

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİR İÇİ TOPLU TAŞIMACILIKTA KULLANILAN OTOBÜSLERDE
DOĞAL GAZ KULLANIMININ KARBON DİOKSİT EMİSYONLARINA
ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Anıl DİLER**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : OTOMOTİV

HAZİRAN 2006

**ŞEHİR İÇİ TOPLU TAŞIMACILIKTA KULLANILAN OTOBÜSLERDE,
DOĞAL GAZ KULLANIMININ KARBON DİOKSİT EMİSYONLARINA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Anıl DİLER

(503041702)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cem SORUŞBAY

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

Prof.Dr. Orhan DENİZ (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Küresel ısınmanın etkilerinin fazlaca belli olmaya başladığı bu yıllarda, yüksek lisans tezimi küresel ısınmayı azaltmaya yönelik bir konu üstüne yapmış olmaktan dolayı kendimi şanslı hissediyorum. 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 yardımlarını bulunan İett Hasanpaşa garajı makina mühendisi sayın **Ferit AKBULUT**'a ve beni tüm eğitim ve öğretim hayatımda destekleyen anneme ve babama teşekkür ederim.

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

Haziran 2006

Anıl DİLER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. SERA GAZLARI, KÜRESEL ISINMA, KÜRESEL ISINMANIN ETKİLERİ, VE TÜRKİYE'NİN DURUMU	4
2.1. Küresel Isınma	4
2.2. Sera Gazları	7
2.3. Yanma Sonucu Ortaya Çıkan Başlıca Kirleticiler	9
2.3.1. Kirletici Maddelerin İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri	9
2.4. Küresel Isınmanın Etkileri	11
2.4.1. Ekolojik Sistemlere Etkileri	12
2.4.2. Sosyoekonomik ve Politik Boyutu	13
2.4.3. İklim Değişikliğinin Türkiye Üzerindeki Olası Etkileri	14
2.5. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	16
2.6. Kyoto Protokolü	17
2.7. Türkiye'nin Durumu	20
2.7.1. Türkiye'nin Sera Gazı Salınımları	21
2.8. 1990-2020 Döneminde Dünya Enerji Tüketiminin ve Fosil Yakıt İlişkili CO ₂ Salınımlarının Değerlendirilmesi	22
3. DOĞALGAZIN ÖZELLİKLERİ, YAKIT OLARAK DOĞALGAZ VE DOĞALGAZLI MOTORLARIN ÖZELLİKLERİ	30
3.1. Doğalgazın Özellikleri	30
3.2. Yakıt Olarak Doğalgaz	33
3.2.1. Doğaldan Elde Edilebilecek Yakıtlar	33
3.3. Doğalgazın Ağır Hizmet Taşıtlarında Yakıt Olarak Kullanılması	34
3.3.1. Doğalgazın Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılması	35
3.3.2. Çift yakıtlı (Motorin + Doğalgaz) Motorlar	37
4. YAKITLARIN YANMASINDAN KAYNAKLANAN KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ TIER 1 YÖNTEMİYLE HESAPLANMASI	40
4.1. IPCC Metodolojisi	40
4.2. Tier 1 Metoduna Göre Karbon Dioksit Emisyonlarının Hesaplanması	41
4.2.1. Karbon Dioksit Emisyonlarını Değerlendirmek İçin Tier 1 Yöntemi	41

4.3. Tier 1 Yöntemine Göre 1 kg Doğalgaz, Lpg, Motorin ve Benzin Tüketildiğinde Oluşan CO ₂ Emisyonları ve Yakıtın Maliyeti	44
4.4. Tier 1 Yöntemine Göre 1 Megajoule Enerjiye Denk Gelen Doğalgaