'ya göre; Dizel Motor Egzozu için Sağlık Değerlendirme Belgesi (Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust (2002)), dizel motor egzozundan çıkan gazların uzun süre teneffüs edilmesi, akciğer sağlığına önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Kısa süreli maruz kalmalar ise öfkeye ve geçici bir huyun kışkırtılması sendromlarına neden olmaktadır. Ayrıca var olan alerjik durumları ve astım semptomlarını daha kötü hale getirmektedir [20]

İçten yanmalı motor teknolojisindeki gelişmeler de alternatif yakıt kullanımı ile birlikte, CO₂ emisyonlarının kontrolünde özellikle kısa ve orta dönemde önem taşımaktadır. [2]

İçten yanmalı motorlar, çok yönlülüğü bakımından, ulaşım sektörüne hakim olmaya devam edeceklerdir. Batarya ve yakıt piller ile çalışan araçlar için menzil ve ivme bakımından önemli bir sınırlama vardır. Bu koşullar altında, var olan motor teknolojisinin güvenli bir şekilde devam edebilmesi için çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve alternatif yakıtlı içten yanmalı motorların tasarlanması gereklidir. Sınırlı ömür süresinin dışında, fosil yakıtların yakılmasından oluşan diğer bir problem de dünyaya salınan CO₂ gazıdır. Dünyanın çeşitli bölgelerinde ciddi olarak araştırılan çeşitli alternatif yakıtlar vardır. [21]

LPG, doğal gaz, hidrojen, alkol yakıtlar ve biodizel gibi yakıtların benzin ve dizel yakıtına alternatif olarak veya katkı maddesi olarak kullanımı da yakıt tüketiminde veya emisyonların düşürülmesinde avantaj sağlayacaktır.

Karayolu taşıtlarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının kontrolü, taşıtların üretim ve kullanım aşamalarında enerji tüketim verimliliğine ilişkin önlemlerin alınmasına bağlıdır. Bu nedenle, ilişkin önlemlerin alınmasına bağlıdır. Bu nedenle taşıt ve motor teknolojilerindeki gelişmeler, alternatif yakıtların kullanımı, taşıtların kullanımında yakıt tüketimi bakımından en uygun trafik koşullarının sağlanması CO₂ emisyonlarının kontrolünde önem taşımaktadır. Ulaştırma aktivitelerinde verimlilik, enerji tüketiminin kısıtlanmasında ön planda yer almaktadır. Buna göre toplu taşımacılık sistemlerinin yaygınlaştırılması önem taşımaktadır. [2]

Geleneksel dizele yakıt alternatifleri, her geçen gün daha kullanılabilir hale gelmekte ve daha çok yaygınlaşmaktadır. EPA'ya göre, dizel otobüslerden çıkan emisyonlar, son on yılda oldukça azalmıştır. Dizel motor teknolojisinde filtreler ve katalizörler gibi gelişmeler, ağır taşıtlardaki dizel motorların, hidrokarbon, azot oksit, ve PM emisyonlarının geçen on yıla oranla % 50–90 oranında azalmasıyla sonuçlanmıştır. Bu gelişmelerin birçoğu, EPA'nın emisyon standartlarını daha sıkı hale getirmesinin sonuçlarıdır. 3 yıllık dönemde iki kez olmak üzere EPA dizel kamyon ve otobüs motorları için yeni emisyon standartları getirmektedir.

Geleneksel yakıtların “temiz yakıt” doğal gaz ile değiştirilmesi emisyonların azaltılmasına katkıda bulunabilir ve özellikle şehir alanlarındaki hava kalitesinin iyileşmesine öncülük edebilir.

Petrol, en önemli enerji kaynağı olarak hala rakipsizdir. Fakat, doğal gaz birincil enerji tüketiminde önemli bir pay sahibi olmaya başlamıştır. Sera gazı etkisi kavrandığında yüksek CO₂ emisyonlara sahip enerji kaynaklarının kullanımı, ör. katı yakıtlar, sınırlanmak istendiğinde, doğal gazın pazardaki talebinin daha fazla artması beklenmektedir. [22]

Alternatif yakıtlar içinde en popüler olanı, CNG ile çalışan otobüslerdir. Amerika Toplu Taşımacılık Kurumu, dizel yakıtına en iyi alternatifinin sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) olduğunu rapor etmiştir. [20]

Çoğu ülkede trafiği azaltmak için toplu taşımacılığı kullanım özendirilmektedir. Şehir otobüsleri genellikle dizeldir ve bu otobüslerin emisyonları sık nüfuslanmış alanlarda ortaya çıkmaktadır ve tüm alana yayılmaktadır.

Katalize edilmiş buji ateşlemeli motorlarda kullanılan CNG ciddi bir emisyon düşüşü sağlarken, var olan orijinal dizel motorda yapısal olarak değişiklik gerektirmektedir. Ayrıca CNG zehirli değildir ve bütün hidrokarbonlar arasında en yüksek H/C oranına sahiptir. Bu da karbondioksit emisyonunu azaltmaktadır. Toplu taşımacılıkta CNG'nin kullanımı şehir havasının kalitesinin artmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini ve sosyal maliyetlerini azaltabilir. [23]

3.2 Yakıt Olarak Doğalgaz

3.2.1 Enerji Üretiminde Doğalgaz

Dünya enerji tüketiminin en hızlı büyüyen bileşiminin doğal gaz olması beklenmektedir. Çünkü petrol ve kömürden daha temiz bir yakıttır ve nükleer güç gibi tartışmalı da değildir. Gelecekte doğal gazın birçok ülke için tercih edilen bir yakıt olması beklenmektedir. Dünya doğal gaz rezervlerinin 6076 trilyon feet küpünde (TCF) olduğu hesaplanmıştır, 2003 hesabından 575 TCF(%10) daha fazladır. Doğal gaz dünya etrafında bulunur, fakat dünyanın doğal gaz rezervlerinin en büyük kısmı Orta Asya'da bulunur. Toplam enerji tüketiminin doğal gaz paylaşımının, 2001'deki %23 oranından, 2025'teki %25 oranına artacağı hedeflenmiştir. Doğal gaz, bugünkü enerjinin en çok kullanılan şekillerinden biridir.

Doğalgaz endüstriyel, konutlarda, elektrik üretimi, ticari ve ulaşım sektörlerinde kullanılır. Genel olarak evleri ve şirketleri ısıtmak için kullanılır. [5]

Tablo 3.1 Sektörlere Göre Doğalgaz Kullanımı

Sektör	Toplam Kullanım Yüzdesi	Avrupa
Endüstriyel	43	38
Konutlar	22	25
Elektrik Üretimi	18	20
Ticari	14	15
Ulaşım	3	2

3.2.2 Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Doğalgaz küçük canlıların milyonlarca yıl süren çürümeleri sonucu oluşan, genelde petrol bölgelerinde bulunan fosil bir yakıttır. İçerisinde büyük oranda metan, daha sonra az miktarlarda etan, propan, bütan, karbondioksit, azot içeren yüksek kalorili bir gaz yakıttır. Doğalgazda kükürt yoktur. Yanma sonunda kül, is, kurum, katran gibi artıklar bulunmaz. Doğalgazın kalorifik değeri çok yüksektir. Bu nedenle diğer yakıtlara göre kalori başına düşen maliyeti düşüktür. [24]

Doğal gaz, 200 milyon yıldan daha fazla zaman önce küçük bitki ve deniz canlılarının çürümüş artıklarından oluşmuş bir gazdır. Doğal gaz, saf halinde iken renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Ana maddesini hacimsel olarak 70-99% metan (CH_4) gazı oluşturmaktadır ve bu da onu temiz bir yakıt yapmaktadır. [4]

Doğal gaz, en çok potansiyele sahip alternatif yakıtlardan biri olarak düşünülmektedir. Ulaşımında doğal gaz kullanımı Arjantin, Brezilya Hindistan, İran ve Pakistan gibi ülkelerde hızlı bir şekilde artmaktadır.

Avrupa Komisyonu, 2020 yılında geleneksel yakıtların % 20'sini alternatif yakıtlarla yer değiştirmeye öncelikli olarak hedeflemiştir. Avrupa Birliği içinde, Almanya hem yakıt istasyonları hem de CNG araçları bakımından en hızlı büyüyen ülkedir. [25]

Sıkıştırılmış doğal gazla çalışan arabaların satışları son iki senede Almanya'da ciddi ölçüde artmıştır. Aslında da bütün olarak Avrupa'da da artmıştır. Sıkıştırılmış doğal

gazla çalışan araçlar evde yakıt ikmali yapabildiği gibi, eklenmiş pratiklik sunarlar ve bu da biyoyakıtlara karşı olan tepkiye eklenip, önümüzdeki birkaç yılda sıkıştırılmış doğal gazın alternatif yakıtlar pazarında önemli bir oyuncu olma potansiyelini vemektedir.

Bütün işaretler; sıkıştırılmış doğal gazlı arabaların Avrupa’da popülerliğini arttırdığını göstermektedir. Almanya’da, otomotiv haber sağlayıcılarına göre doğalgazlı araba satışları Ağustos 2006’ya oranla Ağustos 2007’de %58 artmıştır.

Biyoyakıtların popülerliğine ve diğer alternatif yakıtlardaki yeniliklere rağmen bu büyüme gösteriyor ki sıkıştırılmış doğalgaz, alternatif yakıtlar pazarında önemli bir oyuncu olma potansiyeline sahiptir. [26]

Birçok ülkede doğal gaz, toplu taşıma otobüs filolarında ulaşım yakıtı olarak birincil yakıt olarak öne çıkmaktadır. Toplu taşıma otobüsleri genellikle belli bir rotada seyir ederler ve depo bazlı yakıt ikmali yapmaktadırlar. Bu, yakıt ikmalini doğalgazlı otobüsler için kolaylaştırmaktadır. Dizel otobüs filolarını doğalgaza çevirmek emisyonu azaltmak için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu nedenlerden dolayı, toplu taşıma otobüsleri, birçok doğal gaz gelişmelerinin odak noktasında olmuştur. [25]

Günümüz CNG taşıt teknolojisinde, hem hafif hem de ağır hizmet motor uygulamasında çok düşük emisyon değerleri görülmektedir. CNG motorlarının emisyon limitlerini çok yüksek yakıt çevrim yüzdesi ile test edildiğinde; CNG taşıtlarında CO₂ emisyon değerleri, denk benzinle çalışan taşıta göre %20 düşük çıkmaktadır. Doğal gazın içeriğindeki karbon miktarının diğer fosil yakıtlardan daha düşük olması nedeniyle CO₂ emisyon değerleri düşük çıkmaktadır. Ayrıca HD CNG (Ağır Hizmet Doğal Gaz) motorunun Avrupa transit çevriminde ortalama CO₂ emisyonu 670 g/kw-h sağlanmıştır. CNG’nin yakıt çevrim yüzdesi, gelecek CNG teknolojisi ile daha da gelişeceği kesindir.

CNG taşıt teknolojisi gelişimi derken aklımıza iki başlık gelmektedir:

- Emisyon Açısından Gelişimi
- Yakıt Tüketimi Açısından Gelişimi [21]

3.2.3 Doğalgazın Avantajları

Ekonomi açısından;

- Pahalı değildir.
- Boru hatlarıyla daha kolay taşınabilir. Gerekli olan yerde küçük bir doğal gaz kompresörü eklenerek dolum yapılabilir.
- Kullanımdan önce çok az rafinasyon gerektirmektedir.
- Yakıt dolum işlemi kolay ve temizdir.
- Doğal gazlı taşıtlar, benzinin yakıt ekonomisini karşılar veya geçer. Yeni doğal gaz motorları, halen kullanılmakta olan yüksek kompresyonlu dizel motorları kadar verimlidir.
- CNG kullanımı daha düşük bakım maliyeti demektir. [4]

Güvenlik açısından;

Doğal gaz, doğal olarak güvenli bir motor yakıtıdır. Doğal gazlı taşıtlarda yakıt kökenli kaza ve yangın olasılığı, geleneksel taşıtlara oranla çok daha düşüktür. Doğal gazı böyle güvenli bir yakıt yapan iki özelliği vardır:

- Yakıtın kendi özellikleri (Havadan hafif olması nedeniyle çabucak yayılarak dağılır. Benzinden farklı olarak açık havada patlama yapmaz.). Benzin veya diesel yakıtından farklı olarak, doğal gaz havada sadece sınırlı bir konsantrasyon aralığında yanabilir.
- Yakıt sistemine çok sıkı standartlar uygulamaktadır. Taşıtlar için doğal gaz yakıt tüpleri benzin depolarından çok daha kuvvetli yapılmaktadır. Böylece büyük kazalarda bile sağlam kalabilir, senelerce kullanılabilirler. Tüp dolduğunda dolum otomatik olarak sona erdiğinden, aşırı doldurma ve dökülme riski yoktur. Dolum sistemi tamamen yalıtılmış olduğundan, dolum sırasında atmosfere yakıt kaçağı olmaz. [27]

Emisyonlar açısından;

- Doğal gaz en az kirletici yayan yakıttır.
- Doğal gaz hafif ve orta hizmet taşıt filolarında kullanıldığında, ozon oluşturan kimyasallar emisyonunu önemli düzeyde düşürme potansiyeline sahiptir.

- Doğal gaz yakıt sistemleri tamamen yalıtılmıştır ve dolum sırasında hiçbir şey yaymazlar.
- Doğal gaz taşıtlarda kullanıldığında, partikül emisyonlarında geleneksel dizel yakıtlı motorlara oranla %65-90 azalma sağlamaktadır.
- Doğal gaz kullanan otobüs ve kamyonlar güncel emisyon standartlarını kolayca karşılarlar.
- Doğal gazın ağır kamyonlarda ve otobüslerde kullanımı, dizel motorların iyi bilinen problemlerinden biri olan NOx'lerde 2/3 kadar azalma sağlamaktadır.
- Küresel ısınma daha fazla doğal gazın kullanılmasını talep etmektedir. Çünkü bu, doğal gazın petrolden %25 daha az CO2 emisyonu üretmesindendir. [4]

3.2.4 Doğal Gazın Dezavantajları

- Dolum istasyonlarının kurulması pahalıdır.
- Taşınması sıvı hidrokarbonlara göre daha pahalıdır. Yüksek P ve düşük T, kompresörler/soğutucular ve ağır kaplar gerekmektedir.
- Uzun atmosferik süreklilik nedeniyle, sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından sızıntı durumunda CH₄, CO₂'ye oranla 20 kez daha kötüdür.
- Doğal gaz kullanan taşıtlar, karşılaştırılabilir rakiplerine oranla daha pahalıdır. Diğer bir belirleyici faktör olan dönüşüm maliyetleri de dizellerde biraz daha fazla olmak üzere pahalıdır.
- Karakteristiklerine de bağlı olarak taşıt performansını bir miktar düşürmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır. Sızıntı olduğunda havalandırılmazsa, bir kıvılcım durumunda yanma ve patlama riski vardır. [27]

3.2.5 Doğalgaz Yakıt Sistemleri

Boru doğal gazının standartlara uygun olarak filtrelendiği, kurutulduğu vesikıştırıldığı bir yerel yakıt istasyonunda üretilir. Taşıtlarda yüksek basınç sıkıştırılmış gaz tüplerinde depolanır. Depolama basıncı, 200-250 bar kadardır ve 250 barda atmosfer basınç ve sıcaklığındaki doğal gaza oranla yaklaşık 1/200 hacim

kaplar. CNG yakıtlı taşıtın tam yükte kat edeceği mesafe, tüplerin basınç ve hacmine bağlıdır.

Doğal gaz yakıt sisteminin çalışması:

Tüplerde bulunan yüksek basınçlı gaz, bir filtreden geçirilerek, önce gaz basıncının 12-15 bara düşürüldüğü yüksek basınç regülatörüne gönderilir. İkinci bir regüle edici valf olan düşük-basınç regülatörü, bu basıncı daha da düşürerek, gaz control valfine uygun bir besleme basıncı düzeyine indirir. Kontrol valfi, motorun soğutma suyundan yararlanılarak ısıtılabilir. Sistem, herhangi bir anormal basınç artışı, gaz kaçağı vb. olduğunda, otomatik olarak kapanacak biçimde tasarlanmıştır. [4]

3.2.6 Doğalgazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması

Katı (%3.5) ve sıvı (%11) yakıtlar birbirine yakın hidrojen içerirken, doğal gazda (%24) oldukça yüksektir. Bu yüzden doğal gazın ısı değeri çok yüksektir. Üst ve alt ısı değerleri arasındaki fark da en çok olacaktır. Doğal gazda hava kirliliğine yol açan kükürt (S) yok sayılabilir. Doğal gaz kül ve nem içermez. Diğer yakıtlarda çeşitli oranlarda bulunan oksijen, kükürt, su buharı, kül doğal gazda yoktur. Doğal gazın otomobil motorları için de faydalı olan özellikleri bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi vuruntuya karşı direnç göstermesidir. Vuruntu benzinli motorlarda istenmeyen bir durum olup, motorun ömrünü azaltır. Ayrıca doğal gaz, benzine oranla daha yüksek hava fazlalık değerlerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motor fakir karışım ile çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazları açısından yarar sağlanabilir. Doğal gazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Tablo 3.2’de yakıtların özellikleri görülmektedir. [28]

Tablo 3.2 Yakıtların Özellikleri [10]

ÖZELLİKLER	BİRİM	DOĞALGAZ	BENZİN	DiZEL
Formül	-	CH ₄	C ₄ den C ₁₂	C ₈ den C ₂₅
Molekül Ağırlık	-	16	100-105	200
Yoğunluk (havaya göre)	Hava=1	0.6	3.4	3.9
Kendiliğinden Tutuşma noktası	°C	540	232-282	225
Alevlenme limiti	Havadaki %	5-15	1.4-7.6	0.6-5.5
Donma Noktası	°C	-182	-40	-40 ile -1
Buharlaştırma Noktası	°C	-162	27-225	188-343
Parlama Noktası	°C	1790	1977	2054
Oktan Numarası	-	120-130	88-100	-
Cetan Numarası	-	-	-	40-55

3.2.7 Doğalgazın Yanma Özellikleri

Aşağıdaki faktör ve özellikler; doğal gazlı motor ve taşıt uygulamalarında performans ve emisyon açısından etkilemektedir.

- Yakıt Yoğunluğu
- Vuruntu Direnci
- Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı
- Wobbe İndeksi
- Kendi Kendiliğine Tutuşma Sıcaklığı
- Hacim Başına Düşen Yanma Isısı
- Ağırlık Başına Düşen Yanma Isısı
- Hacim Başına Düşen Karışımın Yanma Isısı
- Yanma Limitleri

Gaz bileşiklerindeki değişiklikler; doğal gazlı taşıtların çalışmasına, performansına, yanma hızına ve egzoz emisyonuna çeşitli derecede etkide bulunmaktadır. Örneğin Amerika'daki gaz bileşenlerindeki değişiklikler, yanma ısısını %14, yakıt

yoğunluğunu %14, Wobbe İndeksini %20 ve stokiyometrik hava/yakıt oranını %25 dolayında etkilemektedir. Buna benzer bir örnek de; Avrupa'daki doğalgazın kalitesindeki farklılıklardan dolayı grup L ("low heating value"-alt ısı değeri) ile grup H ("high heating value"-üst ısı değeri) çeşitli etkiler meydana gelmektedir. [29]

3.2.8 Doğalgaz Tabanlı Yakıtlar:

- Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG)
- Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)
- Doğal Gazdan Metanol
- Doğal Gazdan Sentetik Dizel Yağı

Sıvılaştırılmış Doğalgaz:

Doğal gazın sıvılaştırılması ulaşım sektörü için pratik değildir çünkü normal hava basıncında -161 °C'lik bir sıcaklığın sağlanması gereklidir.

Doğal Gazdan Methanol

Methanol, doğal gazdan üretilen başka çeşit bir sıvı yakıttır. Fakat bu işlem fazla miktarda enerji gerektirir ve beraberinde istenmeyen CO₂'i oluşturur. Doğal gazın kendisi alternatif yakıt olarak kullanılabilirken, yol taşıtlarında kullanmak için doğal gazı methanole dönüştürmek mantıksızdır.

Doğal Gazdan Sentetik Dizel Yağı

Sentetik dizel yağı da araçlar da kullanılabilir, fakat elde etme işleminde çok fazla enerji gerektirmekte ve bu da toplam CO₂ oranını ve maliyeti arttırmaktadır.

Özetle, Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG), yol ulaşımında kullanılabilecek en ekonomik ve pratik çözüm olarak düşünülebilir.

3.2.9 Araçların CNG'ye Dönüşümü için Opsiyonlar

- Bir benzin (Otto Çevrimi) motorunun CNG motoruna çevrilmesi (bir yakıtı çevirme olarak adlandırılır)
- Bir benzin motorunun hem CNG hem benzinle çalışan motora çevrilmesi (iki yönlü, bi-fuel)
- Bir dizel motorunun sadece CNG'ye (buji ateşlemeli) çevrilmesi

- Bir dizel motorunun dual yakıtlı motora çevrilmesi (doğal gazın ve dizelin birleştirilmesi)

Belli bir seyahat yoluna sahip olan toplu taşıma otobüsleri, prensip olarak sadece CNG yanmalı motora çevrilme için ideal olarak durmaktadır. Bu durumda, dizel motoru dizelin yerine %100 doğalgaz yakmak için buji ateşlemeli bir motora çevrilmelidir. Asıl gerekli modifikasyon, sıkıştırma oranını yaklaşık 14:1 oranına düşürmektir, bu da piston çanağından materyalin çıkarılması veya pistonların veya silindir kafasının değişimi ile sağlanabilir. Dizel enjektörler bujiler ile değiştirilmeli ve bir gaz karbüratörü (karıştırıcı) monte edilmelidir. Dizel yakıt pompası ayrıca çıkartılmalı ve bir dağıtıcı (veya bir elektronik buji ateşleme sistemi) eklenmelidir.

CNG yanmasının artan ısı ve dizel yanmasına oranla daha düşük mekanik verimle sonuçlanması yüzünden, motorun soğutma sistemi iyileştirilmelidir. Dual yakıt sisteminde dizel, yanmayı başlatmak için kullanılır. [25]

Tek Yakıtlı (Mono-Fuel) Araçlar :

Sadece doğal gazla çalışan taşıtlardır. Bu tip taşıtlar doğal gazın doğasında olan yüksek oktan sayısı (120-130) sayesinde yakıtı daha verimli kullanırlar.

Dizel Motorlarında (Dual-Fuel) Dönüşüm :

Doğal gazı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmanın en kolay yöntemi, gazı emme havası ile karıştırarak silindire almaktır. Dizel yakıtının (pilot yakıt) püskürtülmesi ile karışım tutuşur ve yanar. Yanma için gerekli olan enerjinin büyük bir kısmı gaz tarafından karşılandığından, belirli bir güç için, kullanılan dizel yakıt miktarı azaltılmış olur. Bu yöntemin en büyük avantajı, motorun içinde hiçbir değişikliğe gerek duyulmaksızın mevcut motor üzerinde sistemin kolayca uygulanabilmesidir. Birçok pilot püskürtme sisteminde, motor durdurulmadan dahi doğal gaz kullanımından %100 dizel kullanımına geçilebilmektedir.

Motor boşta çalışırken %100 dizel yakıtı kullanılır. Artan yükte beraber motora verilen doğalgaz miktarı artırılır. Bu motorların çoğunda strok başına püskürtülen dizel yakıtı miktarı aşağı yukarı sabit, püskürtme zamanı da orijinal dizelinkinin değerinde tutulur. Pilot püskürtme ile çalışan çift yakıtlı bir motorda, iyi ve güvenli bir yanma için, pilot miktarının tam yükte harcanan enerjinin %5-20'sine sahip olması gerekmektedir. Tam yükte kullanılabilecek maksimum yakıt miktarı vuruntu

sınırını belirler. Doğalgazın oktan sayısı çok yüksek olduğundan, istenirse, tam yükte toplam enerjinin %95'i doğalgaz tarafından karşılanabilir. Fakat yük azaldıkça iyi bir yanma için daha çok dizel enerjisine gerek duyulmaktadır. Yaklaşık %50 ve altında yüklerde (kısmi yükler) silindirdeki karışım çok iyi bir yanma sağlayamayacak kadar fakirdir. Bu da sonuçta verimi düşürür. HC ve CO emisyonunu arttırabilir. Ancak is emisyonu her zaman % 100 dizel yakıtından daha azdır. Boşta ve kısmi yükte çalışma şehir içi otobüs motorlarının çalışma çevriminde önemli bir yer tuttuğundan, çoğunlukla doğalgaz harcanan toplam yakıtın ancak %30-60'ını sağlar.

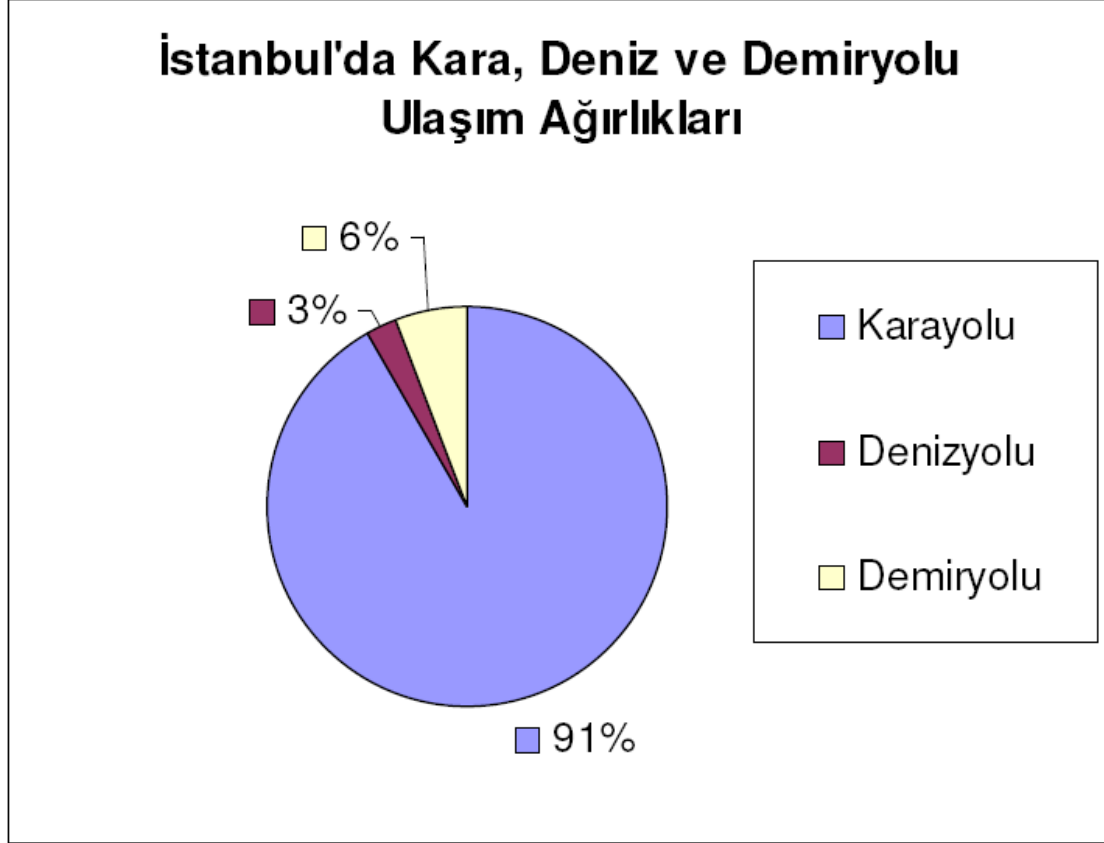
Tam yükte verim orijinal dizelinkine eşit veya çok az daha iyi olmakla beraber kısmi yüklerde verim orijinal dizelinkinden her zaman düşüktür. Çift yakıtlı motorlardan genellikle orijinal dizel motoru ile aynı güç elde edilmektedir. Hatta toplam enerjinin belli bir bölümü gaz yakıt tarafından sağlandığı için is ve partikül emisyonunda azalma olacağından, motorun is sınırıyla belirlenmiş gücü bir miktar arttırılabilir. Ancak genellikle, benzin motorlarındaki türden vuruntu meydana gelmemesi için bu motorların güçleri orijinal dizelin üzerine çıkarılmaz. Tablo 3.3'te motorları doğalgaza çevirme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir. [10]

Tablo 3.3 Motorları Doğalgaza Çevirme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Motorları Doğalgaza Çevirme yöntemleri	Avantajları	Dezavantajları
Dizel motorunu buji ateşlemeli motora çevirmek	%100 Doğalgaz kullanımı Düşük egzoz emisyonları Yüksek teknoloji seviyesi	Kısmi yüklerde fazla yakıt tüketimi Değiştirme işlemi yapan elemanın kalifiye olması gerekmektedir
Dizel motorunu çift yakıtlı bir sisteme dönüştürmek	Motorda çok az değişiklik gerektirmesi Kısmi yüklerde daha iyi çalışma	İs dışındaki emisyonlarda sırf doğalgazla çalışan motorlara göre daha az emisyon azalması

3.3 İstanbul'da Toplu Taşımacılık

İstanbul'da toplu taşımacılık 3 değişik yöntemle yapılmaktadır. Bunlar karayolları, raylı sistemler ve deniz yollarıdır. Şekil 3.1'de ulaşım yüzdeleri görülmektedir.



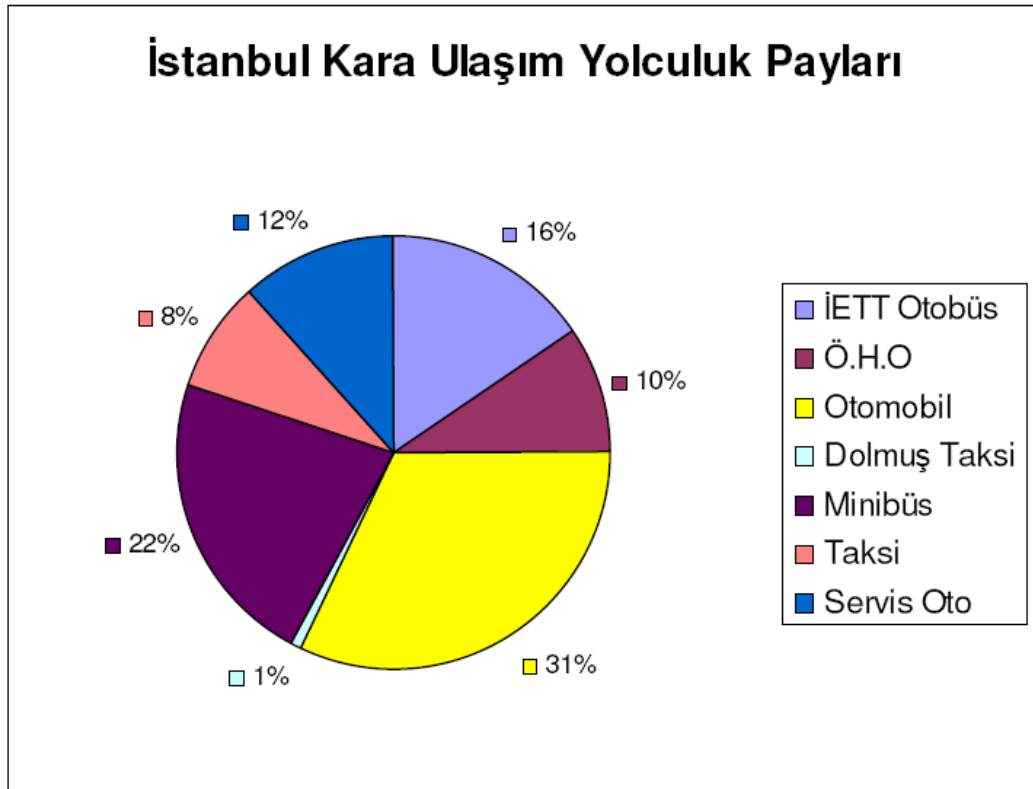
Şekil 3.1 İstanbul'daki Ulaşım Yüzdeleri [30]

3.3.1 Karayolları

1871 yılından itibaren çalışan Tramvay işletmesine destek olmak amacı ile Dersaadet Tramvay Şirketi'ne 4 adet otobüs çalıştırma izni verilmiş, ilk otobüs 1926 yılında çalışmaya başlamıştır. 1928 yılında tramvay arabalığı olarak kullanılan Bağlarbaşı deposu garaj haline getirilmiştir. 1930 yılında toplu taşıma hizmetlerinde 4 adet Renault Scania marka otobüs Beyazıt-Karaköy arasında çalışmaya başlamıştır. Şirketin İETT'ye devri sırasında 3 adet otobüsü vardı. 1942 yılında 23 adet White marka otobüs sipariş edilmiş ancak bunlardan 9 adedi teslim alınmış olup bu tarihte 3 adet Scania marka otobüs hurdaya ayrılmıştır. Aynı yılın sonlarında Ticaret Ofisi tarafından, İsveç'ten 25 adet Scania-Vabis marka benzinli kamyon ithal edilerek İETT'ye tahsis edilmiştir. 3 Nisan 1943 tarihinde, kamyonlardan 15 otobüs, 1944 yılında ise 5 adet Scania-Vabis otobüs alınmasıyla birlikte 29 adetlik bir filo

oluşturulmuştur. Bu filo 17 Ekim 1946 yılında Ankara Belediyesi otobüs deposunda çıkan yangında yanan otobüslerin yerine Ankara'ya gönderilmiştir Kısa bir süre sonra belediyenin girişimi ile 12 adet Tvvin Couch, 2 adet Chevrolet, 1 adet Fargo marka olmak üzere 16 otobüslük filo 1955 yılına kadar hizmet vermiştir.

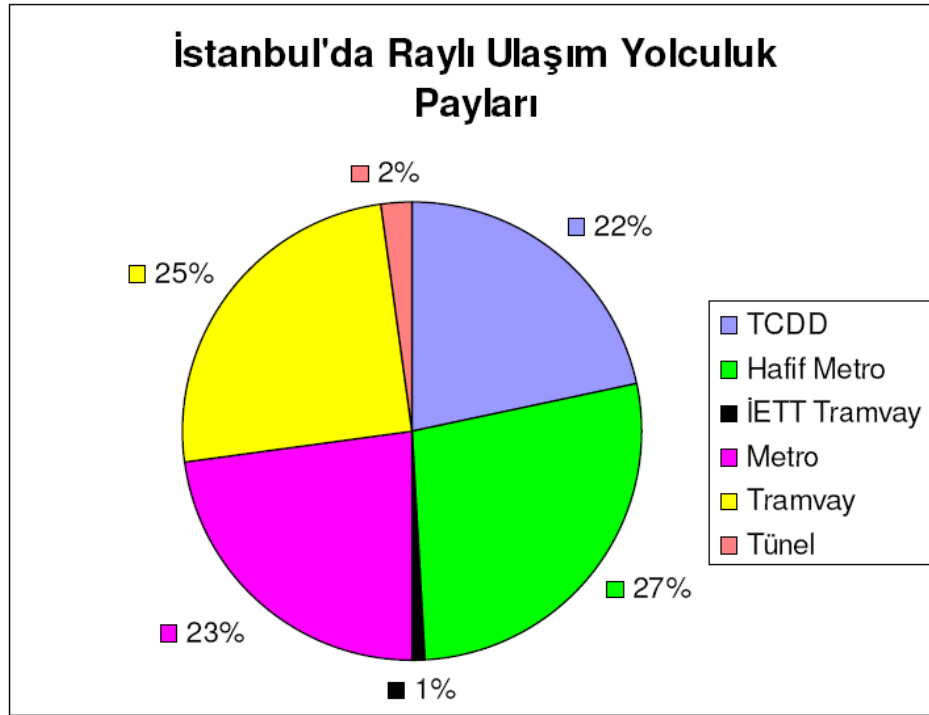
1960 yılına kadar Skoda, Mercedes, Bussing ve Magirus gibi çeşitli markalarda otobüs alımları sürmüştür ve filo sayısı 525 olmuştur. 1968 ve 1969 yıllarında toplam 300 adet Leyland otobüs satın alınmış, 1979-1980 yıllarında Mercedes-Benz, Magirus ve İkarus otobüsler satın alınarak toplam 495 otobüs ile 1983-1984 yıllarında MAN markalı otobüsler işletmeye verilmiştir. 1997 yılında Euro 2 standartlarında MERCEDES otobüslerin alımına başlanmasıyla 2001 yılı sonu itibarıyla 2580 otobüslük filoya ulaşılmıştır. Ayrıca İstanbul'da çalışmakta olan özel halk otobüsleri de bulunmaktadır. İstanbul'da 1283 tane normal, 676 tane bölgesel taşımacılık yapan, 89 tane çift katlı ve 2 tane turistik olmak üzere toplam 2050 tane özel halk otobüsü bulunmaktadır. Şekil 3.2'de İstanbul'da kara ulaşım yolculuk payları görülmektedir. [31]



Şekil 3.2 İstanbul'da Kara Ulaşım Yolculuk Payları [30]

3.3.2 Raylı Sistemler

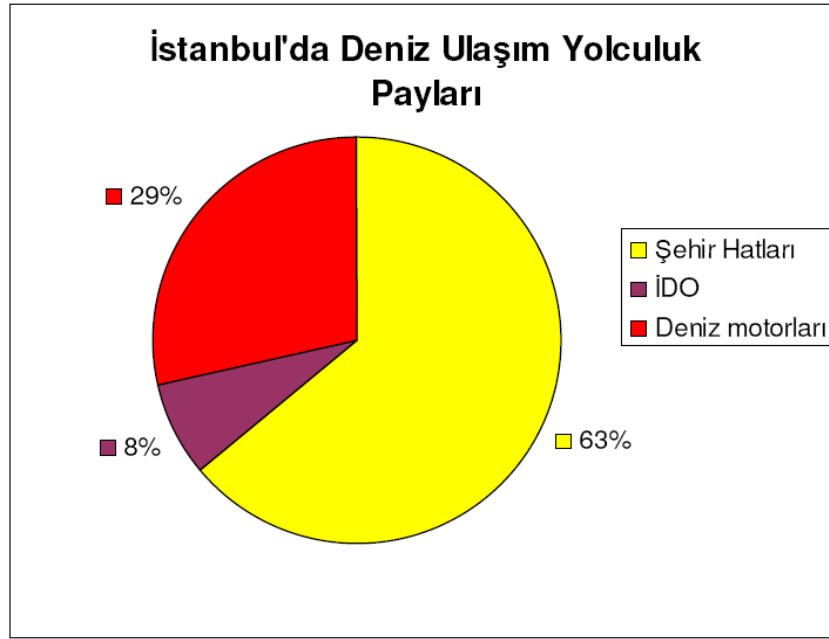
Şekil 3.3'te İstanbul'daki raylı ulaşım yolculuk payları görülmektedir.



Şekil 3.3 İstanbul'daki Raylı Ulaşım Yolculuk Payları [30]

3.3.3 Deniz Yolları

İstanbul'da deniz ulaşımı şehir hatları vapurları, deniz otobüsleri ve deniz motorlarıyla yapılmaktadır. İstanbul'da şu anda Bandırma-Yenikapı, Bandırma-Yalova ve Pendik-Yalova arasında çalışan 6 tane hızlı feribot vardır. Ayrıca İDO'nun filosunda çeşitli teknik özelliklerde 20 tane deniz otobüsü vardır. İstanbul'un deniz ulaşımında büyük bir yükü şehir hatları vapurları çekmektedir. Şu anda bu vapurlar yenilenme aşamasındadır. İstanbul'da çeşitli yolcu taşıma kapasitelerinde 61 tane şehir hatları vapuru bulunmaktadır. Şekil 3.4 İstanbul'daki deniz ulaşım yolculuk paylarını göstermektedir. [32]



Şekil 3.4 İstanbul'daki Deniz Ulaşım Yolculuk Payları [30]

3.4 İETT'ye Ait Doğalgazlı Otobüsler

İETT İdaresi'ne, ilk kez 1993 yılında, doğalgazla çalışan Macar malı 100 adet İkarus Solo tip (İK-260.25) otobüs katılmıştır. İETT filosuna eklenen bu 100 yeni otobüse, sırasıyla; 93/501 - 93/600 limitleri arasında kapı numaraları konulmuştur. Bu otobüsler, diğerlerinden farklı olarak yeşil renklere boyanmışlardır. (Çevreyi kirliletmeyen, temiz yakıtlı ve doğa dostu esprisinden yola çıkarak). Üzerlerine de o yıllarda İETT otobüslerinin kabul edilen renklerini taşıyan; "kavuniçi-lâcivert" kuşaklar atılmıştır. Bu 100 otobüs, aynı zamanda İETT idaresinin ilk yeşil renkli otobüsleridir. Araç filosunun tamamı, Kadıköy'deki "Hasanpaşa İETT Garajı"na bağlanmıştır. Doğalgaz tüpleri dolum üniteleri de bu garaj bünyesinde oluşturulmuştur. "4", "10", "12", "12A" gibi hatlarda servislere verilmişlerdir. Günümüzde 13 yaşına basan doğalgazlı otobüsler, halen sadece Kadıköy yakasında ve nispeten kısa hatlarda çalıştırılmaktadırlar. 90'lı yılların sonlarında da, MAN-SL 200 model bir İETT otobüsü, Avrupa yakasından alınarak, Hasanpaşa Garajı'na verilmiştir. Burada gerekli dönüşümleri tamamlandıktan sonra prototip olarak hizmete girmiştir (86-111).

Doğalgaz yakıt depoları, araçların üzerine monte edilmiştir. Şekil 3.5'te Hasanpaşa Garajındaki doğalgazlı otobüslerden biri görülmektedir. [33]



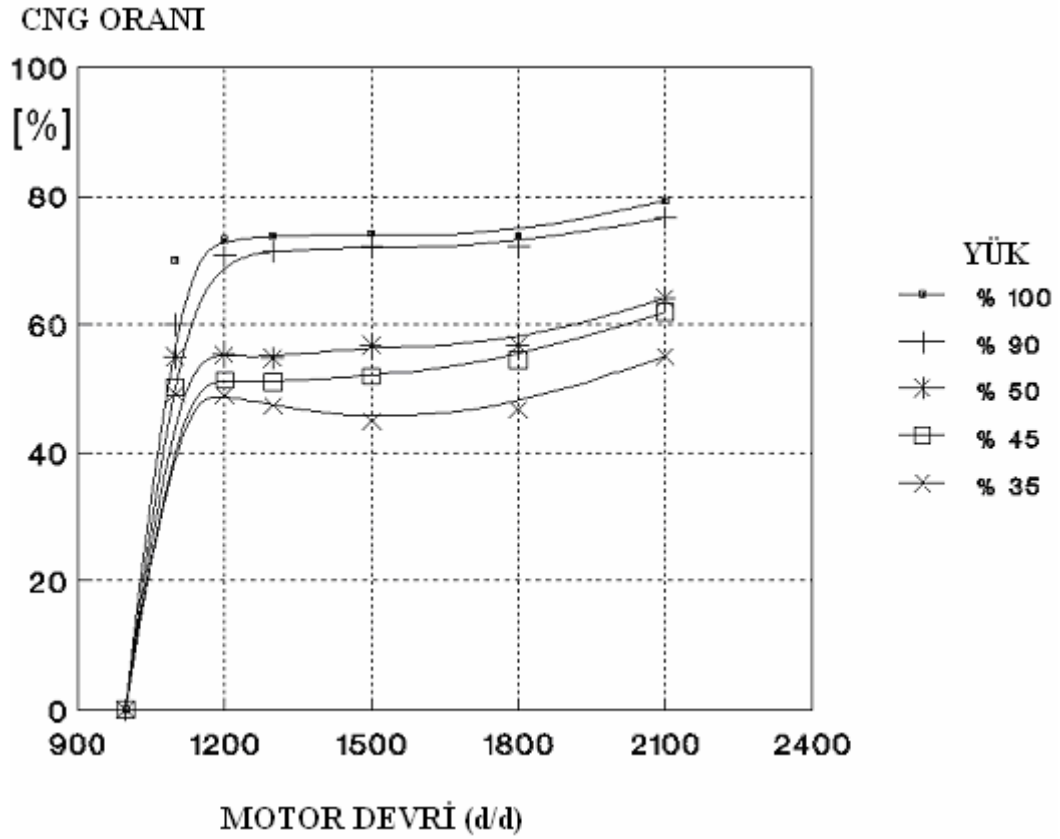
Şekil 3.5 Doğalgazlı Otobüs [33]

İstanbul Teknik Üniversitesi Otomotiv Anabilim Dalı tarafından yapılan bir çalışmaya göre Hasanpaşa garajında bulunan 100 adet Ikarus otobüs motoru (Raba Man 2156 HM6UT) Deltec D-CNG pilot püskürtme sistemi kullanılarak çift yakıtlı bir motora dönüştürülmüştür. Deltec firmasının geliştirdiği dizel-doğalgaz dönüşüm sistemi geneldeki bütün sistemler gibi silindire alınan hava+doğalgaz karışımını tutuşturmak için az miktarda dizel yakıtını pilot püskürtme miktarı olarak kullanmaktadır. Bu düzenek motor içinde herhangi bir değişiklik yapmadan motorun mevcut yakıt sistemine eklenir. Tam yükte dizel yakıtı harcanması orijinal dizelinkinin %20'sine kadar düşürülebilmektedir. Bu dönüşüm şekli ile tamamen yeni bir motor için yatırım yapmaya gerek yoktur. Mevcut klasik dizel motoru özellikle is emisyonu yönünden oldukça iyi bir duruma getirilmiştir. Ayrıca motor performansında, yakıt tüketiminde ve is emisyonunda kötüleşmeye neden olmadan püskürtme başlangıcı geçte alınarak NOx emisyonunda bir iyileşme sağlamak mümkündür. Doğalgazın eksik yanması nedeniyle CO ve HC emisyonunda bir miktar artma beklenebilir. Ancak HC'nun büyük bir kısmı zararsız olarak kabul edilen yanmamış metandır.

Bazı ülkelerde düşük doğalgaz birim fiyatı sayesinde, işletme masraflarından da tasarruf mümkün olmaktadır. Orijinal püskürtme sistemi korunduğu için işletme sırasında doğalgaz çalışmasından %100 dizel yakıtı çalışmasına geçmek olanaklıdır.

Sistemin en büyük dezavantajı %20-25'lik pilot püskürtme miktarı genellikle sabit kaldığından motor yükü azaldıkça doğalgaz kullanım oranının azalmasıdır. Bu

durumda, dizel yakıt oranı %50–60 üstüne çıktıkça sistemin is emisyonu yönünden avantajı giderek kaybolmaktadır. [10]



Şekil 3.6 Yüke Göre Doğalgaz Oranı [10]

Şekil 3.7’de doğalgazlı bir otobüsün ön konsol görülmektedir. Ön konsolda ek cihazlar vardır. Hız göstergesinin yanında mazot/gaz anahtarı var. Şu an gaz konumundadır. Düğmenin hemen altında üzerinde LED ışıklar olan bir gösterge vardır. Tüplerdeki gaz basıncını göstermektedir.



Şekil 3.7 Ön Konsol

Şekil 3.8’te basınç tankları görülmektedir. Tüpler 5 tane ve birbirlerine paralel bağlılardır. Her birinin ağzında valf gibi bir şey vardır. Otobüsün içerisinde de tüplerin altına doğru diğer otobüslerde olmayan tavandan yere dik inen demirler mevcuttur. Bunların görevi tüplere destek olmaktır.



Şekil 3.8 Basınç Tankları

Şekil 3.9’da doğalgazlı otobüslerin iç koltuk dizaynı görülmektedir. Otobüslerin iç koltuk dizaynı diğer ikarus otobüslere göre değişiktir.



Şekil 3.9 İç Koltuk Dizaynı [33]

4. IPCC METODOLOJİSİ ve HASANPAŞA GARAJINDAKİ OTOBÜSLERİN TIER 1 YAKLAŞIMINA GÖRE CO₂ EMİSYONLARININ ve MALİYETİNİN İNCELENMESİ

4.1 IPCC Metodolojisi

4.1.1 Tanım

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

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

IPCC Kılavuzu 3 kitaptan oluşmaktadır. Birinci kitap, ulusal envanter oluşturmak için, adım adım nasıl veri toplanacağı, bu verilerin nasıl değerlendirilecek ve elde edilen sonuçların en son adımda nasıl bildirileceğini içeren raporlama bilgilerini içermektedir. İkinci kitap, raporlamada kullanılacak olan tabloları içeren ve hesaplamaların nasıl yapılacağını gösteren bir çalışma kitabıdır. Üçüncü kitap ise kullanılabilecek metotları anlatan, ülkelerin kendi başlarına elde edemediği verilerin yerine kullanılabilecek ortalama değerleri içeren referans kitabıdır.

Sera gazı envanteri hesaplamalarında IPCC şu şekilde ana başlıklar kullanmıştır:

- Enerji
- Endüstriyel İşlemler

- Solvent ve diğer ürünlerin kullanımı
- Tarım
- Yeryüzü coğrafyasının ve ormanların kullanımı
- Atıklar

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

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

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

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

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

4.1.2 IPCC Tier Yaklaşımları

Emisyonları hesaplama metodları “Tier” şeklinde ifade edilen çeşitli seviyede bölümlere ayrılmıştır. Burada seviyeyi belirleyen faaliyet ve teknoloji detaylarıdır. Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntemken, Tier 3 metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Genel olarak Tier 1 ve diğer Tier yöntemleri şeklinde de bir ayrım yapmak mümkündür. Çünkü daha yüksek kademe denilebilen Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri temel olarak aynı mantıkla kullanılmaktadır. Kullanılacak kategorileri daha detaylı hale getirdikçe yeni bir Tier aşamasına geçiliyor gibi de düşünülebilir. [34]

Karbondioksit antropolojik aktiviteler sayesinde en çok açığa çıkan sera gazıdır ve endüstri devriminden sonra radyoaktivite kuvvetlerin artmasında %60 oranında etkilidir. Karbondioksit emisyonları çoğunlukla fosil kökenli yakıtlarda bulunan karbonun oksidasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır ve bu da antropolojik karbondioksit emisyonlarının %70-90’ını kapsamaktadır. Fosil kökenli yakıtlar yandığında çoğu karbon hemen karbondioksite dönüşür. Bir miktar karbonlarda karbonmonoksit (CO), metan (CH₄) ve non metan hidrokarbonlara dönüşürler. Bu oluşan gazlarda birkaç günden 11-12 yıla kadar geçen zaman içerisinde karbondioksit emisyonlarına dönüşürler.

Yakıtların yanmasından oluşan karbon dioksit emisyonlarını hesaplarken, metodları değerlendirmeyi etkileyebilecek bazı istatistiksel, teknik ve doğal prosedür noktalarına dikkat etmek gereklidir.

Yakıtın içindeki karbon ve enerji miktarı:

Yakıtların ağırlığına göre içlerindeki karbon ve enerji miktarları oldukça değişkendir. Yalnız, karbon emisyon faktörünü ünite enerji de karbon miktarı olarak vermek bu değişkenliği azaltır çünkü yakıtın enerji değeri ile karbon miktarı arasında yakın bir ilişki vardır. Bütün yanma emisyon hesaplamaları enerji bazında verilmektedir. Başka birimlerde verilen enerji birimleri kullanılmadan önce kesin olarak terajoule’e çevrilmeleri gerekmektedir.

Oksitlenmemiş Karbon:

Enerji tüketildiğinde, yakıtın içindeki bütün karbon, karbondioksit dönüşmez. Yanmadaki verimsizlikler yüzünden tamamlanmamış oksidasyon oluşur ve bir miktar karbon yanmamış olarak kalır yada kısmi olarak yanarak ise dönüşebilir.

4.1.3 Tier 1 Metoduna Göre Karbondioksit Emisyonlarının Hesap Şekli

- 1-) Tüketilen yakıt miktarı yakıtın cinsine göre hesaplanır.
- 2-) Tüketilen yakıt miktarı eğer gerekli ise enerji birimi olarak Terajoule'e çevrilir.
- 3-) Her yakıt tipine göre karbon emisyon faktörü belirlenir ve yakıtlar içindeki toplam karbon miktarı bulunur.
- 4-) Yanma sırasında okside olmayan karbon miktarı bulunur.
- 5-) Karbon emisyonları tam moleküler ağırlık olan karbondioksit emisyonlarına dönüştürülür.

Tüketilen yakıt miktarları net kalorifik değerler ile çarpılarak yakıttaki enerji miktarı ortaya çıkarılmaktadır. Tablo 4.1'deki değerler IPCC Guideline Volume 3 'te verilen Tablo 1-3 deki değerlerdir.

Tablo 4.1 Yakıt Cinslerine Göre Net Kalorifik Değerler

Yakıt Cinsi	Net Kalorifik değer (TJ/10 ³ ton)
Doğalgaz	48.5
Benzin	44.8
LPG	47.31
Motorin	43.33

Ortaya çıkan enerji terajoule cinsindendir. Bu enerji birimi tablo 4.2'de verilen karbon emisyon faktörleri ile çarpılarak yakıt içindeki toplam karbon miktarı bulunur.

Tablo 4.2 Yakıt Cinsine Göre Karbon Emisyon Faktörleri

Yakıt Cinsi	Karbon Emisyon Faktörleri (tonkarbon/terajoule)
Doğalgaz	15.3
Benzin	18.9
LPG	17.2
Motorin	20.2

Sonuç olarak,

$$10^3 \text{ ton} \times \frac{\text{TeraJoule}}{10^3 \text{ ton}} \times \frac{\text{Tonkarbon}}{\text{TeraJoule}} \quad (4.1)$$

kiloton cinsinden yakıt miktarını, TJ/10³ ton biriminden net kalorifik değer ile çarpılır ve ton karbon/terajoule biriminden karbon emisyon faktörüyle çarpılınca ortaya çıkan ton karbondur.

Yakıtın içindeki bütün karbon karbondioksit dönüşmez. Yanmadaki verimsizlikler yüzünden tamamlanmamış oksidasyon oluşur ve bir miktar karbon yanmamış olarak kalır yada kısmi olarak yanarak ise dönüşebilir. Ton karbon miktarı, oksidasyon faktörü ile çarpılarak karbon dioksit dönüşebilecek karbon miktarı bulunmaktadır.

Tablo 4.3’de bulunan oksidasyon faktörleri IPCC Guideline Volume 3’te tablo1.6’da verilen değerlerdir.

Tablo 4.3 Yakıt Cinslerine Göre Oksidasyon Faktörleri

Yakıt Cinsi	Oksidasyon Faktörü
Kömür	0.98
Benzin ve türevleri	0.99
Gaz	0.995

Karbonun moleküler ağırlığı (C) 12, karbon dioksitin (CO₂) moleküler ağırlığı 44 olduğu bilindiğine göre oksidasyon faktörüyle çarpıldıktan sonra ortaya çıkan karbon miktarı karbon dioksitin moleküler ağırlığının karbonun moleküler ağırlığına oranı olan 44/12 ile çarpılırsa ortaya çıkan karbondioksit miktarını hesaplanmış olur.

Tablo 4.4 Yakıtların Bazı Özellikleri

Yakıt Cinsi	Yoğunluk	Net Kalorifik Değer (TJ/10 ³ ton)	Karbon Emisyon Faktörleri (tonkarbon/terajoule)	Maliyet (YTL)
Doğalgaz	0.68 (kg/m ³)	48.5	15.3	1.20 (YTL/m ³)
LPG	0.560 (kg/l)	47.31	17.2	1.71 (YTL/l)
Motorin	0.86 (kg/l)	43.3	20.2	2.64 (YTL/l)
Benzin	0.74 (kg/l)	44.8	18.9	3.1 (YTL/l)

Yukarıdaki tabloda yakıtların türlerine göre yoğunluk, net kalorifik değer, karbon emisyon faktörleri ve maliyetleri görülmektedir. Yukarıda anlatılan Tier 1 yöntemine ve yukarıdaki tabloya göre yapılan hesaplamalarda 1 kg yakıt tüketildiğinde ve 1 megajoule'lük enerji denk gelen yakıt tüketildiğinde ortaya çıkan sonuçlar şu şekildedir. [35]

4.2 Hasanpaşa Garajındaki Doğalgazlı Otobüslerin Tier 1 Yaklaşımına Göre CO2 Emisyonlarının ve Maliyetinin İncelenmesi

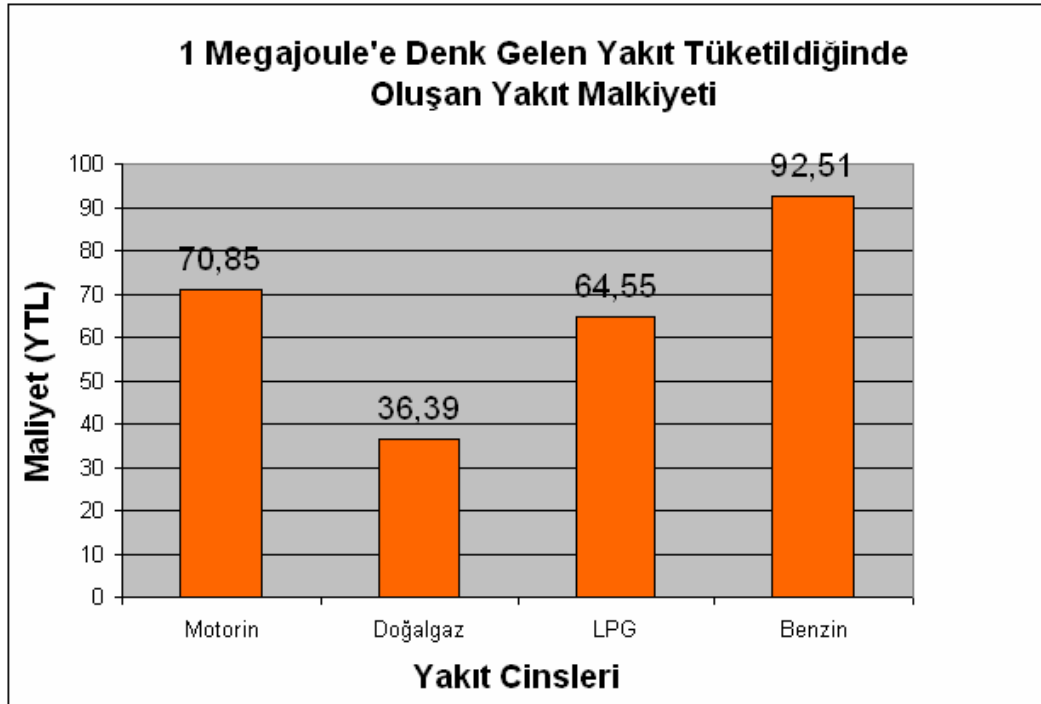
4.2.1 Tier 1 Yöntemine Göre 1 Megajoule Enerjiye Denk Gelen Doğalgaz, LPG, Motorin ve Benzin Tüketildiğinde Oluşan CO2 Emisyonları ve Yakıt Maliyeti

Yakıtların ekonomiklik karşılaştırması için en kolay yöntem enerji bazında fiyatlarının karşılaştırılmasıdır. Diğer bir deyimle aynı miktar enerjinin ne kadar fiyata alındığıdır. Bu karşılaştırma Tablo 4.5'te yapılmış ve şekil 4.1'te gösterilmiştir. Tier 1 yöntemine göre 1 megajoule enerjiye denk gelen doğalgaz, lpg, motorin ve benzin tüketildiğinde 23.08 kg motorin, 20.62 kg doğalgaz, 21.14 kg lpg ve 22.32 kg benzin tüketilmiştir. Tablo 4.5'de de görüldüğü üzere 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan maliyet motorin için 70.85 YTL, doğalgaz için 36.39 YTL, lpg için 64.55 YTL ve benzin için ise 92.51 YTL'dir. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgaza göre

motorin % 94, lpg % 77, benzin ise %154 kat daha maliyetli yakıtlardır. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en ucuz yakıt olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5 1 Megajoule'e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Maliyet

Yakıt Cinsi	YAKIT	MALİYET		MALİYET		CO ₂ emisyonları	
	kg	YTL/l	YTL/m ³	YTL	%	kg	%
Motorin	23.08	2.64	-	70.85	194	73.33	131
Doğalgaz	20.62	-	1.2	36.39	100	55.82	100
LPG	21.14	1.71	-	64.55	177	62.75	112
Benzin	22.32	3.1	-	92.51	254	68.61	122



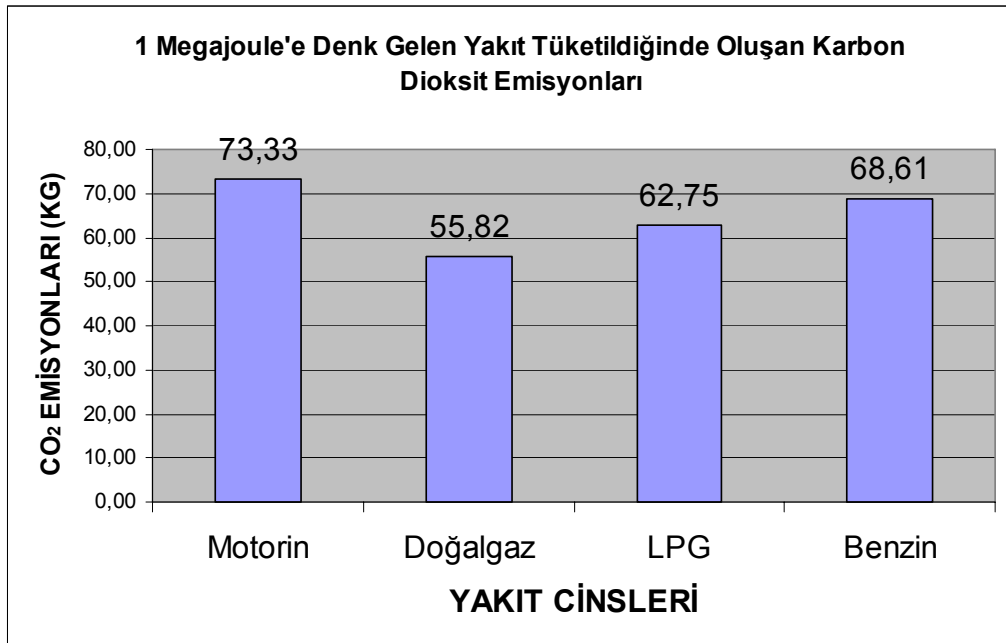
Şekil 4.1 1 Megajoule'e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Maliyet

Tablo 4.6'da ve şekil 4.2'de görüldüğü üzere 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan karbondioksit emisyon miktarı motorin için 73.33 kg, doğalgaz için 55.82 kg, lpg için 62.75 kg ve benzin için ise 68.61 kg.'dır. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgaza göre motorin %31, lpg %12, benzin ise %22 kat çevreye daha fazla karbon dioksit salmaktadırlar. 1

megajoule enerjiye denk gelen yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en çevreci fosil kökenli yakıt olduğu ortaya iyice çıkmaktadır.

Tablo 4.6 1 Megajoule'e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Karbondioksit Emisyonları

Yakıt Cinsi	YAKIT	YOL		YOL		CO ₂ EMİSYONLARI	
	kg	1/100 km	m ³ /100 km	km	km	kg	%
Motorin	23.08	47	-	57	-	73.33	31
Doğalgaz	20.62	-	56	-	54	55.82	-
LPG	21.14	-	-	-	-	62.75	12
Benzin	22.32	-	-	-	-	68.61	22



Şekil 4.2 1 Megajoule'e Denk Gelen Yakıt Tüketildiğinde Oluşacak Olan Karbondioksit Emisyonları

İETT Hasanpaşa Garajında bulunan dizel tahrikli otobüsler yaklaşık 100 km'de 47 litre motorin tüketmekte ve aynı garajda bulunan sırf doğalgazlı bir motor yaklaşık 100 kmde 56 m³ doğalgaz tüketmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında 1 Megajoule'a denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgazlı motor dizel eşdeğerine göre

sadece 3 km daha az yol alırken 34 YTL daha az maliyet çıkarmakta ve 18 kg daha az karbon dioksit emisyonu çıkarmaktadır

Doğalgaz hem maliyet olarak hem de emisyon açısından en ideal yakıt olarak görülmektedir. Daha sonra ise LPG gelmektedir. Dünyamızı tehdit eden küresel ısınma sorunu için alternatif yakıtların kullanılması çok önemlidir. Doğal gazın toplu taşıma araçlarında kullanımının yaygınlaşması, sera gazlarının azaltımı için büyük önem taşımaktadır.

4.2.2 Aylara Göre Otobüslerin Ortalama Yakıt Tüketimlerinin Bulunması

İETT Hasanpaşa Garajında çift yakıtlı, körüklü ve normal olmak üzere üç çeşit otobüs bulunmaktadır. Normal ve körüklü otobüsler dizel tahrikli olup, çift yakıtlı otobüsler ise hem dizel yakıt hem de doğalgaz kullanmaktadır. Hasanpaşa Garajında her bir otobüse ve her bir güne ait otobüslerin tükettikleri yakıt miktarları ve kat ettikleri yol mesafeleri bilinmektedir. Ayrıca bu otobüsleri cinslerine ayırarak 2006 ve 2007 yıllarına ait yakıt ve kilometre bilgileri de rahatlıkla bulunabilmektedir. Otobüs türleri göre belirlenen bu değerlerden her ay için ortalama yakıt tüketimleri hesaplanabilmekte ve bu hesaplanan ortalama yakıt tüketiminden de yola çıkarak tüm otobüs çeşitleri için 100 kmde tükettikleri yakıt miktarı bulunabilmektedir. Çift yakıtlı araçlar ise hem dizel, hem de doğalgaz ile çalıştıklarından 100 kmde tükettikleri doğalgaz değerini bulabilmek için İETT Hasanpaşa Garajına ait doğalgaz fatura bilgileri kullanılmıştır. Bu bilgiler ışığı altında tablo 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da otobüslerin 2006 yılına ait yakıt tüketimleri görülmektedir.

Tablo 4.7 Otobüslerin 2006 Yılına Ait Ocak, Şubat, Mart Yakıt Tüketimleri

	Ocak		Şubat		Mart	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
Otobüs Türleri	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	56		54		55	
Normal Otobüsler	47		47		49	
Çift Yakıtlı Otobüsler	34	22	35	20	34	24

Tablo 4.8 Otobüslerin 2006 Yılına Ait Nisan, Mayıs, Haziran Yakıt Tüketimleri

	Nisan		Mayıs		Haziran	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
Otobüs Türleri	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	57		54		52	
Normal Otobüsler	47		46		46	
Çift Yakıtlı Otobüsler	33	20	32	24	32	23

Tablo 4.9 Otobüslerin 2006 Yılına Ait Temmuz, Ağustos, Eylül Yakıt Tüketimleri

Otobüs Türleri	Temmuz		Ağustos		Eylül	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	52		53		50	
Normal Otobüsler	44		45		41	
Çift Yakıtlı Otobüsler	31	24	31	23	29	25

Tablo 4.10 Otobüslerin 2006 Yılına Ait Ekim, Kasım, Aralık Yakıt Tüketimleri

Otobüs Türleri	Ekim		Kasım		Aralık	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	53		54		53	
Normal Otobüsler	45		43		45	
Çift Yakıtlı Otobüsler	30	24	29	26	32	23

Tablo 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'te ise otobüslerin 2007 yılına ait yakıt tüketimleri görülmektedir.

Tablo 4.11 Otobüslerin 2007 Yılına Ait Ocak, Şubat, Mart Yakıt Tüketimleri

Otobüs Türleri	Ocak		Şubat		Mart	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	50		50		46	
Normal Otobüsler	42		44		44	
Çift Yakıtlı Otobüsler	32	22	31	25	33	24

Tablo 4.12 Otobüslerin 2007 Yılına Ait Nisan, Mayıs, Haziran Yakıt Tüketimleri

Otobüs Türleri	Nisan		Mayıs		Haziran	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	54		54		54	
Normal Otobüsler	45		45		46	
Çift Yakıtlı Otobüsler	32	24	32	23	33	26

Tablo 4.13 Otobüslerin 2007 Yılına Ait Temmuz, Ağustos, Eylül Yakıt Tüketimleri

	Temmuz		Ağustos		Eylül	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
Otobüs Türleri	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	53		51		55	
Normal Otobüsler	47		43		47	
Çift Yakıtlı Otobüsler	32	24	32	25	34	23

Tablo 4.14 Otobüslerin 2007 Yılına Ait Ekim, Kasım, Aralık Yakıt Tüketimleri

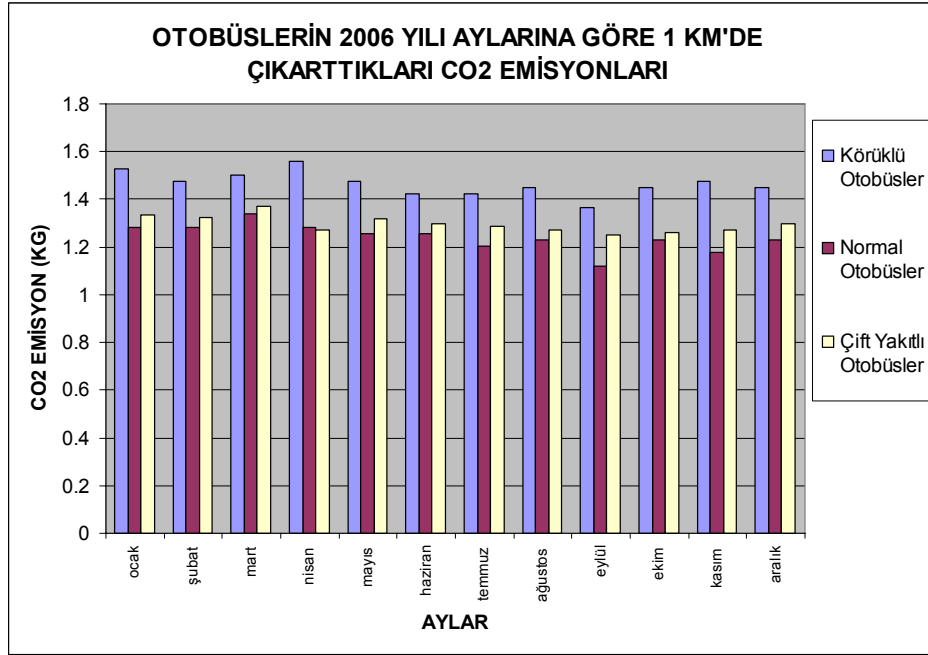
	Ekim		Kasım		Aralık	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
Otobüs Türleri	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km	l/100 km	m3/100km
Körüklü Otobüsler	56		56		55	
Normal Otobüsler	45		46		47	
Çift Yakıtlı Otobüsler	33	25	33	25	33	26

Yukarıdaki tablolara bakıldığında 2 senede otobüslerin hemen hemen aynı miktarlarda yakıt tükettikleri görülmektedir. Yani yakıt tüketimlerinde çok büyük değişiklik olmamaktadır.

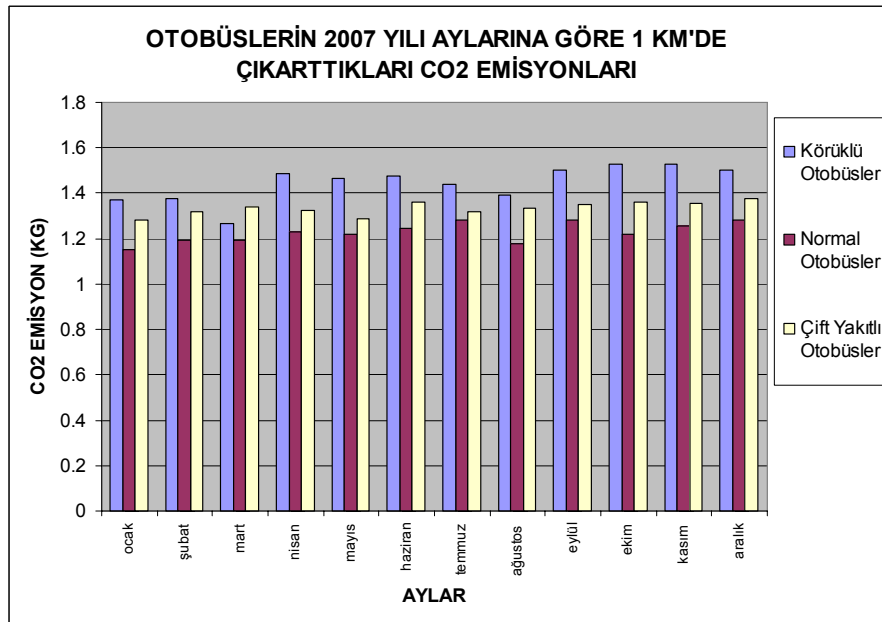
4.2.3 1 Km’de Oluşan CO₂ Emisyonlarının ve Yakıt Maliyetinin Hesaplanması

Otobüslerin aylara göre 1 kmde oluşturdukları CO₂ emisyonları ve tükettikleri yakıtın maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplamalarda CO₂ emisyonları için Tier 1 yöntemi kullanılmış, maliyet hesabı için ise motorin fiyatı 2.64 YTL, oto doğalgazın

fiyatı ise 1.2 YTL baz alınmıştır. Çıkan sonuçlara göre şekil 4.3'te otobüslerin 2006 yılı, şekil 4.4'te ise 2007 yılı aylara göre 1 km'de çıkarttıkları CO₂ emisyonları görülmektedir.



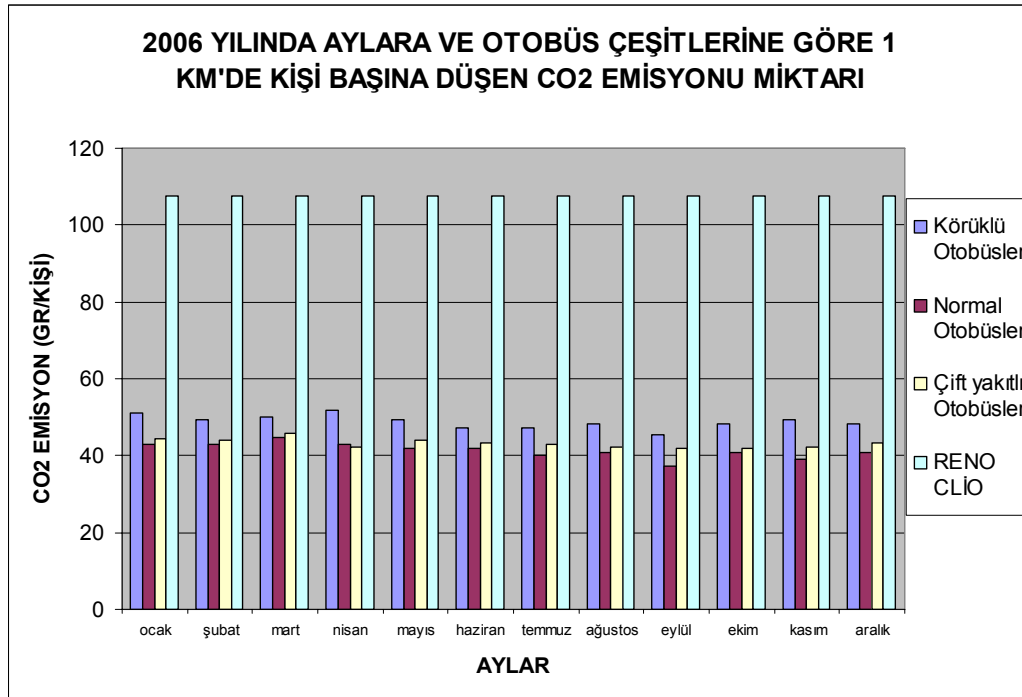
Şekil 4.3 Otobüslerin 2006 Yılı Aylarına Göre 1 Km'de Çıkarttıkları CO₂ Emisyonları



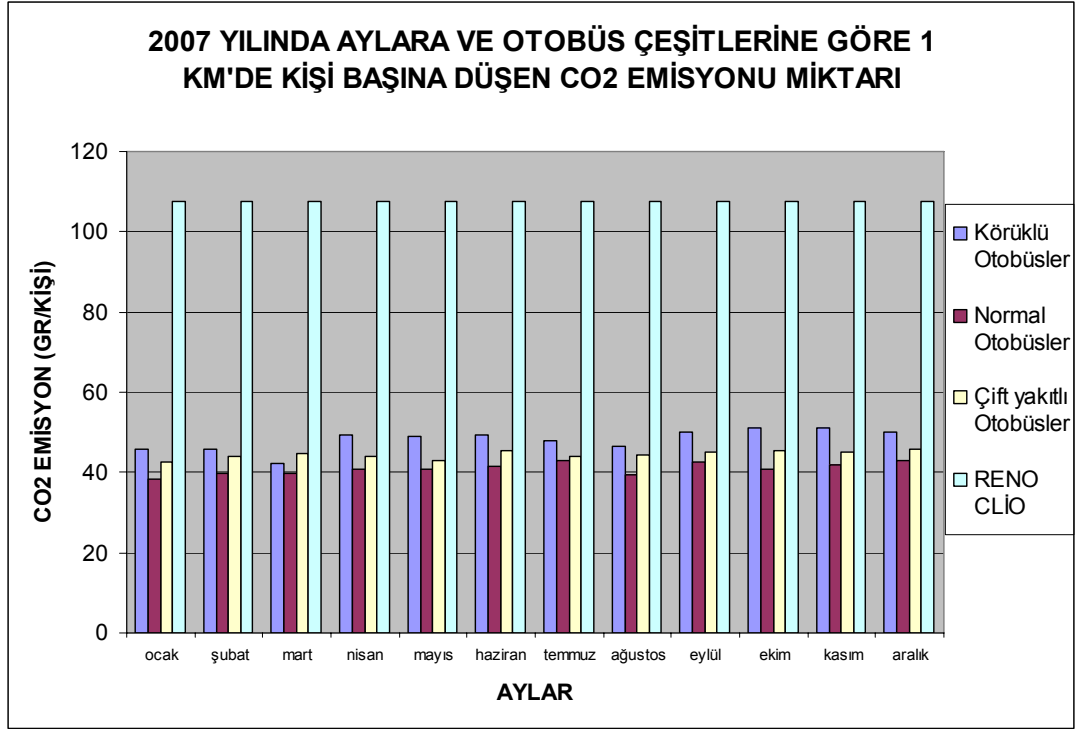
Şekil 4.4 Otobüslerin 2007 Yılı Aylarına Göre 1 Km'de Çıkarttıkları CO₂ Emisyonları

Yukarıdaki grafiklerden anlaşılağı üzere km bazında körüklü otobüsler diğör otobüslere göre ağırlık bakımından ve yolcu bakımından daha büyük olduğı için CO₂ emisyonları daha fazladır. Fakat çift yakıtlı otobüslerin normal otobüslere göre CO₂ emisyonlarının daha büyük olması doğalgazdan beklenen avantajlara ters düşmektedir. Bu otobüsler normal otobüslere göre daha verimsizdir. Bunun nedeni otobüslerde kullanılan motorun orijinalinde dizel yakıtlı olması ve doğal gaz kullanımı için dizel püskürtme avansının azaltılması ile motorun verimli çalışma ayarlarından uzaklaşılmasından kaynaklanmaktadır. Bu ayar değışikliğı silindir içi sıcaklıkları düşürerek hava ile karışım halinde silindir içine giren doğal gazın kontrolsüz yanmasına engel olmak amacıyla zorunlu olarak yapılmıştır.

Aşağıdaki grafiklerdeki hesaplamalar yapılırken otobüslerin ve aracın verimli olarak kullanıldıkları varsayılmış ve otobüslerin 30 kişilik dolulukta, aracın ise 1.3 kişi dolulukta olduğı düşünölmüştür. Baz alınan Renault Clio 1.5 dizel araçtır. Çıkan sonuçlara göre bütün otobüs türleri Renault Clio'ya göre kişi başına yaklaşık 2.5 kat daha az emisyon oluşturmaktadır. Çift yakıtlı otobüsler kişi başına da normal otobüslere göre daha fazla CO₂ emisyonu çıkarır.



Şekil 4.5 2006 Yılında 1 Kmde Kişi Başına Düşen CO₂ Emisyonları

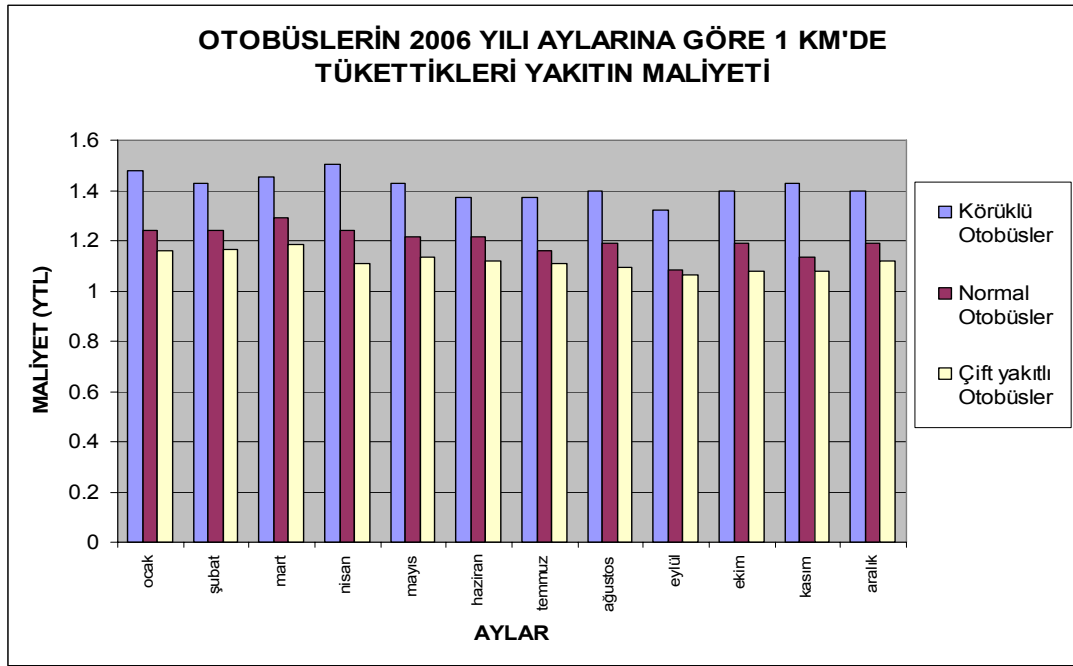


Şekil 4.6 2007 Yılında 1 Kmde Kişi Başına Düşen CO2 Emisyonları

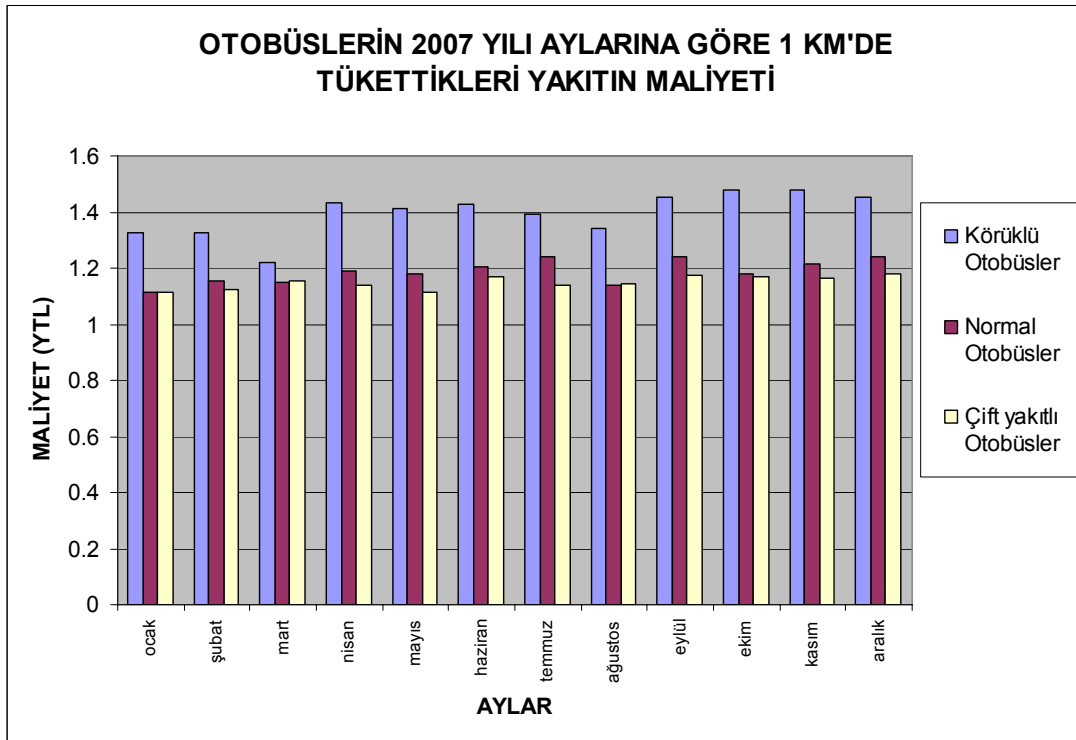
Bu sonuçlara göre toplu taşıma araçlarının kullanılmasının küresel ısınma açısından öneminin büyük olduğu ortaya çıkmaktadır. Herkesin kendi özel aracıyla trafiğe çıkması hem trafikte yoğunluğa hem de çok ciddi emisyonlara neden olmaktadır.

Aşağıdaki grafiklerde ise 2006 ve 2007 yılında otobüslerin 1 kmde tükettikleri yakıtın maliyeti gösterilmiştir. Çift yakıtlı otobüslerde doğalgaz kullanımı doğalgazın yakıt fiyatının düşük olmasından dolayı avantaj sağlar. Çift yakıtlı otobüsler yaklaşık her ayda körüklü otobüslere göre 1 km'de 30 Yeni Kuruş, normal otobüslere göre de 10 Yeni Kuruş daha az maliyetlidir. Bu otobüsler her ne kadar CO₂ açısından kötü bir senaryo ortaya çıkarsa da, her ay yaklaşık olarak 500 bin Km yol aldığı varsayıldığı için yakıt maliyeti olarak çok büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Bu yüzden doğalgazın alternatif yakıt olarak otobüslerde kullanılmasının yaygınlaştırılması, filonun maliyeti açısından da büyük önem taşır.



Şekil 4.7 2006 Yılında Otobüslerin 1 Km de Tükettikleri Yakıtın Maliyeti



Şekil 4.8 2007 Yılında Otobüslerin 1 Km de Tükettikleri Yakıtın Maliyeti

4.2.4 Tier 1 Yöntemine Göre Hasanpaşa Garajında Çalışan Otobüslerin CO₂ Emisyonlarının Hesaplanması

Tablo 4.15 Hasanpaşa Garajındaki Hatlar ve Çeşitli Özellikleri [10]

Sıra No	Hat Kodu	Hat Adı	Hat Uzunluğu (km)	Ort Gidiş Geliş Süresi (Dakika)	Hattaki Durak Sayısı	Sefer Adedi
1	3A	KADIKÖY-UNALAN MAH.	16.6	60	38	70
2	3B	KADIKÖY-UNALAN MAH.	16.6	60	44	69
3	3US	USKUDAR-ACİBADEM-KADIKÖY	18	105	33	20
4	8A	KADIKÖY-GÖZCUBABA	14.75	70	28	86
5	8E	KADIKÖY-ESENEVLER	22	100	34	63
6	10E	KADIKÖY-ESATPAŞA	21.2	90	27	36
7	10M	KADIKÖY-ÜMRANIYE	28.15	125	42	15
8	11C	USKUDAR-EMNİYET MAHALLESİ	17.35	90	23	30
9	11D	USKUDAR-İNKILAP MAH.	34.4	120	42	40
10	11E	USKUDAR-ESATPAŞA	24	100	32	40
11	11K	USKUDAR-KAZIM KARABEKİR MAH.	32.2	110	39	40
12	11L	USKUDAR-BULGURLU MAHALLESİ	19.1	85	28	50
13	11M	USKUDAR-MUSTAFA KEMAL MAH.	31.95	130	45	44
14	11ST	USKUDAR-SEYRANTEPE	32.2	110	39	36
15	11U	USKUDAR-UNALAN MAHALLESİ	26	85	33	25
16	11Y	USKUDAR-YAVUZTURK MAHALLESİ	17.4	90	28	86
17	12	KADIKÖY-USKUDAR	11.23	55	28	65
18	12A	KADIKÖY-USKUDAR	12.3	55	28	64
19	12C	USKUDAR-POLİS HASTANESİ	13.2	70	21	13
20	12H	KADIKÖY-HAREM-USKUDAR	10	60	15	16
21	14C	KADIKÖY-BARBOROS MAH.	14	70	21	19
22	14D	KADIKÖY-İNKILAP MAH.	31.05	130	44	35
23	14F	KADIKÖY-KUPLUCE MAH.	23.4	100	33	49
24	14K	KADIKÖY-KAZIM KARABEKİR MAH.	28.05	110	41	35
25	14Y	KADIKÖY-YAVUZTURK MAHALLESİ	22.7	100	31	69
26	15C	USKUDAR-KİRAZLITEPE	16	60	16	169
27	15U	USKUDAR-TUFAN MAHALLESİ	18	70	22	19
28	20E	KADIKÖY-ESATPAŞA	22.85	80	31	44
29	20U	KADIKÖY-UMRANIYE	25.7	100	33	96
30	125	KADIKÖY-BOĞ.İÇİ UNV-R.HİS.USTU	32	60	25	27
31	29	ALTUNİZADE-MECİDİYEKÖY	15.1	50	5	154
32	30	KADIKÖY-TUZLA	78	175	56	30.5
33	222	PENDİK-KARTAL-KADIKÖY	54	130	53	12
34	E-4	ALTBOSTANCI-MECİDİYEKÖY	40	150	10	15
35	ER1	KADIKÖY-ERENKÖY	12	65	35	20
36	ER2	KADIKÖY-ERENKÖY	12	65	31	20
37	FB1	KADIKÖY-FENERBAHÇE	10	55	28	15
38	FB2	KADIKÖY-FENERBAHÇE	10	55	25	17
39	GZ1	KADIKÖY-GÖZTEPE	10	60	30	22
40	GZ2	KADIKÖY-GÖZTEPE	10	60	26	24

Hasanpaşa garajında 100 tane çift yakıtlı, 66 tane normal ve 20 tane körüklü otobüs bulunmaktadır. Çift yakıtlı otobüslerin her gün bir kısmı yedek olarak bekletilmekte bir kısmı ise arızalı olmaktadır. Bunun sonucu olarak çift yakıtlı otobüsler yaklaşık

olarak günde 80 tane kullanılmaktadır. Hesaplamalar yapılırken daha önce de belirtildiği gibi Tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Hasanpaşa garajında otobüsler 40 değişik hatta çalışmakta ve bu hatların hepsinin uzunlukları ve sefer adetleri tam olarak bilinmektedir.

Örnek olarak hesaplaması gösterilecek hat 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. hattıdır. Tablo 4.15'te görüldüğü gibi hattın uzunluğu 14.75 km, ortalama gidiş geliş süresi 70 dakika, hattaki durak sayısı 28 ve sefer adedi 86'dır.

Tablo 4.15'te sefer adetleri hafta içi günlük sefer adetlerini temsil etmektedir. Bu hat için Cumartesi sefer adedi de hafta içi ile aynıdır, yani 86 adettir. Pazar günü ise sefer adedi ise 53'tür. İETT Hasanpaşa Garajı iş tevzii dosyalarından hafta içi, cumartesi ve pazar olmak üzere bu günlerde bütün hatlarda kaç tane körüklü otobüs, kaç tane çift yakıtlı otobüs ve kaç tane normal otobüs kullanıldığı bulunmuştur. Tablo 4.16'da görüldüğü gibi her ay için 4 iş günü (hafta içi) alınıp, hafta içi 1 gün için o hat için kullanılan ortalama çift yakıtlı, körüklü ve normal otobüs adetleri bulunmuştur. Daha sonra bu oranlar hafta içi bir gün sefer adedi olan 86'ya oranlanarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 4.16 Hafta İçi Otobüs Adetleri

8A	Çift Yakıtlı	Normal	Körüklü
1. İş Günü	15	10	0
2. İş Günü	18	6	0
3. İş Günü	8	16	0
4. İş Günü	12	12	0
Ortalama	13.25	11	0

Her ay için bir cumartesi ve bir de Pazar alınmıştır ve bu da o günler için olan sefer adetlerine oranlanmıştır.

Tablo 4.17 Cumartesi ve Pazar Otobüs Adetleri

8A	Çift Yakıtlı	Normal	Körüklü
Cumartesi	12	12	0
Pazar	7	3	0

Örneğin Pazar günü sefer adedi 53'tür. Yukarıdaki tabloya göre o gün kullanılan her 10 otobüsten 7'si çift yakıtlı 3'ü normaldir. 53 sayısı 10 ile bölünüp 7 ile çarpılıp, o

gün 8A hattında kullanılan otobüslerin yaklaşık 37sinin çift yakıtlı, 16sının ise normal otobüs olduğu bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda bütün aylar için bütün hatlarda iş tevzii dosyalarından hangi hatta hangi çeşit otobüs kaç adet çalıştığı hesaplanmıştır. Bütün hatların hafta içi kaç tane, cumartesi kaç tane ve pazar günü kaç tane seferi bulunduğu bilindiğine göre yapılan otobüs çeşitlerinin sayıları seferlere bölünerek hangi tip otobüsün hangi hatta aylara göre kaç sefer yapıldığı bulunmuştur.

Hasanpaşa garajında bulunan otobüslerin karbondioksit emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması, 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. hattının Pazar günü karbon dioksit emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması örneğindeki gibi bütün hatlar ve gün çeşitleri için yapılmıştır.

Tablo 4.18 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması

8A	YAKIT		YAKIT		YOĞUNLUK	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	l/100 km	m ³ /100km	l/km	m ³ /km	kg/l	kg/m ³
Körüklü	56.00		0.56		0.86	0.68
Normal	46.00		0.46		0.86	0.68
Çift yakıt	32.70	25.00	0.33	0.25	0.86	0.68

Tablo 4.18’de de görüldüğü gibi 2007’nin kasım ayında 100 km’de körüklü otobüsler ortalama 56 litre motorin, normal otobüsler ortalama 46 litre motorin ve çift yakıtlı otobüsler 32.70 litre motorinin yanı sıra ve 25 m³ doğalgaz tüketmektedirler. Daha sonra bu değerler km bazına alınmıştır. Motorinin yoğunluğunun 0.86 kg/l ve doğalgazın yoğunluğunun 0.68 kg/m³ olduğu bilinmektedir.

Tablo 4.19 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması

8A	YAKIT		MALİYET		MALİYET	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	kg/km	kg/km	YTL/l	YTL/m ³	YTL/kg	YTL/kg
Körüklü	0.48		2.64	1.20	3.07	1.76
Normal	0.40		2.64	1.20	3.07	1.76
Çift yakıt	0.28	0.17	2.64	1.20	3.07	1.76

Tablo 4.19’da görüldüğü gibi lt/km ve m³/km cinsinden yakıtı yoğunluğa bölündüğünde yakıtın km başına kilogram değeri bulunmaktadır. Bu değerler çift yakıtlı otobüslerde motorin için 0,28 kg olurken, doğalgaz için 0,17 kg’dır. Motorinin litresinin fiyatı 2.64 YTL ve doğalgazın m³’ünün fiyatı 1.20 YTL’dir. Bu değerler motorinin ve doğalgazın yoğunluklarına bölünürlerse motorin ve doğalgazın kg bazında maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Kg bazında motorinin maliyeti 3.07 YTL olurken doğalgazın değeri 1.76 YTL’dir

Tablo 4.20 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması

8A	HAT	SEFER	YAKIT		MALİYET	
	UZUNLUK	ADEDİ	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
			kg	kg	YTL	YTL
Körüklü	14.75		0.00		0.00	0.00
Normal	14.75	16.00	93.36		286.60	0.00
Çift yakıt	14.75	37.00	153.48	92.78	471.14	163.73

Tablo 4.20’de görüldüğü gibi 8A hattının uzunluğu 14.75 km iken normal ve çift yakıtlı otobüsler bu hatta 16 ve 37 adet sefer yapmaktadırlar. Sefer adetleri ile hat uzunluğunun çarpımı sayesinde hangi tip otobüsün hangi gün kaç kilometre yol kat ettikleri belirlenmektedir. Ortaya çıkan kilometre değeri daha önceden bulunan kg/km değeri ile çarpılırsa kg olarak yakıt ve maliyet ortaya çıkmaktadır. Normal otobüsün maliyeti 286.60 YTL olmaktadır. Çift yakıtlı otobüslerin ise yakıt maliyeti motorin ve doğalgazın maliyetinin toplanması sonucu 634.87 YTL olmaktadır. Sefer

sayılarının normal otobüslerin 2 katından fazla olması dolayısıyla maliyetleri fazla çıkmıştır. Fakat normal otobüslerin de 37 sefer yaptığı varsayılırsa, bu otobüslerin yaklaşık maliyeti 662 YTL olacaktır. Görüldüğü gibi doğalgazlı otobüsler maliyet açısından kazançlıdır.

Tablo 4.21 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması

8A	Net kalorifik Değerler		CARBON FAKTÖRÜ		OKSİDE FAKTÖRÜ	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	TJ/kiloton	TJ/kiloton	Tonkarbon/TJ	Tonkarbon/TJ		
Körüklü	43.33	48.50	20.20	15.30	0.99	1.00
Normal	43.33	48.50	20.20	15.30	0.99	1.00
Çift yakıt	43.33	48.50	20.20	15.30	0.99	1.00

Tablo 4.21’de kg olarak çıkan sonuç, kilotona çevrilmektedir. Çevrilen bu değer terajoule/kiloton birimindeki net kalorifik değer ile çarpılarak yakıtın içindeki enerji miktarı terajoule olarak bulunur. Bulunan değer ton karbon/terajoule birimindeki karbon emisyon faktörleri ile çarpılarak yakıtın içindeki karbon miktarı bulunur. Yalnız yakıtın içindeki bütün karbon yanma sırasında yanmanın da verimsizliğinden dolayı tamamen karbondioksit dönüşemez. Bunun için yakıtın içindeki bulunan karbon miktarının okside faktörü ile çarpılması gerekmektedir. Sonuçta CO₂ emisyonlarına dönüşebilecek olan karbon miktarı ton karbon cinsinden bulunmaktadır.

Tablo 4.22 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. Hattının Pazar günü CO₂ Emisyonlarının ve Maliyetlerinin Hesaplanması

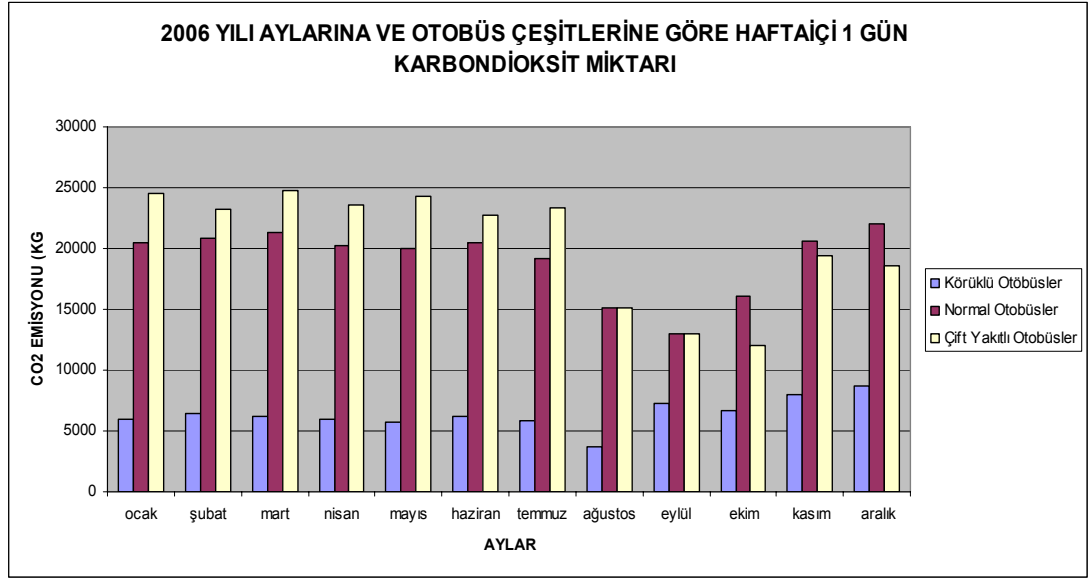
8A	CO2 EMİSYONU		Toplam CO2 Emisyonları
	Motorin	Doğalgaz	
	kg	kg	kg
Körüklü	0.00		0.00
Normal	296.63		296.63
Çift yakıt	487.63	251.17	738.80

Tablo 4.22’de görüldüğü üzere ton karbon cinsinden bulunan değer daha sonra kg cinsine çevrilmektedir. Karbonun moleküler ağırlığı 12, karbondioksitin moleküler ağırlığı 44 olduğuna göre kg olarak bulunmakta olan karbon değeri 44/12 değeri ile çarpılarak karbon dioksit emisyonları bulunabilir. 8A hattı 2007 yılı kasım ayı pazar günü için yapılan hesaplamalarda normal otobüslerin karbon dioksit emisyonları 296.63 kg çıkarken, çift yakıtlı otobüslerin karbon dioksit emisyonları 738.80 kg olmaktadır. Eğer aynı sefer adetlerine sahip olsalardı normal otobüsler yaklaşık 685 kg CO₂ emisyonu verecekti. Buradan da anlaşılabileceği gibi çift yakıtlı otobüsler karbondioksit emisyonları açısından normal ve körüklü otobüsler baz alındığında daha fazla emisyon çıkarmaktadırlar. Tabi ki bu sonuç beklenen bir sonuç değildir. Maliyete bakıldığında ise beklenen olmuş ve doğalgazın etkisi ortaya çıkmaktadır. Çift yakıtlı otobüsler diğer otobüslere göre daha az maliyetlidirler.

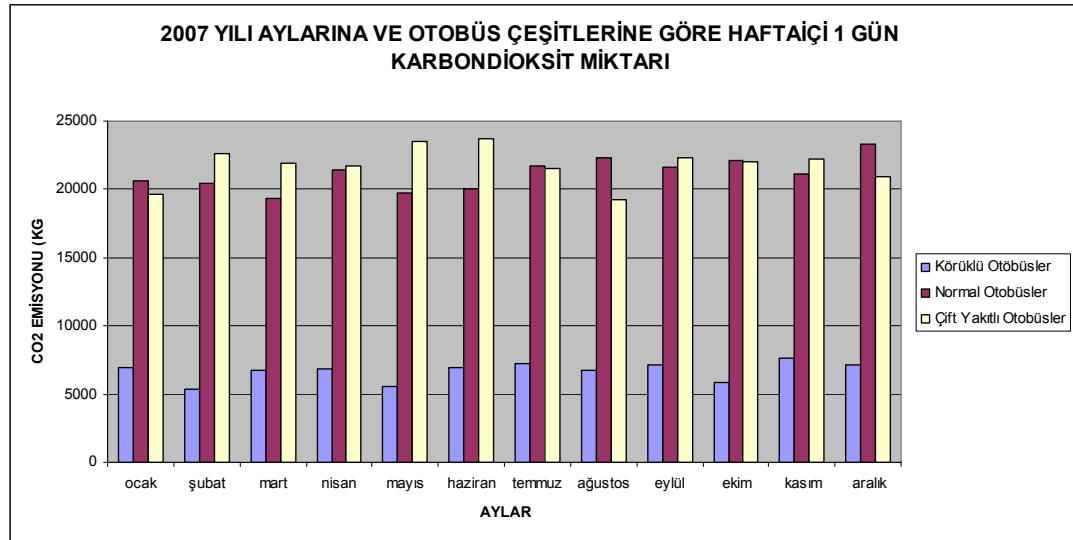
Hasanpaşa garajında çalışan otobüslerin karbondioksit emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak olan hesap yukarıda kullanılan hesaplama yöntemidir. Bu hesaplamalar hafta içi, cumartesi ve pazar günü olmak üzere 3 gün cinsine, her gün cinsinde bu otobüsler değişik 40 hatta çalışmalarına ve 24 ay bulunmasına dayanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak yukarıda yapılan hesaplama yönteminden 2880 tane yapılmıştır.

Bu hesaplamalar daha önceden de belirtildiği gibi 20 körüklü otobüs, 66 normal otobüs ve 80 çift yakıtlı otobüsler çalışıyor düşünülerek yapılmıştır. Bu değerler Hasanpaşa garajında bulunan otobüslerin çeşitlerine göre sayılardır.

Aşağıdaki grafiklerde 2006 ve 2007 yılına ait otobüs çeşitlerine göre hafta içi 1 gün için CO₂ miktarı gösterilmiştir. Körüklü otobüslerin karbondioksit emisyonları diğer otobüslere göre çok daha azdır. Bunun sebebi bu tip otobüslerin sayılarının diğer tip otobüslere göre çok daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Çift yakıtlı otobüsler hem çıkardıkları karbon dioksit miktarı bakımından hem de çalışan otobüs sayısı normal otobüslere ve körüklü otobüslere göre daha fazladır. 2006 yılının ağustos, eylül ve ekim aylarında bir dalgalanma görülmektedir. Bu dalgalanmanın sebebi dengesiz yakıt tüketimidir.



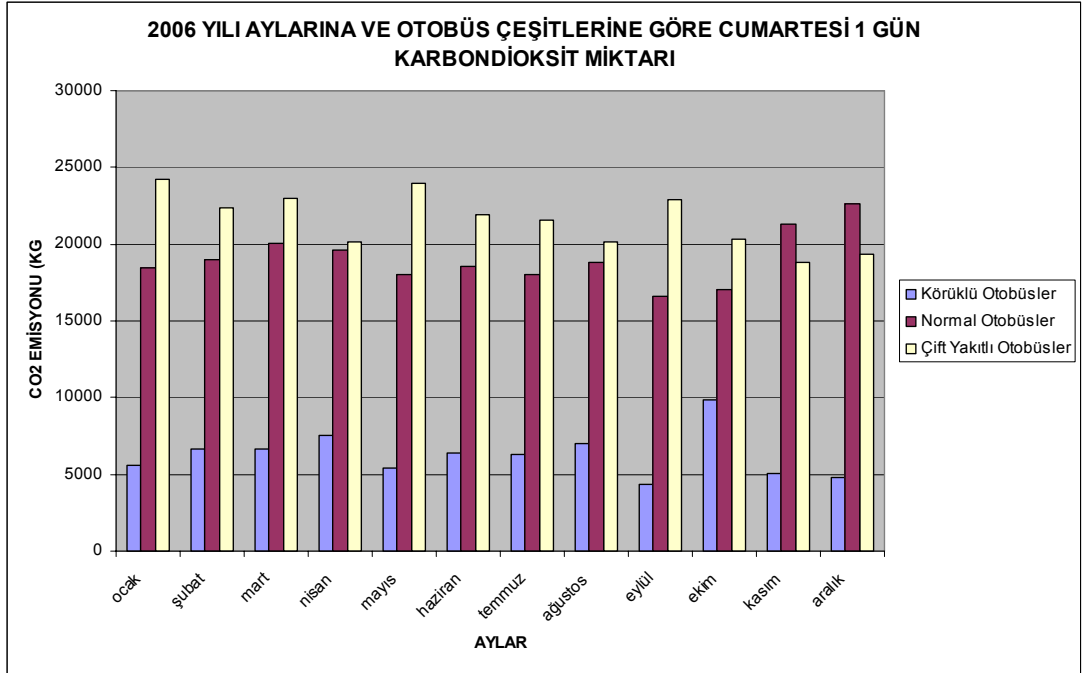
Şekil 4.9 2006 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Haftaiçi 1 Gün CO₂ Miktarı



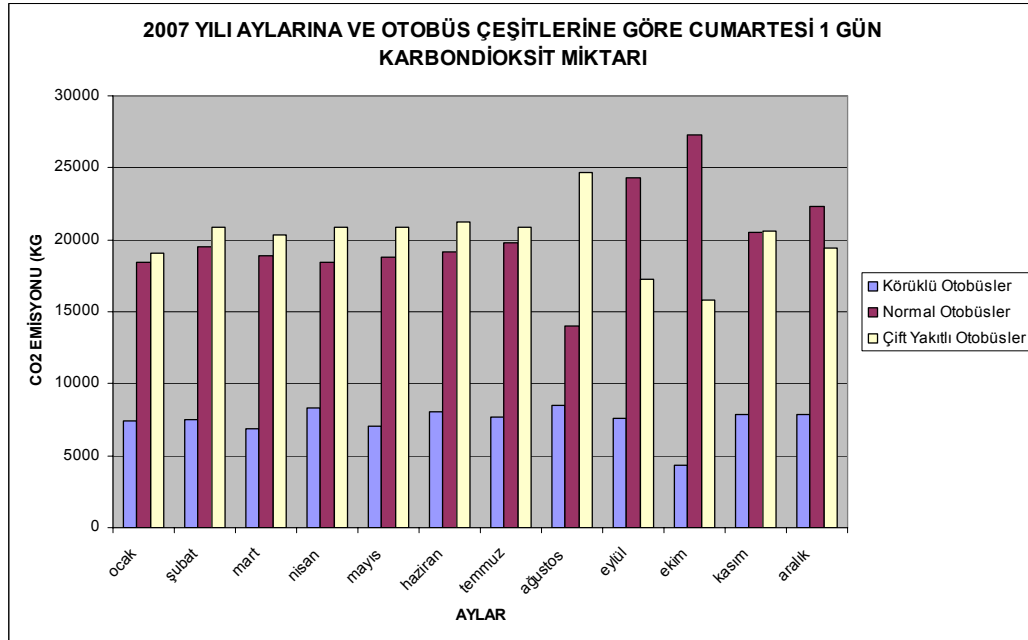
Şekil 4.10 2007 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Hafta içi 1 Gün CO₂ Miktarı

Aşağıdaki grafiklerde 2006 ve 2007 yılına ait otobüs çeşitlerine göre cumartesi 1 gün için CO₂ miktarı gösterilmiştir. Cumartesi gün başına ortaya çıkan karbondioksit emisyonları hafta içi gün başına ortaya çıkan karbon dioksit emisyonlarına göre çok az miktarda azalmaktadır. Bunun sebebi cumartesi günü sefer adedinin hafta içine göre azalmasından kaynaklanmaktadır. Körüklü otobüslere otobüs sayıları zaten kısıtlı olduğu için bir azalma belirmemekte hatta aksine hafta içine göre bir artış gözlenmektedir. Buradan yola çıkarak körüklü otobüslerin cumartesi günleri hafta içine göre daha fazla yol kat ettikleri söylenebilir. Çift yakıtlı otobüsler cumartesi

günleri hem körüklü otobüslere hem de normal otobüslere göre daha fazla karbondioksit çıkarmaktadırlar.

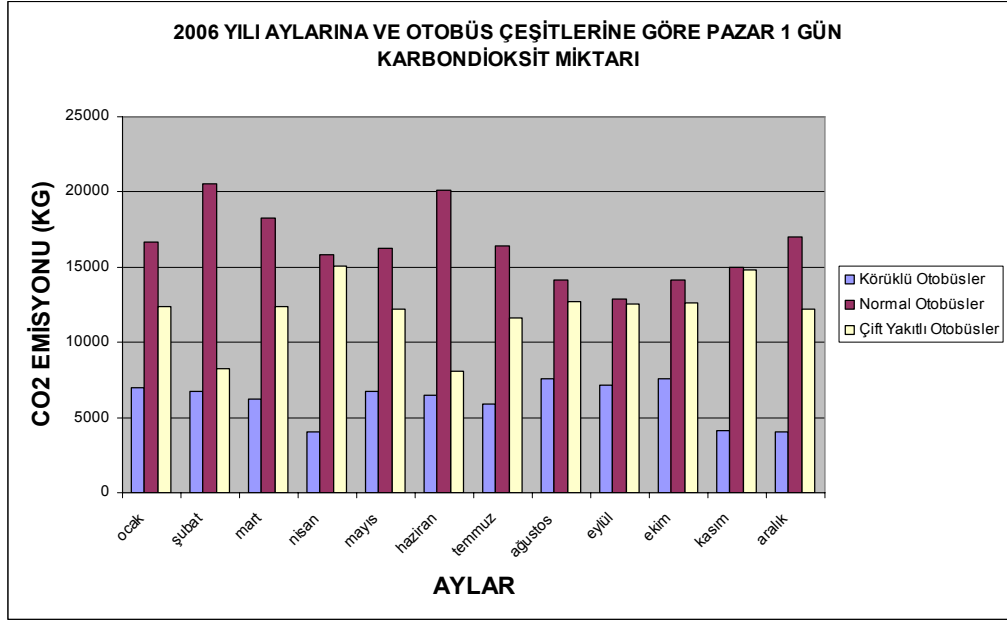


Şekil 4.11 2006 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Cumartesi 1 Gün CO₂ Miktarı

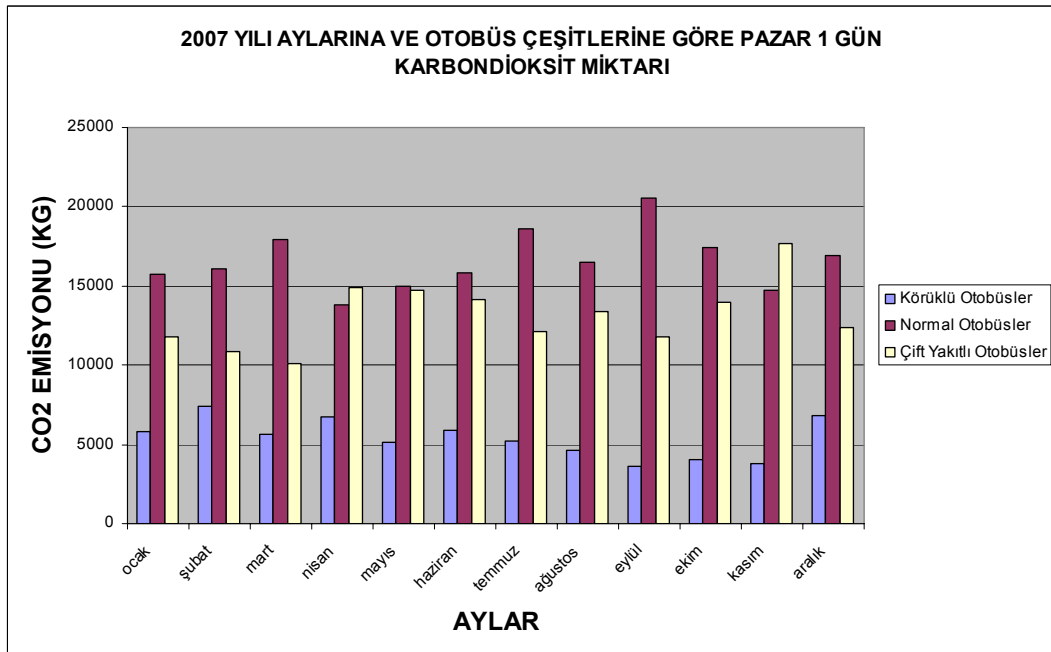


Şekil 4.12 2007 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Cumartesi 1 Gün CO₂ Miktarı

Aşağıdaki grafiklerde 2006 ve 2007 yılına ait otobüs çeşitlerine göre pazar 1 gün için CO₂ miktarı gösterilmiştir. Çift yakıtlı otobüsler normal otobüslere göre hafta içinde ve cumartesi gününde olduğu gibi daha fazla karbondioksit emisyonu değil, aksine daha az karbondioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. Pazar günleri karbondioksit emisyonlarının düşmesinin sebebi, pazar günleri çalışan çift yakıtlı otobüs sayısının azalması olarak gösterilebilir.

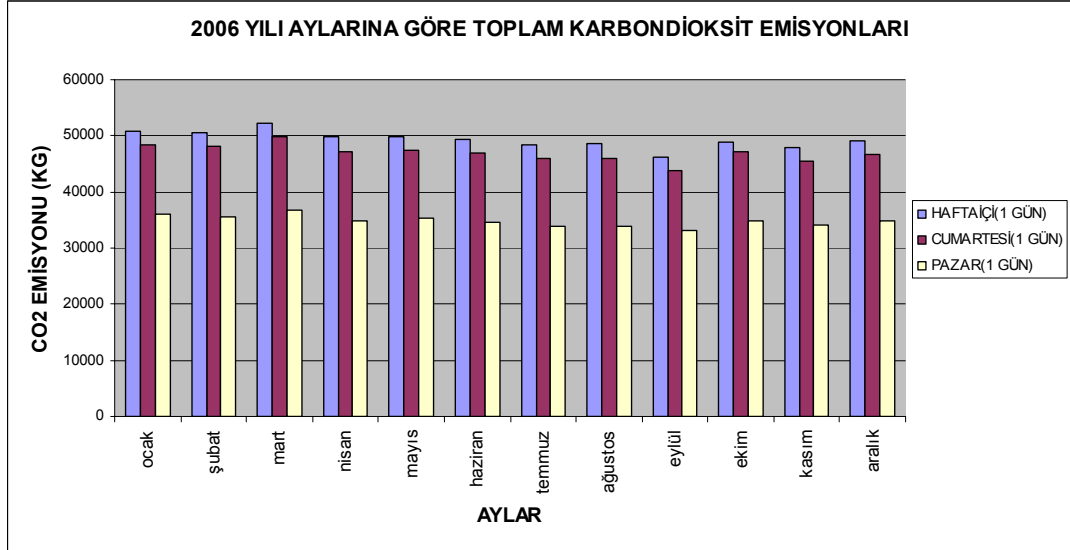


Şekil 4.13 2006 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Pazar 1 Gün CO₂ Miktarı

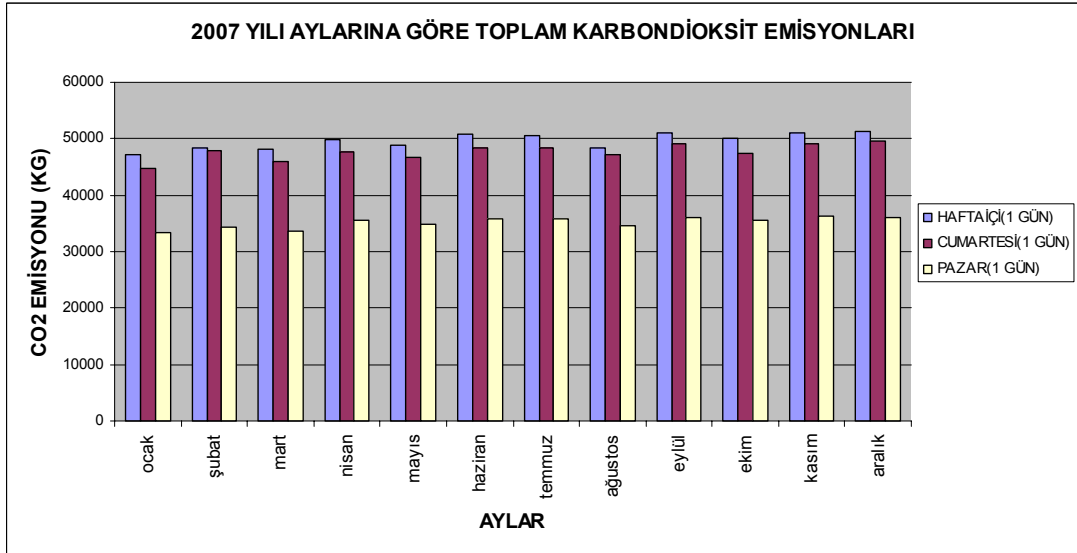


Şekil 4.14 2007 Yılı Aylarına ve Otobüs Çeşitlerine Göre Pazar 1 Gün CO₂ Miktarı

Aşağıdaki grafiklerde 2006 ve 2007 yıllarına ait hafta içi, cumartesi ve pazar olmak üzere Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüslerin CO₂ emisyonları toplamı görülmektedir. Hafta içi 50000 kg CO₂ üreten bu otobüslerin CO₂ emisyonları cumartesi ve pazar günleri sırası ile yaklaşık olarak 48000 ve 35000'dir. Düşmesinin sebebi pazar günü sefer sayılarının azalmasıdır.



Şekil 4.15 2006 Yılı Aylarına Göre Toplam Karbondioksit Emisyonları

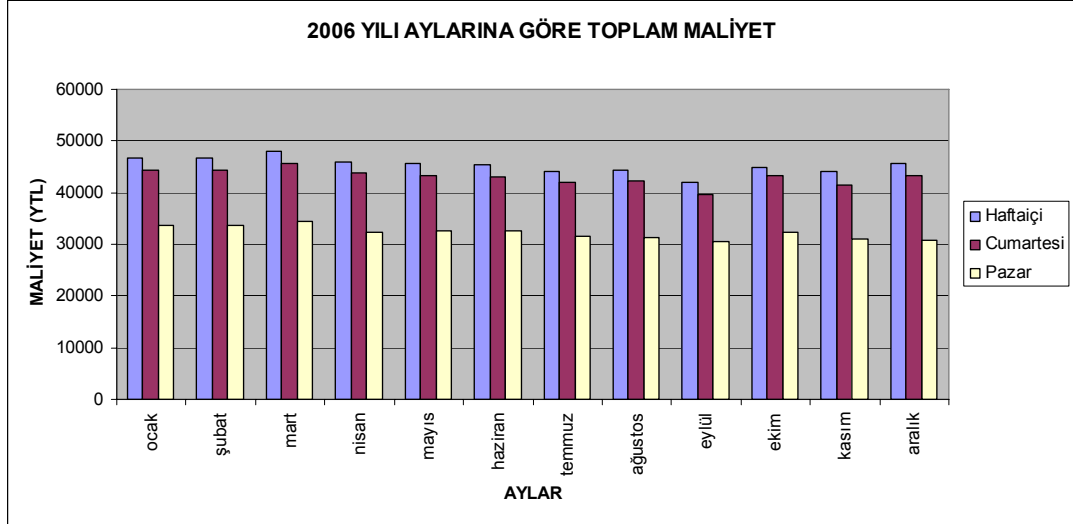


Şekil 4.16 2007 Yılı Aylarına Göre Toplam Karbondioksit Emisyonları

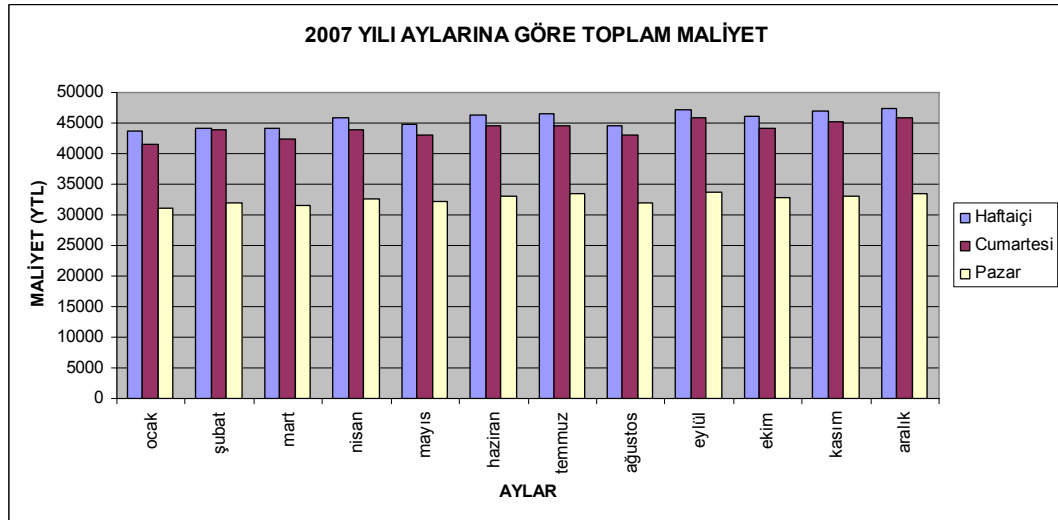
4.2.5 Hasanpaşa Garajında Çalışan Otobüslerin Yakıt Maliyeti

Aşağıdaki grafiklerde 2006 ve 2007 yıllarına ait hafta içi, cumartesi ve pazar olmak üzere Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüslerin toplam maliyeti görülmektedir.

Hafta içi yaklaşık 45000 YTL maliyet oluşturan bu otobüslerin yakıt maliyeti cumartesi ve pazar günleri sırası ile yaklaşık olarak 42000 ve 31000'dir. Düşmesinin sebebi pazar günü sefer sayılarının azalmasıdır.



Şekil 4.17 2006 Yılı Aylarına Göre Toplam Maliyet



Şekil 4.18 2007 Yılı Aylarına Göre Toplam Maliyet

5. YAKIT TÜKETİMİNİN ve KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ TEORİK OLARAK HESAPLANMASI

Araç ağırlığının, güzergah ve taşıtın teknik özellikleri seyir esnasında değiştirilemeyeceğine göre, hız zaman değişimi ve güzergahın fiziksel özellikleri motordan çekilecek gücü, aktarma organları motorun çalışma bölgesini ve tüketilen yakıt miktarını belirleyen faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Diğer önemli bir faktör ise sürücü davranışlarıdır. Sürücü davranışı ifadesi, aracın iki durma noktası arasında hızlanma, seyir ve yavaşlama hareketlerinde sürücü tarafından tercih edilen kalkış ivmesini, üst seyir hızını, seyir hızındaki değişimleri ve yavaşlama ivmesi değerlerini içerir. Sürüş karakterisliği yakıt tüketimi üzerinde önemli bir rol oynar.

Karbondioksit emisyonlar tüketilen yakıtın miktarına bağlı olduğundan yakıt tüketiminin araçlarda hesaplanması ve yakıt tüketimini azaltma çalışmaları önem kazanmaktadır.

5.1 Yakıt Tüketimine Etki Eden Değişkenlerin Analizi

Günümüzde karayolu taşıtlarının büyük bir bölümünde taşıt tahriki için gerekli olan enerji içten yanmalı motorlarla sağlanmaktadır. İçten yanmalı motorların belirli bir gücü farklı devir sayılarında üretebilme özelliği, içten yanmalı motorlar ile tahrik edilen bir taşıtın belirli bir seyir hızını farklı motor devirinde gerçekleştirebilmesine olanak sağlarken özgül yakıt tüketimi değerlerinin dolayısıyla tüketilen yakıt miktarının değişmesine neden olur. Bir taşıtın hareketi esnasında tüketilen yakıt miktarı, seyir şartlarının sabit kaldığı bir zaman aralığı için aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$B_e = N_e \cdot t \cdot b_e \quad (5.1)$$

Güç gereksinimi: Taşıt hareketine ters yönde etki eden kuvvetlerin, taşıt eksenini doğrultusundaki bileşenlerinin toplamına hareket dirençleri adı verilir. Bu dirençler

yuvarlanma, yokuş, rüzgar ve ivmelenme dirençleridir. Taşıtın hareket edebilmesi için hareket dirençlerine eş veya daha büyük bir kuvvetin tahrik tekerleklerinden zemine aktarılması gerekir.

Yuvarlanma Direnci: Kuru bir zeminde düz hareket eden tek bir tekerleğin direnci yuvarlanma direncine eşittir. Genellikle bir taşıtın bütün tekerleklerinin yuvarlanma direnç katsayıları yaklaşık eşit olarak kabul edilebilir. Tekerlek yüklerinin toplamı da düz yolda G toplam taşıt ağırlığına (eğimli zeminde $G \cos\alpha$ ya) eşit olduğundan yuvarlanma direnci aşağıdaki ifade gibi yazılabilir.

$$F_r = f_r \cdot G \cdot \cos\alpha \quad (5.2)$$

Ayrıca, yolların genel eğimlerinin de çok olmadığı düşünülürse taşıtın toplam tekerlek direnci yaklaşık olarak aşağıdaki ifade gibi yazılabilir.

$$F_r = f_r \cdot G \quad (5.3)$$

Rüzgar direnci: Kara taşıtları hareketleri sırasında havanın direncine maruz kalırlar. Bir kısım hava, taşıtla yer arasından geçerken, bir kısım havada radyatörden ve taşıt içi havalandırma kanallarından taşıt içinden geçmektedir. Bu içten geçen hava, toplam akış kayıplarının yaklaşık %10'u kadardır. Dış akışlardan doğan kayıplar basınç direnci ve sürtünme dirençlerinden ortaya çıkar.

Akış kayıpları toplamı, taşıt hareket aksine ters istikamette etkiyen rüzgar direncini meydana getirir. Hızlarda akış türbülanslı olduğundan, rüzgar direnci $V^2\rho/2$ ile orantılıdır. ρ hava özgül yoğunluğu, V ise seyir hızıdır. Oran sabiti iki kısımdan oluşur: A enine kesit alanı ve C_w rüzgar direnç katsayısı, ki bunların büyüklükleri taşıtın büyüklüğüne bağlı olmayıp, şekline ve hucum açısına bağlıdır.

Böylece rüzgar direnci şöyle ifade edilebilir.

$$F_L = C_w A \frac{\rho}{2} V^2 \quad (5.4)$$

Yokuş Direnci: Yol şartlarına göre eğer yolda bir yokuş varsa taşıt yokuşu çıkabilmesi için yokuş direncini yenmesi gerekmektedir. Bu yokuş direnci α eğimi göstermek üzere aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F_{st} = G \cdot \sin\alpha \quad (5.5)$$

İvme direnci: Bir taşıtı ivmelendirmek için ivme direncinin yenilmesi gerekmektedir.

$$F_B = \lambda \cdot m \cdot a \quad (5.6)$$

Buradaki λ sayısı dönen kütlelerin, toplam kütleyle ilave getirdiği direnç oranını ifade etmektedir. Hareket için gerekli olan enerji aracın enerji kaynağı olan motordan çekilir. Seyir şartlarının sabit kaldığı durumda motordan çekilen güç (N_e) sabit kalacaktır.

$$\sum F = F_R + F_L + F_{ST} + F_B \quad (5.7)$$

$$N_e = \frac{\sum F \times V}{\eta_m} \quad (5.8)$$

Gerçek koşullarda seyir şartları anlık değişimler gösterebileceği gibi, motordan çekilen güce ve motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değeri de değişim gösterecektir. Bu nedenle uygulamada hesaplama yapılacak zaman aralığının (t) bu değerlerin sabit kabul edilebileceği kadar kısa alt aralıklardan seçilmesi gerekir. Süre sabit hızda kat edilen yolun seyir hızına oranıdır.

$$t = \frac{S}{V} \quad (5.9)$$

Tablo 5.1 Ikarus 260.25 Taşıtının Teknik Özellikleri

Aracın Boş Kütlesi					10300 (kg)			
Faydalı yük					5600 (kg)			
Aks Yükleri					Ön		Arka	
					5900 (kg)		10000 (kg)	
Yolcu kapasitesi					97+1 (kişi)			
					11.00R-20 STC			
Tekerlek yarıçapı					0.5 m			
Lastik Basınçları					Ön		Arka	
					7.25 (bar)		6.75 (bar)	
Jant boyutları					8.00-20''			
Yuvarlanma direnci katsayısı f_r					0.015			
Ön yüzey alanı A					8.5 m ²			
Rüzgar direnç katsayısı C_w					0.65			
Vites	I	II	III	IV	V	VI	R	Diferansiyel
Vites Oranı	7.03	4.09	2.70	1.84	1.4	1.00	6.48	5.75
Dönen Küteller için atalet katsayıları	1.6	1.25	1.15	1.09	1.08	1.05		

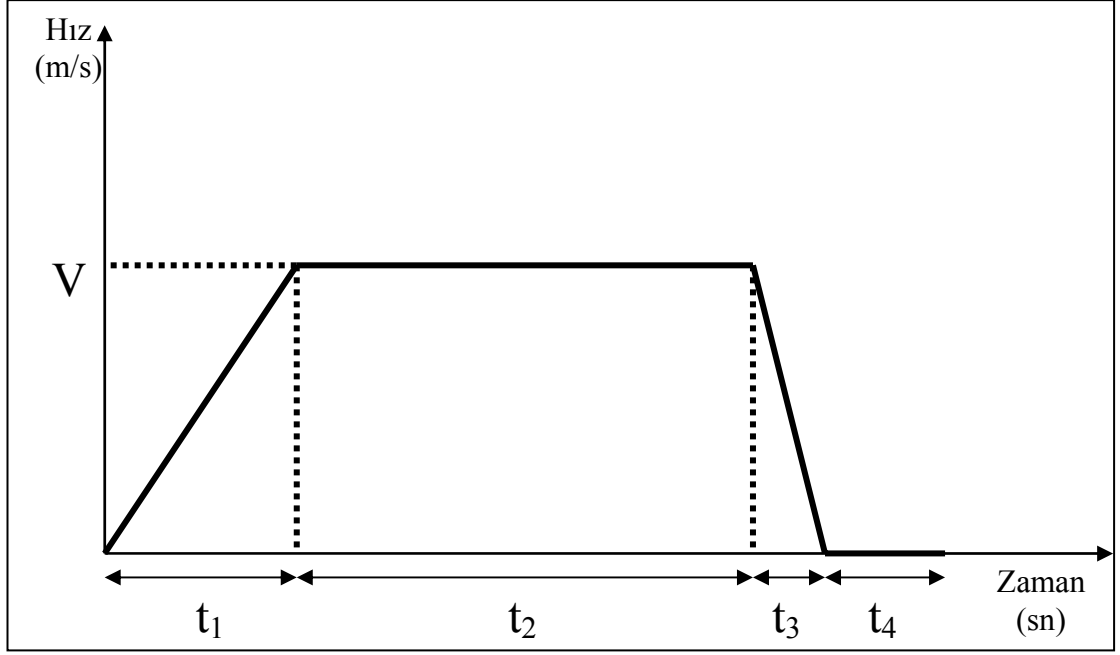
Bu çalışmada yakıt tüketimini hesaplayan bir model Matlab programı yardımıyla yazılacaktır. Yazılan model yardımıyla gr cinsinden çıkan yakıt tüketiminden Tier 1 yöntemiyle karbon dioksit emisyonları hesaplanacaktır. Bu hesaplamalardaki amaç aynı taşıt üzerinde bir tane doğalgaz motoru varmış ve bir tane diesel tahrikli motor varmış gibi düşünülüp daha sonra çıkan sonuçlardan doğalgaz ve motorin kullanımının karbondioksit emisyonları üzerine etkisini incelemektir. Hesaplama yapılacak olan taşıtın özellikleri tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Yuvarlanma direnç katsayısı, taşıt ağırlığı, eğim açısı, havanın özgül yoğunluğu ve projeksiyon alanı seyir esnasında sürücünün kontrol ve kumandasına bağlı olmayan verilerdir. Özgül yakıt tüketimi, mekanik verim, ivme direnç katsayısı, kullanılan vites kademesi ve motor yüküne bağlı olarak, taşıt ve motor tasarımı ile belirlenmiş değerler arasında olmak koşulu ile seyir esnasında sürücünün kontrol ve kumandasına bağlı değer alabilen değişkenlerdir. Taşıtın seyir hızı ve ivmesi doğrudan sürücünün kontrol altında olmakla birlikte trafik yoğunluğundan da etkilenen değişkenlerdir.

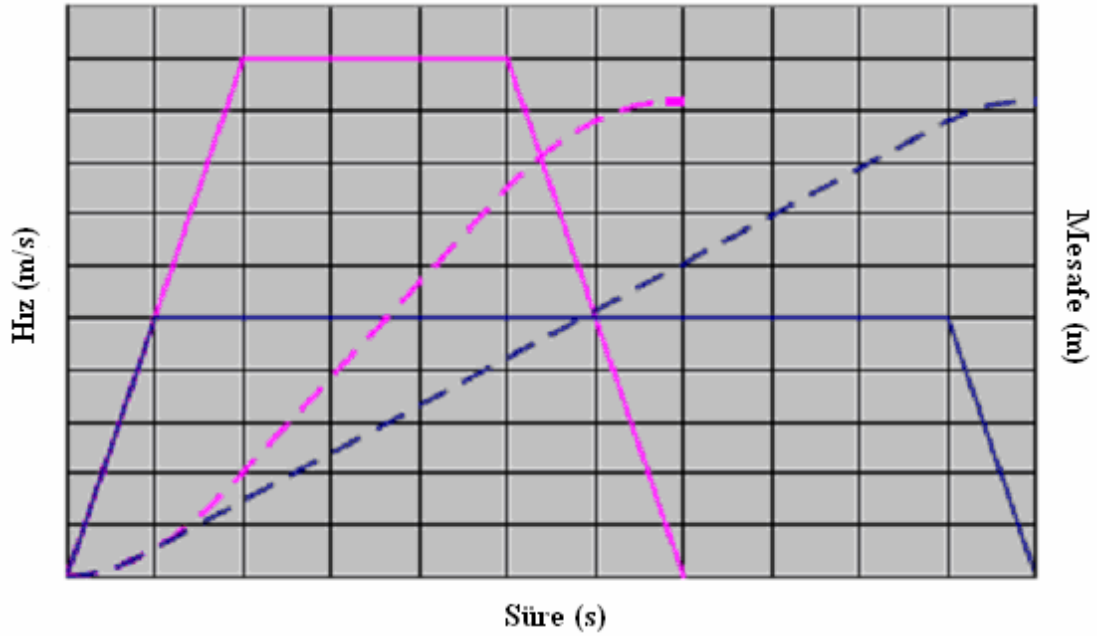
5.2 Yakıt Tüketim Modelinin Yazılması

Yakıt tüketim modelinin üzerinde yazıldığı Matlab programı ilk önce belli bir seyir çevrimi varmış gibi hareket etmektedir. Seyir çevrimleri hız zaman grafiği şeklinde olup aracın hangi zamanda hangi hızda ve hangi yolu katettiğini belli eden grafiklerdir. Modelin izleyeceği seyir çevrimi şekil 5.1’de de görüldüğü gibi çok basit bir çevrimdir ve 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm t_1 zaman aralığında sabit a_1 ivmesi ile ivmelenmektedir. Bu ivmelenme V hızına ulaşılacağı t_1 zamanına kadar devam etmektedir.

İkinci bölüm sabit hız bölümüdür. t_2 zaman aralığında taşıt v hızıyla belli bir yol kat etmektedir. Üçüncü bölüm t_3 zaman aralığında belli bir a_2 yavaşlama ivmesi ile yavaşlamaktır. Hızın sıfır olacağı yani aracın duracağı ana kadar devam eder. Son bölüm ise t_4 zaman aralığında ya trafik şartlarından dolayı yada bir duraktan yolcu alırken belediye otobüsünün durduğu düşünülmektedir. Taşıtın durmasını gerektirecek herhangi bir durum olmadığı belirli iki nokta arasında gerçekleştirilecek seyir, hızlanma, sabit hız ve yavaşlama olmak üzere üç karakteristik süreçten oluşur. Hız-zaman değişimi trapez karakteristiğinde olduğu bu tür seyirde sabit hızda kat edilen mesafenin uzun olması, bu süreçte tüketilen yakıtın, seyir toplamında tüketilen toplam yakıt içindeki oranını arttırmaktadır. Tüketilen toplam yakıt miktarı genellikle şehirler arası karayolu ve otoyollarda gerçekleşen sabit hız seyirlerinde tüketilen yakıtı belirleyen en önemli değişkenler ortam şartları ile sürücünün belirlediği üst seyir hızı mertebesidir.



Şekil 5.1 Çeşitli Değerleri Belli Olmayan Seyir Çevrimi



Şekil 5.2 Hızlanma, Yavaşlama İvmeleri ve Kat Edilen Mesafeleri Eşit, Sabit Seyir

Hızları Oranı 2 Olan Örnek Sabit Seyir Hızı Çevrimleri

Seyir çevriminde bulunan çeşitli süre ve maksimum hız değerlerini hesaplayabilmek için bu çevrimin kullanılacağı hat hakkında bazı bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Seyir çevriminin uygulanacağı hat Hasanpaşa garındaki otobüsler tarafından da kat edilen 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. hattı olarak seçilmiştir. 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. hattının özellikleri tablo 5.2’de gösterilmektedir.

Tablo 5.2 Kadıköy Ünalın Mahallesi Hattının Özellikleri

Hattın Adı	8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah.
Hattın Uzunluğu	37500 (metre)
Hattın Süresi	80 (dakika) , 4800 (saniye)
Hattaki Durak Sayısı	40
Hattaki toplam Duraklama	80
Duraklamalarda beklenen ortalama süre (t_4)	10 (saniye)
Hızlanma ivmesi a_1	0,5 (m/s^2)
Yavaşlama ivmesi a_2	1 (m/s^2)

8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. hattı tablo 5.2’de de görüldüğü üzere 37500 metreden oluşmakta ve hattın belediye otobüsleri tarafından ortalama 80 dakikada tamamlandığı saplanmıştır. Hattaki toplam durak sayısı 40’dır. Hesaplamalar yapılırken bugünkü trafik şartlarını biraz da olsa yansıtabilmesi için her durak arasında 1 kez mutlaka otobüsün durduğu kabul edilmiştir. Hattaki toplam duraklama sayısı 80 olmaktadır. Bunun anlamı bu hat üzerinde çalışan otobüs yukarıda şekil 5.1 ile gösterilen seyir çevrimini hattı tamamlayıncaya kadar 80 kere tekrarlamaktadır. Duraklamanın nedeni otobüsün önüne çıkabilecek olan bir kırmızı ışık olabileceği gibi o andaki trafikteki bir sıkışmada olabilir. Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. kısa bir hat olmasına rağmen oldukça fazla durak sayısına sahiptir. Bu sebepten dolayı her durakta araçların fazla beklemediği düşünülebilir ve her duraklama için t_4 ile söz edilen zamana 10 saniye süre biçilebilir. Eğer bu hat daha uzun ama durak sayısı daha az bir hat olarsaydı t_4 ile belirtilen zaman daha uzun bir süre konulması gerekmektedir. Bu otobüsler hantal otobüsler olup hızlanma ivmeleri de düşüktür. Çevrimde t_1 ile geçen süre içerisinde sabit ivmelenme olmakta ve bu ivme değeri 0.5 m/s^2 olarak kabul edilmektedir. Çevrimde t_3 ile gösterilen süre içerisinde sabit yavaşlama olmakta ve bu yavaşlama ivmesi değeri 1 m/s^2 olarak kabul edilmektedir.

Yakıt tüketimini hesaplayan matlab modeline bu değerlerin hepsi girilmektedir. Çevrimin özelliğininide göz önünde tutarak program aşağıdaki formüllerinde yardımıyla V , t_1 , t_2 ve t_3 değerlerini otomatik olarak bulmaktadır.

Eğer her bir küçük çevrimin tamamlanması için gereken toplam zaman Z ile gösterilirse;

$$Z = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (5.10)$$

Aynı zamanda

$$Z = \text{Hattın Süresi} / \text{Hattaki Toplam Duraklama} \quad (5.11)$$

$$Z = 3600/76 = 47.368 \text{ saniye bulunur.}$$

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = Z - t_4 \quad (\text{saniye}) \quad (5.12)$$

$$T = 37,368 \text{ saniye bulunur.}$$

t_2 süresi Bulunan T süresinden t_1 ve t_3 sürelerinin çıkarılması ile bulunur.

$$t_2 = T - t_1 - t_3 \quad (\text{saniye}) \quad (5.13)$$

t_1 süresi ise seyir çevriminden de anlaşılabilceği gibi V hızının hızlanma ivmesine orandır.

$$t_1 = \frac{V}{a_1} \quad (\text{saniye}) \quad (5.14)$$

t_3 süresi ise seyir çevriminden de anlaşılabilceği gibi V hızının yavaşlama ivmesine orandır.

$$t_3 = \frac{V}{a_2} \quad (\text{saniye}) \quad (5.15)$$

5.14 ve 5.15 denklemleri 5.13 denkleminde yerine konulursa

$$t_2 = T - \frac{V}{a_1} - \frac{V}{a_2} \quad (5.16)$$

denklemini bulunur. Seyir çevriminin altında kalan alan bütün hat uzunluğunun toplam duraklamaya bölünmesi ile bulunmaktadır ve bu alan 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. uzunluğunun 80'de biridir.

Alan = Hattın Uzunluğu / Hattaki Toplam Duraklama

Seyir çevrimine tekrar bakıldığında bu çevrimin altında kalan alanın hesaplanmasında mümkündür.

$$\frac{t_1 \times V}{2} + t_2 \times V + \frac{t_3 \times V}{2} = \text{Alan} \quad (5.17)$$

Daha önceden Formülleri çıkarılan t_1, t_2 ve t_3 değerleri 5.14, 5.1 ve 5.16 denklemleri 5.17 denkleminde yerine konulursa;

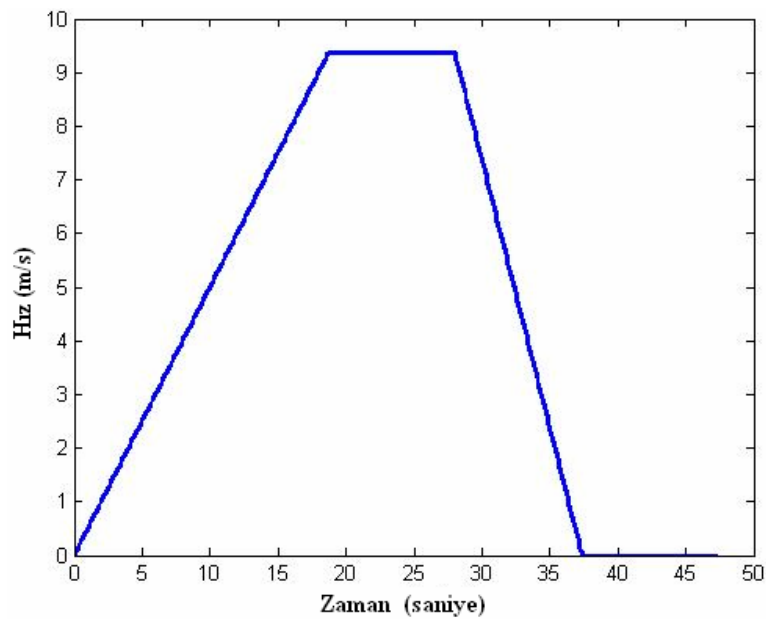
$$\frac{V^2}{2a_1} + \left(T - \frac{V}{a_1} - \frac{V}{a_2}\right) \times V + \frac{V^2}{2a_2} = Alan \quad (5.18)$$

denklemini bulunur. Eğer bu denklem yapılacak matematiksel işlemlerle düzeltilirse 5.19 ve 5.20 denklemleri elde edilir.

$$TV - \frac{V^2}{2a_1} - \frac{V^2}{2a_3} = Alan \quad (5.19)$$

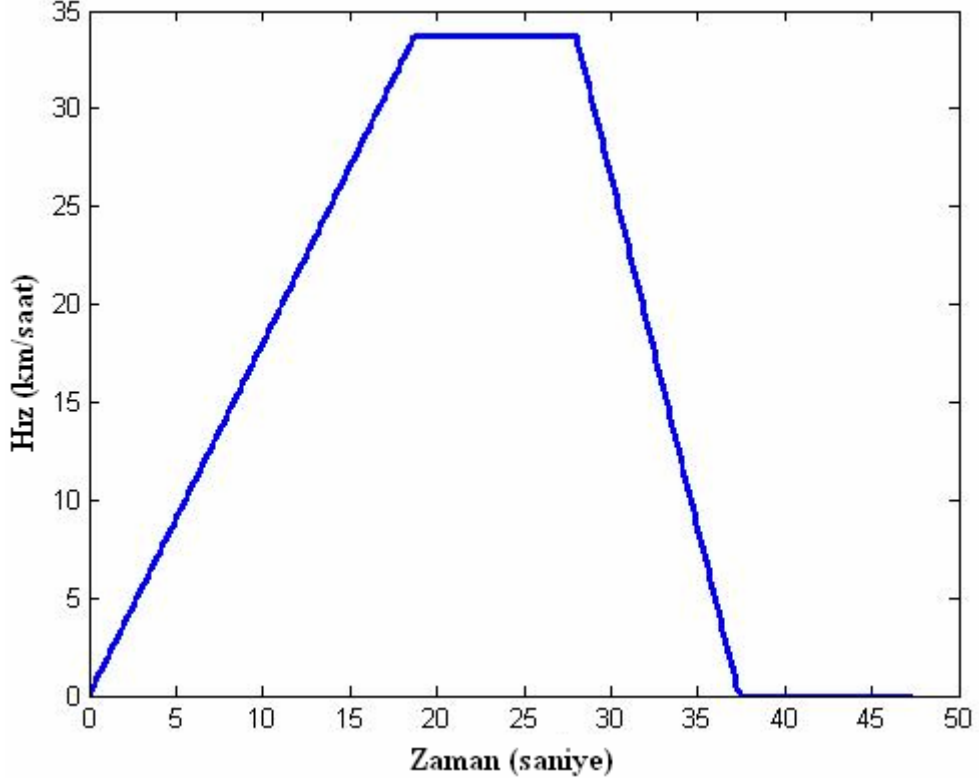
$$TV - \frac{V^2}{2a_1} - \frac{V^2}{2a_3} - Alan = 0 \quad (5.20)$$

5.20 denklemi ikinci dereceden bir denklemdir. Bu ikinci dereceden denklemin 2 tane kökü vardır. Bu köklerden bir tanesi çok büyük bir değer olurken ikinci değer küçük bir değerdir. Çıkacak sonuç hız olduğu için küçük değer alınması böyle bir seyir çevrimi için daha uygundur. Bu denklemin sonucunu Matlab'de yazdığımız yakıt tüketimi modeli bulmaktadır. Çıkan sonuç V hızıdır ve çevrimin hız olarak en üst noktasıdır. t_1 ve t_3 değerleri ivmeler de bilindiğine göre direkt olarak V hızına bağlıdır ve model tarafından hesaplanır. t_2 değerinde t_1 ve t_3 değerine bağlı bir değer olduğuna göre model tarafından hesaplanmaktadır.



Şekil 5.3 Modelin Bulduğu Seyir Çevrimi (m/s olarak)

0-t₁ arası hızın $V=t \times a_1$ olduğu, t₁-t₂ arasında hızın modelden çıkan maksimum hıza eşit olduğu t₂-t₃ arası hızın maksimum hızdan $V=t \times a_2$ hızıyla düştüğü ve t₃-t₄ arasında hızın 0 olduğu bilindiğine göre model 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. için seyir çevrimini değerleride yerine koyarak çizmektedir.



Şekil 5.4 Modelin Bulduğu Seyir Çevrimi (km/saat olarak)

Yakıt tüketim modeli modele başlarken daha önceden bulunan toplam zamanı kendisine baz alarak, 0,1 adımlarla kendisine verilen denklemlere göre ölçüm yapmaya başlar. Eğer zaman 50 saniye ise 500 noktada, 60 saniye ise 600 noktada ölçüm yapabilmektedir. Birinci bölümde modele hızın $V=a_1 \times t$ olduğu verildiğinden t₁ anını sonuna kadar 0,1 aralıklarla hızları hesaplamaktadır. Hızlar belirli hızların üzerine çıktığında ki bu hızlar modelde değiştirilebilmektedir sürücünün vites değiştirdiğini düşünerek vites çevrim oranını ve ivmelenme direncinde kullanılan dönen kütlelerin toplam kütleyle ilave getirdiği direnç oranını ifade eden λ değerini değiştirmektedir. Bu hızlar modelde tablo 5.3’de gösterildiği gibidir.

Tablo 5.3 Yakıt Tüketim Modelindeki Hızlara Göre Çevrim Oranları ve λ Değerleri

Hız Aralığı (m/s)	Vites Çevrim Oranı	λ Değeri	Toplam Çevrim Oranı
0 - 2.5	7.03	1.6	40.22
2.5 - 4.5	4.09	1.25	23.51
4.5 - 6.5	2.7	1.15	15.52
6.5 - 8.5	1.84	1.09	10.58
8.5 -	1.4	1.08	8.05

Her noktadaki kullanılacak olan toplam çevrim oranı bilindiğine göre yakıt tüketim modeli bu noktalardaki motorun devir sayısını da aşağıda verilmiş olan formüle göre hesaplayabilmektedir.

$$n_m = \frac{V \times i_k \times 60}{2 \times \pi \times R} \quad (5.21)$$

formülde verilenlerden V hızı, i_k toplam çevrim oranını, R’de tekerlek yarıçapını belirtmektedir. Hız (m/s), tekerlek yarıçapı m olarak verildiğinde yakıt tüketimin modeli her bir noktadaki devir sayısını (d/d) olarak bulmaktadır.

Herbir noktadaki hız bilindiğine göre yine bütün hesap yapılan noktalardaki aracın üstüne gelen hareket direnci hesaplanabilmektedir. 5.7 ile gösterilen formül hareket direncini hesaplayan formüldür. Yakıt tüketim modelinde yokuş direncinin olmadığı düşünülmüştür. Buna göre; hareket dirençleri yokuş, ivmelenme ve rüzgar direncinden oluşmaktadır.

$$F = C_w A \frac{\rho}{2} V^2 + \lambda m a + f_r \cdot G \quad (5.22)$$

Motordan çekilen güç taşıtın hareket dirençlerinin toplamını ile hızın çarpımının aktarma organlarının toplam mekanik verimine bölünmesiyle elde edilmektedir. Yakıt tüketim modeli herbir hesap yapılan noktada taşıtın hızı ve hareket dirençlerinin toplamı bilindiğine göre yine aynı noktalarda motordan çekilen gücü aşağıdaki formüle göre hesaplayabilmektedir.

$$N_e = \frac{\sum F \times V}{\eta_m} \quad (5.23)$$

Kuvvet birimi Newton, hızda m/s olduğuna göre güç $Newton \times \frac{metre}{saniye} = Watt$

birimindedir. Yakıt tüketim modeli bu watt olarak çıkan değeri Kilowatt'a çevirmektedir. Şu ana kadar herbir noktadaki hız, kuvvet, motor hızı ve güç değerleri bilinmektedir. Bu değerleri kullanılarak motor silindirin içindeki ortalama efektif basınç aşağıdaki formüle göre her nokta için hesaplanabilmektedir. Bu formülde güç (kilowatt), motor hızı (devir/dakika), motor hacmi litre olarak verildiğinde çıkan ortalama efektif basınç megapascal olmaktadır. Yakıt tüketim modeli bu değeri bar'a çevirmektedir.

$$P_{me} = \frac{N_e \times 60 \times a}{V_h \times n_m \times z} \quad (5.24)$$

Yakıt tüketim modeli herbir noktadaki ortalama efektif basınçlarıda hesaplamaktadır. Karşılaştırma için kullanılacak motorların yakıt tüketim eğrileri (motor yumurta eğrileri) ortalama efektif basınca ve motor devrine bağlı grafiklerdir. Bu grafikler küçük karelere bölünüp yakıt tüketim modelinin içine yerleştirilir. Her noktadaki özgül yakıt tüketimi küçük karelere bölünmüş grafikten g/kWh olarak okunur. Bu okunan değer daha önce bulunan güç değeri ile çarpılarak ve zaman aralığı ile çarpılarak büyük noktadaki yakıt tüketimi gram cinsinden bulunmaktadır.

$$B_e = N_e \cdot t \cdot b_e \quad (5.25)$$

Noktaların hepsinden çıkan yakıt tüketim değerleri toplanarak çevrim başına düşen yakıt tüketimi bulunmuştur. Hat boyunca bu çevrimden 80 kere tekrarlandığına göre hat boyunca toplam yakıt tüketimi çıkan sonucun 80 ile çarpılması ile bulunur.

Karşılaştırma için kullanılacak motorlara bakıldığında

Diesel tahrikli motor : RABA MAN D 2156 HM6UT

Çalışma Prensibi : 4 Stroklu, Direkt püskürtmeli, Aşırı doldurmalı

Strok/Çap : 121/150 (mm/mm)

Sıkıştırma oranı : 17:1

Hacim : 10.5 litre

Silindir sayısı : 6

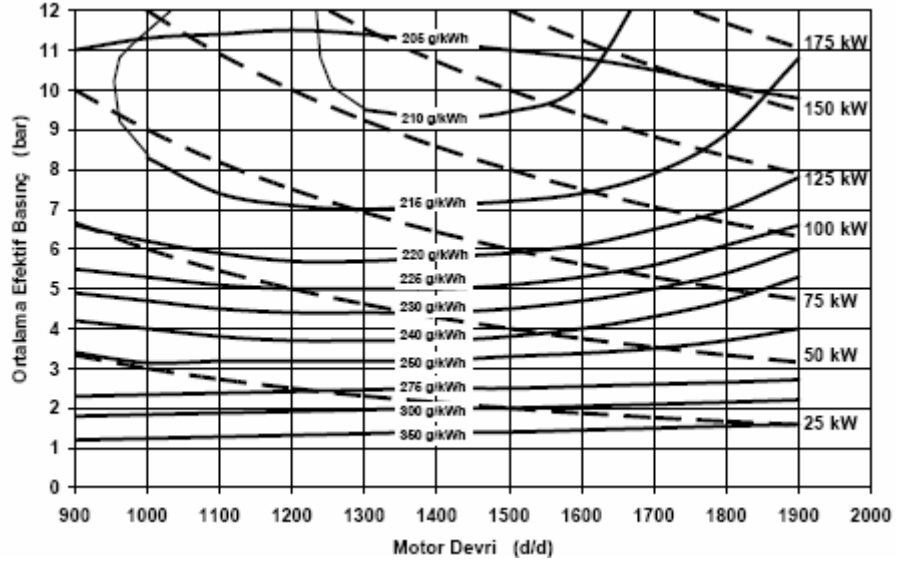
Çıkış gücü : 155 (kW) / 2100 (d/d)

Tork : 819 Nm / 1600 (d/d)

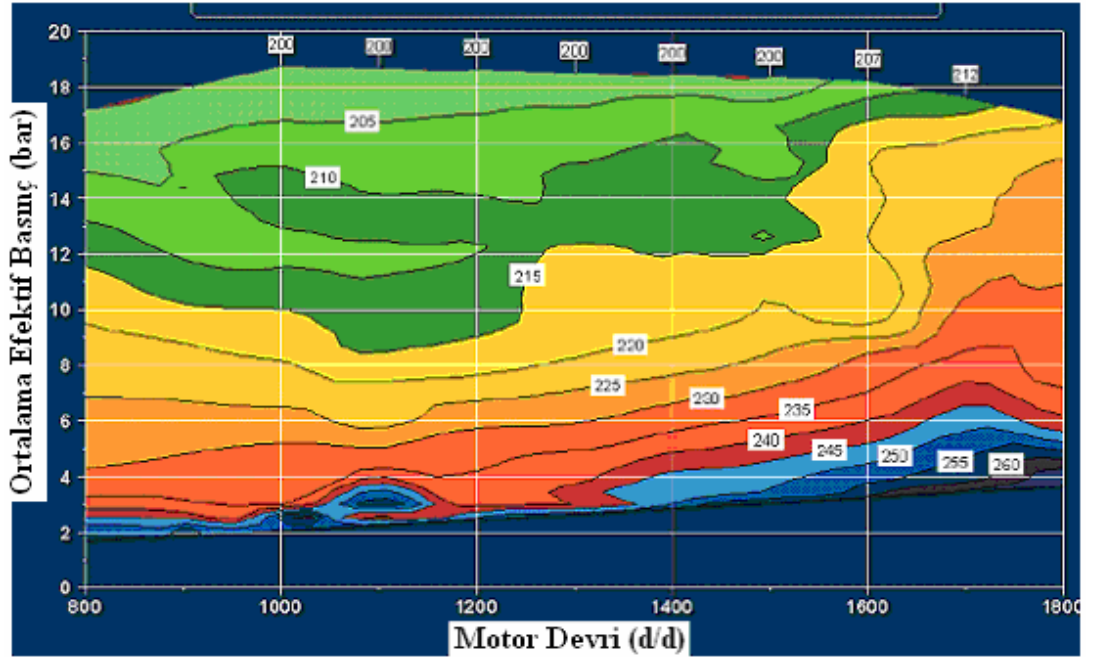
Püskürtme sırası : 1-5-3-6-2-4

Soğutma : Su soğutmalı

Şekil 5.5’de verilen motor haritasında 50 kW sabit güç şartında özgül yakıt tüketimlerinin; 1700 d/d için 250 g/kWh, 1400 d/d için 230 g/kWh, 1200 d/d için 225 g/kWh, 950 d/d için 220 g/kWh olduğu görülmektedir. Bu durum yakıt tüketimini azaltılması için, motorun sabit güç şartında mümkün olduğunca düşük hızda çalıştırılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5.5 Raba Man Motorunun Yakıt Tüketim Eğrisi



Şekil 5.6 Nonox Doğalgaz Motorunun Yakıt Tüketim Eğrisi

Doğalgaz Motoru	: Nonox Doğalgaz Motoru
Çalışma Prensibi	: Buji Ateşlemeli
Strok/Çap	:145/132 (mm/mm)
Hacim	: 11.906 litre
Sıkıştırma oranı	:13,5:1
Silindir sayısı	:6
Çıkış gücü	:300 (kW) / 1850 (d/d)
Tork	: 1780 Nm / 900 (d/d)

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da görülmekte olan motor yakıt tüketim eğrilerinin küçük karelere bölünerek yakıt tüketim modeline girilmesiyle daha önce hesaplanan her bir noktadaki devir sayısı ve ortalama efektif basınç sayesinde yine aynı noktalardaki özgül yakıt tüketimleri bulunabilmektedir.

Çevrimin ikinci bölümünde sabit hız karakteristiği vardır. Sabit hızda hareket halinde bulunan bir taşıtta ivmelenme direnci bulunmaz. Yokuş direncinin bütün çevrim boyunca yok sayıldığı düşünülürse seyir çevriminin ikinci bölümünde taşıta üzerine gelen dirençlerin sadece yuvarlanma direnci ve rüzgar direnci olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda çevrimin birinci bölümündekinden tek farkı budur. Yine her bir noktadaki taşıt hızı, motor hızı, taşıta gelen kuvvetler, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt tüketimi bulunmuştur.

Daha önceden belirlenen seyir çevrimi üzerinden, yukarıda özellikleri belirtilen motorların aynı, şartlarda aynı sürüş karakteristiğinde kullanıldığı düşünülüp yukarıda detaylı olarak bahsedilen matlab programı vasıtasıyla yakıt tüketimi modelinden motorlar için sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlara göre diesel tahrikli motor ile doğalgaz buji ateşlemeli motorun karşılaştırılması yapılmıştır.

5.3 Diesel ve Doğalgaz Motorlarının Belli Bir Çevrim Boyunca Karbon Dioksit Emisyonları ve Yakıt Tüketimi Açısından Karşılaştırılması

Tablo 5.4 Diesel ve Doğalgaz Motorunun Çevrim Boyunca Karşılaştırılması

Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Tüketilen Yakıt (kg)	Tüketilen Yakıt	CO ₂ Emisyonları (kg)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	37.75	14.80	45.6 (litre/100 km)	47.04	45.44
Nonox Doğalgaz Motoru	37.75	15.66	61 (m ³ /100 km)	42.39	27.63

Yapılan karşılaştırmaya göre iki motorda 37.75 km yol aldıklarında yani 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. güzargahını daha önceden belirtilen çevrimi takip ederek katettiğinde tükettikleri yakıt miktarı tablo 5.4'de de görüldüğü gibi sırasıyla 14.80 ve 15.66 kg olmaktadır. Bu değerler 100 km'de 45.6 litre ve 61 m³'e denk gelmektedir. Çıkardıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında diesel tahrikli otobüsün 47.04 kg, nonox doğalgaz motorunun ise 42.39 kg karbon dioksit çıkardıkları hesaplanmıştır. Bu değerler göre doğalgazlı motor diesel tahrikli raba man motoruna göre yaklaşık %10.9 oranında daha az karbon dioksit emisyonu oluşturdıkları bellidir. Aynı hat üzerinde raba man diesel motoru 45.44 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmiş, nonox doğalgaz motoru ise 27.63 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmektedir. Bu sonuçlara göre doğalgaz motoru diesel motoruna göre yaklaşık olarak % 64.45 oranında daha az maliyetli olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığı altında doğalgazlı motorun karbon dioksit emisyonları açısından ve dolayısıyla küresel ısınma sorunu açısından diesel motora göre oldukça yaralı olduğu görülmektedir. Ayrıca doğalgazlı motor diesel eşdeğerine göre, doğalgazın fiyatının düşük olmasından yararlanılmasıyla beraber, çok daha az maliyetlidir.

Tablo 5.5 Çeşitli Tip Motorların 1 km’de CO₂ ve Maliyet Karşılaştırılmaları

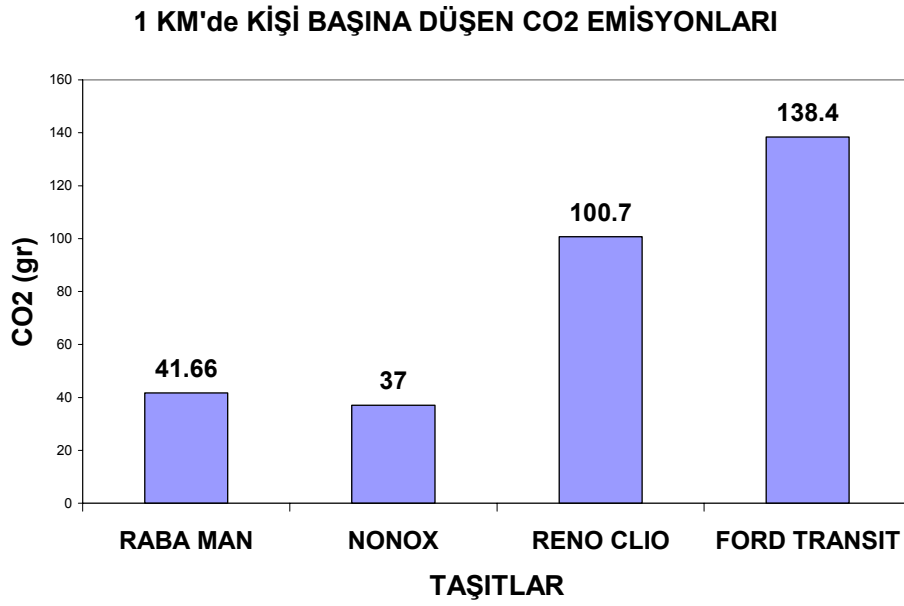
Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Tüketilen Yakıt (gram)	Tüketilen Yakıt	CO ₂ Emisyonları (gram)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	1	390	45.6 (litre/100 km)	1250	1.20
Nonox Doğalgaz Motoru	1	410	61 (m ³ /100 km)	1112	0.73
Reno Clio 1.5 DCİ	1	41	4.8 (litre/100 km)	131	0.130
Ford Connecto 1.8 DCİ	1	60	6.5 (litre/100 km)	180	0.170

Tablo 5.6 Çeşitli Motorların 1 km’de Kişi Başına CO₂ ve Maliyet Karşılaştırılmaları

Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Kişi başına düşen CO ₂ Emisyonları (gram)	Kişi başına düşen CO ₂ Emisyonları (%)	Kişi başına düşen Maliyet (Yeni Kuruş)	Kişi başına düşen Maliyet (%)
Raba Man Diesel Motoru	1	41.66	12.59	4	64
Nonox Doğalgaz Motoru	1	37	0	2.43	0
Reno Clio 1.5 DCİ	1	100.7	172	10	311
Ford Connecto 1.8 DCİ	1	138.4	274	13	434

Tablo 5.5’de Raba man diesel motoru, nonox doğalgaz motoru, reno clio diesel motoru ve ford connecto diesel motorları 1 km yaptıklarındaki maliyet ve karbondioksit karşılaştırılması yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre sırasıyla motorlar 390, 410, 41, 60 gram yakıt tüketmişlerdir. Bu yakıt miktarlarının 100 km’de eş değerleri sırasıyla 45.6 lt/100 km, 61 m³/100 km, 4.8 lt/100 km, 6.5 lt/100 km olarak bulunmaktadır. Bu motorların oluşturdukları karbondioksit emisyonlarına bakıldığında sırasıyla 1250, 1112, 131 ve 180 gram olarak hesaplanmıştır. Yakıtın oluşturacağı maliyet düşünüldüğünde sırasıyla 1.20, 0.73, 0.13 ve 0.17 YTL’dir.

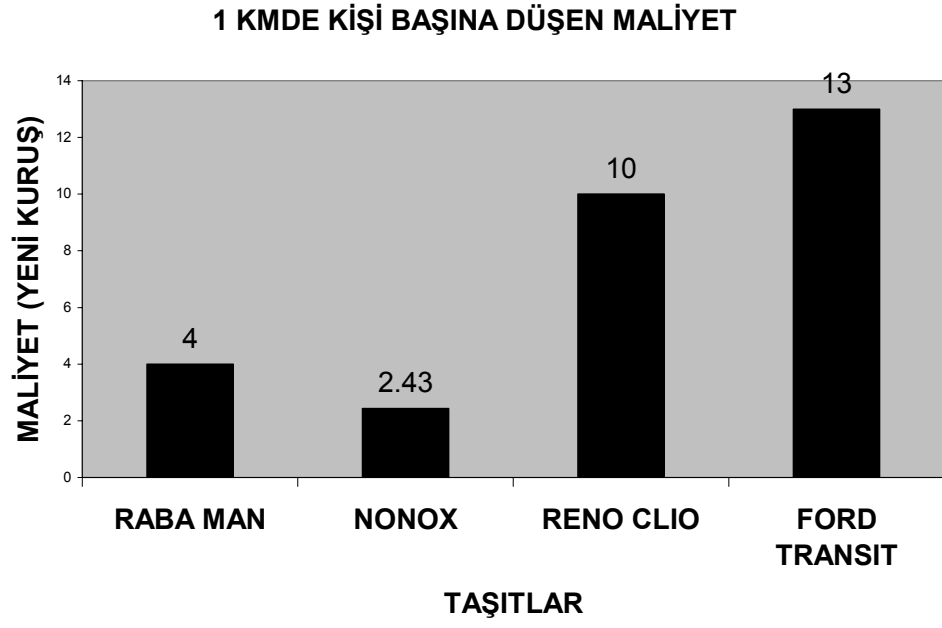
Bu sonuçlardan ortaya çıkan otobüs motorlarının 1 km’de küçük taşıt motorlarına göre çok fazla karbon dioksit üretmesidir. Ama unutulmamalıdır ki otobüsler otomobillere ve hafif ticari araçlara göre çok daha fazla insan taşıyabilmektedirler. Raban man diesel motoru ve Nonox Doğalgaz motoruna sahip otobüsün 1 km’de 30 kişi taşıdığı düşünüldüğü ve hafif ticari araç olan 1.8 litre diesel motorlu Ford Connecto ve otomobil olan 1.5 litre diesel motorlu reno clio’nun ise 1.3 kişi taşıdığı düşünüülerek yapılan karşılaştırma tablo 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.7 Kişi Başına Düşen Karbondioksit Emisyonları

Tablo 5.5’de de görüldüğü gibi 1 km’de sırasıyla 41.66, 37, 100.7 ve 138.4 gram karbondioksit oluşturmaktadırlar. Nonox Doğalgaz motoruna göre kişi başına düşen karbondioksit emisyonları raba man motoru % 12.59, Reno clio diesel motoru % 172 ve Ford Connecto motoru % 274 daha fazladır.

Kişi başına düşen maliyete bakıldığında ise sırasıyla 4, 2.43, 10, 13 yeni kuruş olmaktadır. Nonox Doğalgaz motoruna göre kişi başına düşen yakıt maliyet Raba Man motoru % 64, Reno clio diesel motoru % 311 ve Ford Connecto motoru % 434 daha fazladır. [10]



Şekil 5.8 Kişi Başına Düşen Yakıtın Maliyeti [10]

6. CHASE CAR METODU İLE OTOBÜS SEYİR ÇEVİRİMİNİN ÇIKARILMASI

6.1 Metodun Tanımı

Chase Car metodu ile belli bir güzergaha sahip otobüs GPS veri toplama donanımlarına sahip bir araç ile takip edilerek, seyir çevrimi oluşturulmuştur. Daha sonra bu çevrim üzerinden yakıt tüketimi hesaplanıp, bölüm 5'teki teorik çalışma ile karşılaştırılacaktır. Bu ölçümde kullanılan aracımız, OTAM Araştırma Geliştirme Merkezi'nde bulunan Renault Megane veri toplama aracıdır. Şekil 6.1'de aracın resmi görülmektedir.



Şekil 6.1 Veri Toplama Aracı

Aşağıdaki resimde ise GPS ölçüm donanımları görülmektedir. GPS, motor devri, enlem, boylam, hız, zaman gibi çeşitli büyüklükleri ölçebilmektedir. Fakat bu çalışmada gerekli olanlar sadece hız ve zaman büyüklükleridir.



Şekil 6.2 GPS Ölçüm Donanımları

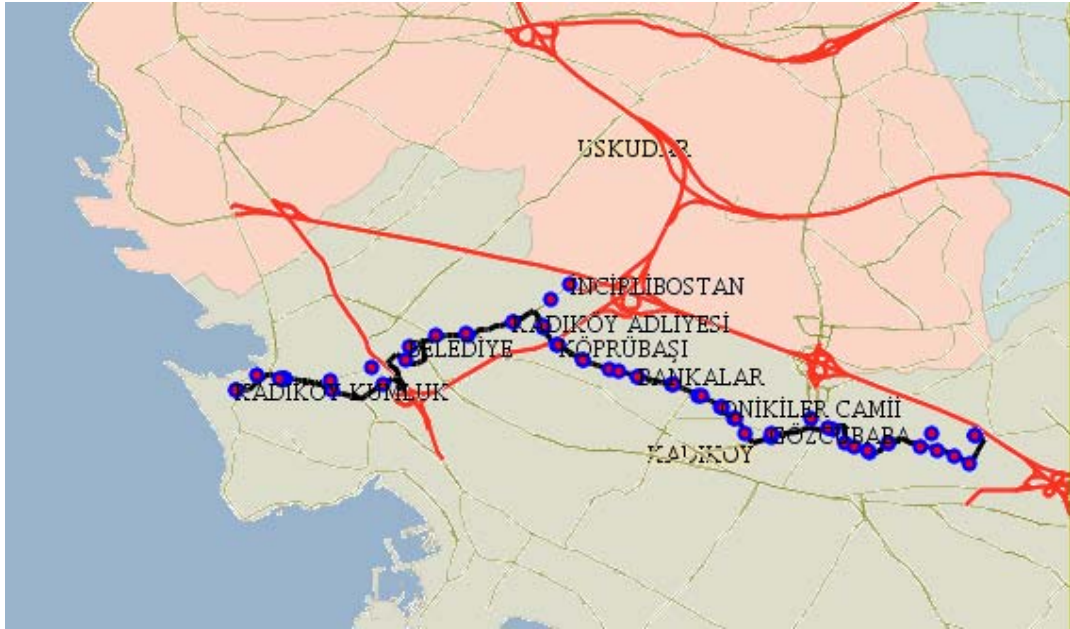
Bu resim ise aracın sürücü koltuğu kısmının bir görünümüdür.



Şekil 6.3 Sürücü Koltuğu

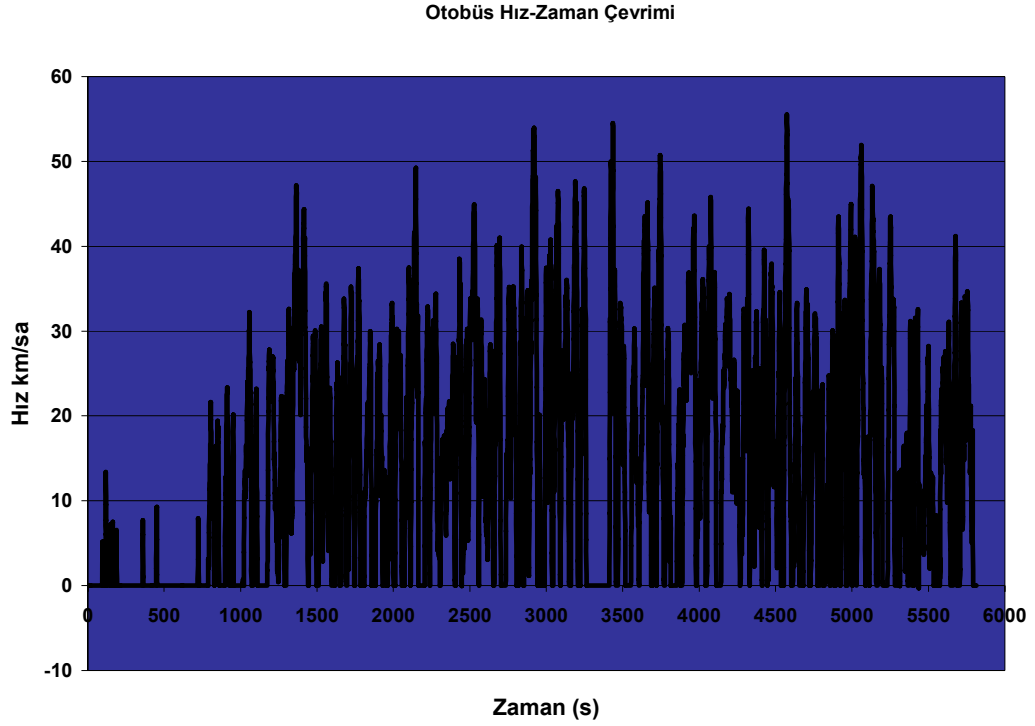
6.2 Seyir Çevriminin Çıkarılması

Renault Megane ölçüm aracı ile 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. güzergahında seyir eden doğalgazlı bir otobüs takip edilip, veri toplanmıştır. Otobüsün güzergahı şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.4 Otobüs Güzergahı

Başlangıç noktası Kadıköy’dür. Daha sonra otobüs son durağa kadar takip edilmiştir. En son olarak da son duraktan başlangıç noktası olan Kadıköy’e geri dönmüştür. Otobüs ivmelendiğinde ivmelenilmiş, duraklarda durduğunda ise durulmuştur. Gidiş-dönüş süresi yaklaşık bir buçuk saattir. Şekil 6.5’de otobüsün gidiş-dönüş seyir çevrimi görülmektedir. Görüldüğü üzere aracın maksimum hızı 55 km/sa’dır. Otobüs önce ivmelenmiş, sonra durağa gelirken yavaşlamış ve her durakta belli bir süre yolcu indirme-bindirme için beklemiştir. 3300 ile 3450 saniyeleri arası otobüs son durakta belli bir süre beklemiştir.



Şekil 6.5 Otobüs Seyir Çevrimi

6.3 Deneysel Çalışma ile Teorik Çalışmanın Karşılaştırılması

Tablo 6.1 Diesel ve Doğalgaz Motorunun Çevrim Boyunca Karşılaştırılması

Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Tüketilen Yakıt (kg)	Tüketilen Yakıt	CO ₂ Emisyonları (kg)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	37.75	14.19	44.00 (litre/100 km)	45.08	43.56
Nonox Doğalgaz Motoru	37.75	14.33	56.20 (m ³ /100 km)	38.80	25.29

Deneysel hesaplamada çıkan sonuçlara göre iki motorda, 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. güzargahını daha önceden belirtilen çevrimi takip ederek katettiğinde tükettikleri yakıt miktarı tablo 6.1’de de görüldüğü gibi sırasıyla 14.19 ve 14.33 kg olmaktadır. Bu değerler 100 km’de 44 litre ve 56.20 m³’e denk gelmektedir. Çıkardıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında diesel tahrikli otobüsün 45.08 kg, nonox doğalgaz motorunun ise 38.80 kg karbon dioksit çıkardıkları hesaplanmıştır. Bu değerlere göre doğalgazlı motorun, diesel tahrikli raba man motoruna göre yaklaşık %16.1 oranında daha az karbon dioksit emisyonu

oluşturduğu görülmektedir. Aynı hat üzerinde raba man diesel motoru 43.56 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmiş, nonox doğalgaz motoru ise 25.29 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmektedir. Bu sonuçlara göre doğalgaz motoru diesel motoruna göre yaklaşık olarak % 72.24 oranında daha az maliyetli olduğu görülmektedir. Bu deneysel çalışmada da, maliyet açısından, doğalgazlı motorun kullanılmasının çok önemli avantaj sağlayacağını ispatlanmaktadır.

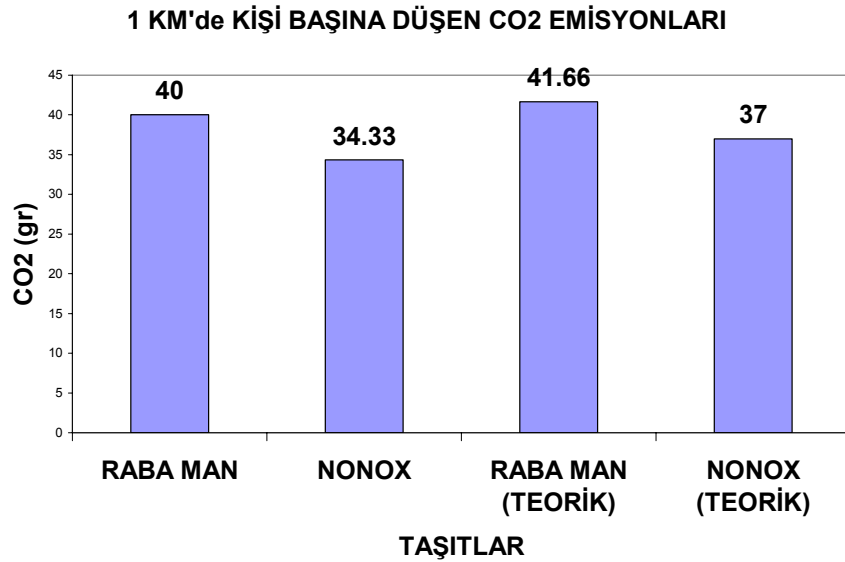
Tablo 6.2 Deneysel Çalışma ile Teorik Çalışmanın 1 km'de CO₂ ve Maliyet Karşılaştırmaları

Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Tüketilen Yakıt (gram)	Tüketilen Yakıt	CO ₂ Emisyonları (gram)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	1	378	44.00 (litre/100 km)	1200	1.16
Nonox Doğalgaz Motoru	1	382	56.20 (m ³ /100 km)	1030	0.67
Raba Man Diesel Motoru (Teorik)	1	390	45.6 (litre/100 km)	1250	1.20
Nonox Doğalgaz Motoru (Teorik)	1	410	61 (m ³ /100 km)	1112	0.73

Tablo 6.2'de deneysel çalışma ile teorik çalışmanın 1 km yaptıklarındaki maliyet ve karbondioksit karşılaştırılması yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre, deneysel çalışmada Raba Man Diesel motoru 1 km'de 378 gram yakıt tüketirken, teorik çalışmada ise bu değer 390 gramdır. Nonox doğalgaz motoru ise deneysel çalışmada 1 km'de 382 gram yakıt tüketirken, teorik çalışmada 410 gram yakıt tüketmiştir. Bu karşılaştırmalardan anlaşılacağı üzere, deneysel çalışma teorik çalışmadan, yakıt tüketimi açısından daha iyi bir sonuç vermiştir. Yine tablo 6.2'ye bakıldığında, 1 km'deki CO₂ emisyonunda ve maliyetde de deneysel çalışma, teorik çalışmaya göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 6.3 Deneysel Çalışma ile Teorik Çalışmanın 1 km’de Kişi Başına CO₂ ve Maliyet Karşılaştırmaları

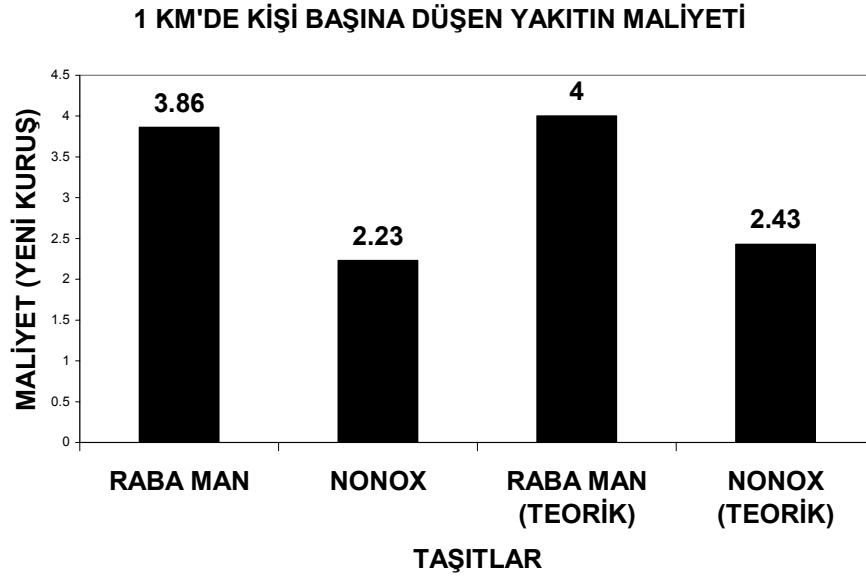
Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Kişi başına düşen CO ₂ Emisyonları (gram)	Kişi başına düşen CO ₂ Emisyonları (%)	Kişi başına düşen Maliyet (Yeni Kuruş)	Kişi başına düşen Maliyet (%)
Raba Man Diesel Motoru	1	40	0	3.86	0
Nonox Doğalgaz Motoru	1	34.33	0	2.23	0
Raba Man Diesel Motoru (Teorik)	1	41.66	4.15	4	3.62
Nonox Doğalgaz Motoru (Teorik)	1	37	7.77	2.43	8.96



Şekil 6.6 1 Km’de Kişi Başına Düşen CO₂ Emisyonları

Tablo 6.3 ve şekil 6.6’da 1 km’de kişi başına düşen CO₂ emisyonları görülmektedir. Teorik çalışma deneysel çalışmaya göre, 1 km’de Raba Man Diesel motorunda %

4.15, Nonox doğalgaz motorunda ise % 7.7 kadar daha fazla CO₂ emisyonu vermektedir.



Şekil 6.7 1 Km’de Kişi Başına Düşen Yakıtın Maliyeti

Tablo 6.3 ve şekil 6.7’de görüldüğü gibi 1 km’de kişi başına düşen yakıtın maliyeti karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada da deneysel çalışma daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu sonuçlardan ortaya çıkan, 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. güzergahında çalışan doğalgazlı bir otobüsün Chase Car metodu ile bir test aracı tarafından takip edilip bir seyir çevriminin çıkartılması ve bu çevrime göre yakıt tüketiminin ve CO₂ emisyonunun hesaplanması, teorik çalışmadaki seyir çevrimine göre daha düzgün sonuçlar vermiştir. Ayrıca deneysel çalışmada da teorik çalışmada olduğu gibi, doğalgazlı motorun diesel motora göre daha az CO₂ emisyonu verdiği ve maliyetinin daha düşük olduğu görülmüştür.

7. SONUÇLAR

Dünyayı tehdit eden en büyük unsurlardan biri küresel ısınmadır. Özellikle son yıllarda küresel ısınma sorunu daha çok kendini göstermiştir. Türkiye’de de, özellikle bu sene, küresel ısınmanın etkileri belirgin bir biçimde ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu etkiler de en çok büyük kentlerde kendini göstermiştir. Aşırı sıcaktan barajların kuruması ve susuzluk, insanların sağlığını ve sosyal yaşantılarını olumsuz etkilemiştir. Tüm bunlara atmosferdeki sera gazlarının artışı neden olmaktadır. Özellikle CO₂ gazı küresel ısınmayı en çok etkileyen gazdır.

Sanayi devriminden sonra fosil yakıtların çok fazla kullanılması, sera gazlarının artışında önemli bir etkiye neden olmuştur. Dünya çapında alternatif yakıt konusunda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Alternatif yakıtların arasında en çok ön plana çıkanlardan biri, düşük CO₂ salınımı nedeniyle doğalgazdır. Doğalgaz gerek maliyeti, gerekse verdiği emisyon bakımından fosil yakıtlar arasında en uygun yakıtlardandır. Bu da doğalgazı içten yanmalı motorlar için kullanılabilir kılmaktadır.

Şehir havasının daha temiz tutulması ve trafik yoğunluğunun azalması için toplu taşımacılığın kullanımı özendirilmektedir. Çoğu toplu taşıma filosu da dizel motorlu otobüslerden oluşmaktadır. Bu otobüslerin doğalgazlı otobüslere dönüştürülmesi, CO₂ emisyonu açısından ciddi getiriler sağlayabilir.

İETT filusunda da 100 tane doğalgazlı otobüs vardır. Bunlar hem doğalgazla hem de dizelle çalışan motora sahiptirler. Ayrıca bu garajda körüklü ve normal dizel motorlu otobüsler de vardır. Yapılan çalışmada otobüslerin hem 2006 hem de 2007 yılına ait yakıt tüketim değerleri alınmış ve CO₂ emisyonları ile maliyetleri incelenmiştir. Bu otobüslerin hem CO₂ emisyonu, hem de yakıt maliyeti açısından incelenmesi ve yorumlanması, gelecekte yapılacak yatırımlar için büyük önem taşımaktadır.

1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan emisyonlar ve maliyet için çeşitli fosil yakıtlar karşılaştırılmıştır. Maliyet karşılaştırmasında, motorin 70.85 YTL, doğalgaz 36.39 YTL, lpg 64.55 YTL ve benzin 92.51 YTL

tutarındadır. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgaza göre motorin % 94, lpg % 77, benzin ise %154 kat daha maliyetli yakıtlardır. Bu sonuçlardan 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en ucuz yakıt olduğu görülmektedir.

Karbondioksit emisyon miktarı ise 1 megajoule'luk enerji için tüketilen yakıtta motorin için 73.33 kg, doğalgaz için 55.82 kg, lpg için 62.75 kg ve benzin için ise 68.61 kg'dır. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgaza göre motorin %31, lpg %12, benzin ise %22 kat çevreye daha fazla karbondioksit salmaktadırlar. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en çevreci fosil kökenli yakıt olduğu ortaya iyice çıkmaktadır.

İETT Hasanpaşa Garajında bulunan dizel tahrikli otobüsler yaklaşık 100 km'de 47 litre motorin tüketmekte ve aynı garajda bulunan sırf doğalgazlı bir motor yaklaşık 100 kmde 56 m³ doğalgaz tüketmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında 1 Megajoule'a denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgazlı motor dizel eşdeğerine göre sadece 3 km daha az yol alırken 34 YTL daha az maliyet çıkarmakta ve 18 kg daha az karbondioksit emisyonu çıkarmaktadır

Otobüslerin 1 km'de çıkarttıkları CO2 emisyonları karşılaştırılmıştır. Körüklü otobüsler daha ağır olduklarından daha fazla CO2 emisyonu vermektedir. Fakat çift yakıtlı otobüsler, normal otobüslere göre daha fazla CO2 emisyonuna neden olmaktadır. Bu doğalgazlı otobüslerden beklenen avantajlara ters düşmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç, bu otobüslerin verimli çalışmadığını göstermektedir. Bunun nedeni otobüslerde kullanılan motorun orijinalinde dizel yakıtlı olması ve doğalgaz kullanımı için dizel püskürtme avansının azaltılması ile motorun verimli çalışma ayarlarından uzaklaşılmasından kaynaklanmaktadır. Bu ayar değişikliği silindir içi sıcaklıkları düşürerek hava ile karışım halinde silindir içine giren doğal gazın kontrolsüz yanmasına engel olmak amacıyla zorunlu olarak yapılmıştır.

Daha sonra 2006 ve 2007 yılında otobüslerin 1 kmde tükettikleri yakıtın maliyeti hesaplanmıştır. Çift yakıtlı otobüslerde doğalgaz kullanımı doğalgazın yakıt fiyatının düşük olmasından dolayı avantaj sağlar. Çift yakıtlı otobüsler yaklaşık her ayda körüklü otobüslere göre 1 Km de 30 Yeni Kuruş, normal otobüslere göre de 10 Yeni Kuruş daha az maliyetlidir. Bu otobüsler her ne kadar CO₂ açısından kötü bir senaryo

ortaya çıkarsa da, her ay yaklaşık olarak 500 bin Km yol aldığı varsayıldığı için yakıt maliyeti olarak çok büyük bir avantaj sağlamaktadır.

En son olarak ise Hasanpaşa'daki otobüslerin aylara göre CO2 emisyonları ve maliyetleri incelenmiştir. 2006 ve 2007 yılına ait otobüs çeşitlerine göre hafta içi 1 gün için CO2 miktarına bakıldığında körüklü otobüslerin karbondioksit emisyonları diğer otobüslere göre çok daha azdır. Bunun sebebi bu tip otobüslerin sayılarının diğer tip otobüslere göre çok daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Çift yakıtlı otobüsler hem çıkardıkları karbondioksit miktarı bakımından hem de çalışan otobüs sayısı normal otobüslere ve körüklü otobüslere göre daha fazladır. Cumartesi gün basına ortaya çıkan karbon dioksit emisyonları hafta içi gün basına ortaya çıkan karbon dioksit emisyonlarına göre çok az miktarda azalmaktadır. Bunun sebebi cumartesi günü sefer adedinin hafta içine göre azalmasından kaynaklanmaktadır. Körüklü otobüslere otobüs sayıları zaten kısıtlı olduğu için bir azalma belirmemekte hatta aksine hafta içine göre bir artış gözlenmektedir. Buradan yola çıkarak körüklü otobüslerin cumartesi günleri hafta içine göre daha fazla yol kat ettikleri söylenebilir. Çift yakıtlı otobüsler cumartesi günleri hem körüklü otobüslere hem de normal otobüslere göre daha fazla karbondioksit çıkarmaktadırlar. Çift yakıtlı otobüsler normal otobüslere göre hafta içinde ve Cumartesi gününde olduğu gibi daha fazla karbondioksit emisyonu değil, aksine daha az karbondioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. Pazar günleri karbondioksit emisyonlarının düşmesinin sebebi, pazar günleri çalışan çift yakıtlı otobüs sayısının azalması olarak gösterilebilir.

2006 ve 2007 yıllarına ait hafta içi, cumartesi ve pazar olmak üzere Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüslerin CO2 emisyonları toplamına bakıldığında ise, hafta içi 50000 kg CO2 üreten bu otobüslerin CO2 emisyonları cumartesi ve pazar günleri sırası ile yaklaşık olarak 48000 ve 35000'dir. Düşmesinin sebebi pazar günü sefer sayılarının azalmasıdır.

2006 ve 2007 yıllarına ait hafta içi, cumartesi ve pazar olmak üzere Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüslerin toplam maliyeti ise hafta içi yaklaşık 45000 YTL maliyet oluşturan bu otobüslerin yakıt maliyeti cumartesi ve Pazar günleri sırası ile yaklaşık olarak 42000 ve 31000'dir. Düşmesinin sebebi yine pazar günü sefer sayılarının azalmasıdır.

Daha sonra ise Matlab programı kullanarak, bir otobüste hem doğalgazla çalışan, hem de dizel bir motor olduğu varsayılarak belir bir güzergahta emisyon ve maliyeti hesabı yapıp, karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre iki motorda 37.75 km yol aldıklarında yani 8A Kadıköy - Fikirtepe - Barbaros Mah. güzargahını daha önceden belirtilen çevrimi takip ederek katettiğinde tükettikleri yakıt miktarı tablo 5.4'de de görüldüğü gibi sırasıyla 14.80 ve 15.66 kg olmaktadır. Bu değerler 100 km'de 45.6 litre ve 61 m³'e denk gelmektedir. Çıkardıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında dizel tahrikli otobüsün 47.04 kg, nonox doğalgaz motorunun ise 42.39 kg karbon dioksit çıkardıkları hesaplanmıştır. Bu değerler göre doğalgazlı motor dizel tahrikli raba man motoruna göre yaklaşık %10.9 oranında daha az karbon dioksit emisyonu oluşturdıkları bellidir. Aynı hat üzerinde raba man dizel motoru 45.44 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmiş, nonox doğalgaz motoru ise 27.63 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmektedir. Bu sonuçlara göre doğalgaz motoru dizel motoruna göre yaklaşık olarak % 64.45 oranında daha az maliyetli olduğu görülmektedir.

En son olarak da chase car metodu ile deneysel bir çalışma yapılarak teorik çalışmayla karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre, deneysel çalışmada Raba Man Dizel motoru 1 km'de 378 gram yakıt tüketirken, teorik çalışmada ise bu değer 390 gramdır. Nonox doğalgaz motoru ise deneysel çalışmada 1 km'de 382 gram yakıt tüketirken, teorik çalışmada 410 gram yakıt tüketmiştir. Bu karşılaştırmalardan anlaşılacağı üzere, deneysel çalışma teorik çalışmadan, yakıt tüketimi açısından daha iyi bir sonuç vermiştir. Yine bakıldığında, 1 km'deki CO₂ emisyonunda ve maliyetde de deneysel çalışma, teorik çalışmaya göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Teorik çalışma deneysel çalışmaya göre, 1 km'de Raba Man Dizel motorunda % 4.15, Nonox doğalgaz motorunda ise % 7.7 kadar daha fazla CO₂ emisyonu vermektedir. 1 km'de kişi başına düşen yakıtın maliyeti de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada da deneysel çalışma daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu sonuçlar ışığı altında doğalgazlı motorun karbondioksit emisyonları açısından ve dolayısıyla küresel ısınma sorunu açısından dizel motora göre oldukça yararlı olduğu görülmektedir. Ayrıca doğalgazlı motor dizel eşdeğerine göre, doğalgazın fiyatının düşük olmasından yararlanılmasıyla beraber, çok daha az maliyetlidir. Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüsler için sıkıştırılmış doğalgaz en potansiyelli alternatif yakıt olarak görülmektedir. Fosil kökenli yakıtlar arasında en ucuzu ve karbondioksit

emisy onları açısından en avantajlı yakıt doğalgazdır. Doğalgazla alışan belediye otobüslerinin kullanımı hem yakıt maliyeti açısından hem de CO₂ emisyonları açısından önemli bir avantaj getirebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Tunç, İ., Türüt, S., ve Akbostancı E.** 2006. CO₂ vs CO₂ Responsibility: An Input-Output Approach for Turkish Economy, *Energy Policy*, Elsevier, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Ekonomi Bölümü
- [2] **Soruşbay, C.,** 2005. Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası 9. Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu*, 27-28 Mayıs
- [3] **Soruşbay, C., Gökten, A.G.,** 2000. Conversion of City Buses to Diesel/Natural Gas Operation for Reduced Emissions, *International Journal of Energy*, 5
- [4] **Çetinkaya, S.,** 2004. Benzin ve Diesel Motorların Doğal Gaz Motoruna Dönüştürülmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 81, 14-31
- [5] **Balat, M.,** 2007. Status of Fossil Energy Resources: A Global Perspective, *Energy Sources, Part B*, 2, 31-47
- [6] **Haines, A., Kovats R.S., Campbell-Lendrum D., Corvalan C.,** 2006. Climate Change and Human Health: Impacts, Vulnerability and Public Health, *The Lancet*, 9528, 2101-2109
- [7] **Vikipedi,** 2008. *Küresel Isınma*. Alıntı 01.04.2008, http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCresel_%C4%B1s%C4%B1nma
- [8] **Sıpaioğlu,Ş.,** *Küresel İklim Değişimi ve Küresel Isınma*. Alıntı 01.04.2008, http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/Gazi/makale_sengun.htm
- [9] **Cinemre, T.,** *Küresel Isınma – Kıyamet Gününe Doğru*. Alıntı 01.04.2008, http://www.cevreciyiz.com/akademi/yazilar_detay.aspx?SectionId=168&ContentId=129
- [10] **Diler, A.,** 2006. Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde, Doğalgaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [11] **Polat, G., Sönmez, A., Mutlu, M.,** *Küresel Isınmanın Tehlikeli Boyutlarını İnsanlara Nasıl Algılatabiliriz?.* Alıntı 23.04.2008, <http://cevre.club.fatih.edu.tr/webyeni/konfreweb/konu3.pdf>
- [12] **Zoray, F., Pır, A.,** *Küresel Isınma Problemi: Sebepleri, Sonuçları, Çözüm Yolları.* Alıntı 23.04.2008, <http://cevre.club.fatih.edu.tr/webyeni/konfreweb/konu2.pdf>
- [13] **Vikipedi,** 2008. *Sera Gazları.* Alıntı 01.04.2008, http://tr.wikipedia.org/wiki/Sera_gazlar%C4%B1
- [14] **Sera Gazlarının Tanıtımı,** Alıntı 01.04.2008, <http://www.r10net-seo-yarismasi.com/www.r10.net/sera-gazlari.php>
- [15] **Şahin, M.,** *İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye.* Alıntı 01.04.2008, http://makinecim.com/index.php?page=az_icerik&bilgi_id=7453
- [16] **Vikipedi,** 2008. *Kyoto Protokolü..* Alıntı 01.04.2008, http://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC
- [17] **Kyoto Protokolü,** Alıntı 01.04.2008, <http://www.r10net-seo-yarismasi.com/www.r10.net/kyoto-protokolu.php>
- [18] **Karakaya, E., Özçağ, M.,** *İklim Değişikliği ve Kyoto Protokolü Çerçevesinde Türki Cumhuriyetlerin Durumu,* Alıntı 22.04.2008, <http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/alatoo.pdf>
- [19] **Akansu, S.O., Dulger Z., Kahraman N., Veziroğlu T.J.,** 2004. Internal Combustion Engines Fueled by Natural Gas – Hydrogen Mixtures, *Hydrogen Energy*, **29**, 1527-1539
- [20] **Hammond, D., Jones S., Lalor M.,** 2007. In-vehicle Measurement of Ultrafine Particles on Compressed Natural Gas, Conventional Diesel, and Oxidation-catalyst Diesel Heavy-duty Transit Buses, *Environ Monit Assess*, **125**, 239-246
- [21] **Das, L.M., Gulati, R., Gupta P.K.,** 2000. A Comparative Evaluation of the Performance Characteristics of a Spark Ignition Engine Using Hydrogen and Compressed Natural Gas as Alternative Fuels, *Hydrogen Energy*, **25**, 783-793
- [22] **United Nations,** 2003. Guidelines for Conservation of Diesel Buses to Compressed Natural Bus, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Newyork

- [23] **Turrio-Baldassarri, L., Battistelli C.L., Conti L., Crebelli R., Berardis B.D., Iamicelli A.L., Gambino M., Iannaccone S.**, 2006, Evaluation of Emission Toxicity of Urban Bus Engines: Compressed Natural Gas and Comparison with Liquid Fuels, *Science of the Total Environment*, **355**, 64-77
- [24] **Yalçinkaya, V.**, 2004. Motorların Doğalgaza Dönüşümü, Doğalgazlı Motorların Performansı, Emisyon Değerleri ve Dolum İstasyonlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [25] **Nylund, N.O., Erkkila, K., Lappi, M., Ikonen, M.**, 2004 Transit Bus Emission Study: Comparison of Emmisions From Diesel and Natural Buses, Research report, VTT Process
- [26] **Hill, R.** 2007. Alternative Fuels: CNG is emerging as a serious contender, *Energy Business Review*
- [27] **Çetinkaya, S.**, 2003. Kapalı Mekan Taşıtlarında Yakıt Olarak CNG Kullanımı, *II. Doğalgaz ve Enerji Yönetimi Kongre ve Sergisi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Gaziantep Şubesi, Gaziantep
- [28] **Çadırcı, S.**, 2004. Doğalgaz Yanma Mekanizmasının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [29] **Turhan, H.**, 2003. Doğalgazlı Taşıtların Geliştirilmesi ve Benzinli Taşıtlarla Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [30] **İETT**, 2008. <http://www.iETT.gov.tr>
- [31] **İBB**, 2008. <http://www.istanbul-ulasim.com.tr>
- [32] **İDO**, 2008. <http://www.ido.com.tr>
- [33] **Wowturkey**, 2008. <http://www.wowturkey.com>
- [34] **ÇELİK Aydın.**, 2006. Doğalgazlı taşıtların geliştirilmesi ve benzinli taşıtlarla karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [35] **IPCC Guidelines**, 1996 IPCC Guidelines for natural gas inventories: reference manuel, Volume 3
- [36] **Pekin, M. A.**, 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

EK A

```
%%%%%%%%%%YAKIT TÜKETİM MODELİ%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%ÖRNEK HAT 3A KADIKÖY-ÜNALAN MAH%%%%%%%%%%
hatuzunluk=16600; dakika=60; duraklama=38*2; Alan=hatuzunluk/duraklama;
toplamzaman=dakika*60/duraklama; a1=0.5; a2=1; t4=10;
e=toplamzaman-t4; m=90000/9.81+75*75; R=0.5;
w=[ ]; q=1.226; Cw=0.65; A=8.5; fr=0.01; z=6; Vh=10.5;
v1=[0:0.001:100]; nn=0.85; rolantibasinc=1; rolantidevir=900;
y=(e.*v1)-((v1.^2)/(2*a1))-((v1.^2)/(2*a2))-Alan;
a=min(abs(y));
for i=1:100000
    if abs(y(i))==a;
        b=i;
    end
end
v2=b*0.001;
y(b)=1000;
a=min(abs(y));
for i=1:100000
    if abs(y(i))==a;
        b2=i;
    end
end
v22=b2*0.001;
if v22<v2;
    v2=v22;
end
t1=v2/a1; t2=(e-(v2/a1)-(v2/a2)); t3=v2/a2;
G=[ ]; N=[ ]; Ft=[ ]; P=[ ]; U=[ ]; NM=[ ]; BAR=[ ]; BE=[ ]; yakit=[ ];
for t=0:0.1:toplamzaman;
    if t>=0 & t<t1;
        v3=a1*t;
        if v3<=2.5;
            ik=7.03;
            ia=5.75;
            lam=1.60;
        end
        if v3>2.5 & v3<=4.5;
            ik=4.09;
            ia=5.75;
            lam=1.25;
        end
        if v3>4.5 & v3<=6.5;
```

```

ik=2.7;
ia=5.75;
lam=1.15;
end
if v3>6.5 & v3<=8.5;
ik=1.84;
ia=5.75;
lam=1.09;
end
if v3>8.5;
ik=1.4;
lam=1.08;
end
nm=(v3*ik*ia*60)/(2*pi*R);
f=(lam*m*a1+(1/2)*q*Cw*A*v3^2+fr*m*9.81);
if nm<=rolantidevir;
nm=rolantidevir;
bar1=rolantibasinc;
p11=((Vh*nm*bar1)/1200)*0.25;
p12=(f*v3)/(1000*nm);
bar2=((120*p12)/(Vh*nm))*10;
if p12>p11;
p1=p12;
else if p12<=p11;
p1=p11;
end
end
if bar1>bar2;
bar=bar1;
else if bar1<=bar2;
bar=bar2;
end
end
end
if nm>rolantidevir;
p1=(f*v3)/(1000*nm);
bar=((120*p1)/(Vh*nm))*10;
end
%%%%Bu bölgeye motor yumurta eğrisi küçük karelere bölünüp konulacaktır
%%%%Örnek
%%%%if bar>=0 & bar<1.2 & nm>=900 & nm<2400;
%%%%be=350;
%%%%end
yakit1=((be*p1)/36000)*duraklama;
G=[G v3]; N=[N t]; Ft=[Ft f]; P=[P p1]; U=[U ik]; NM=[NM nm]; BAR=[BAR
bar];
yakit=[yakit yakit1];
else if t>=t1 & t<=t1+t2;
v3=v2;
if v3<=2.5;

```

```

ik=7.03;
ia=5.75;
lam=1.60;
end
if v3>2.5 & v3<=4.5;
ik=4.09;
ia=5.75;
lam=1.25;
end
if v3>4.5 & v3<=6.5;
ik=2.7;
ia=5.75;
lam=1.15;
end
if v3>6.5 & v3<=8.5;
ik=1.84;
ia=5.75;
lam=1.09;
end
if v3>8.5;
ik=1.4;
lam=1.08;
end
nm=(v3*ik*ia*60)/(2*pi*R);
if nm<=rolantidevir;
nm=rolantidevir;
bar=rolantibasinc;
p1=((Vh*nm*bar)/1200)*0.25;
end
f=((1/2)*q*Cw*A*v3^2+fr*m*9.81);
if nm>rolantidevir
p1=(f*v3)/(1000*nm);
bar=((120*p1)/(Vh*nm))*10;
end
%%Bu bölgeye motor yumurta eğrisi küçük karelere bölünüp konulacaktır
yakit1=((be*p1)/36000)*duraklama;
G=[G v3]; N=[N t]; Ft=[Ft f]; P=[P p1]; U=[U ik]; NM=[NM nm]; BAR=[BAR
bar];
yakit=[yakit yakit1];
else if t>t1+t2 & t<=t1+t2+t3
v3=v2-a2*(t-(t2+t1));
nm=rolantidevir;
bar=rolantibasinc;
p1=((Vh*nm*bar)/1200)*0.25;
f=0;
%%Bu bölgeye motor yumurta eğrisi küçük karelere bölünüp konulacaktır
yakit1=((be*p1)/36000)*duraklama;
G=[G v3]; N=[N t]; Ft=[Ft f]; P=[P p1]; U=[U ik]; NM=[NM nm]; BAR=[BAR bar];
yakit=[yakit yakit1];
else t>t1+t2+t3 & t<=t1+t2+t3+t4;

```

```

v3=0;
f=0;
nm=rolantidevir;
bar=rolantibasinc;
p1=((Vh*nm*bar)/1200)*0.25;

```

```

%%%Bu bölgeye motor yumurta eğrisi küçük karelere bölünüp konulacaktır
yakit1=((be*p1)/36000)*duraklama;
G=[G v3]; N=[N t]; Ft=[Ft f]; P=[P p1]; U=[U ik]; NM=[NM nm]; BAR=[BAR bar];
yakit=[yakit yakit1];
end
end
end
end
G;
N;
Ft;
P;
U;
NM;
BA;
BE;
yakit;
toplamyakit=sum(yakit);
plot(N,G,'b-')
xlabel('zaman(saniye)')
ylabel('hiz(m/s)')
figure(2)
plot(N,Ft,'k-')
xlabel('zaman(saniye)')
ylabel('kuvvet(KiloNewton)')
figure(3)
plot(N,P,'r-')
xlabel('zaman(saniye)')
ylabel('Güç(KiloWatt)')
figure(4)
plot(N,NM,'r-')
xlabel('zaman(saniye)')
ylabel('Devir(d/d)')

```

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Tektanıl, 1984 yılında Ankara’da doğdu. İlk öğrenimini tamamladıktan sonra, 1995 yılında başladığı Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi’nden 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü’ne başlayan Tektanıl, 2006 yılında bu bölümden mezun olarak, aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Otomotiv Programı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı.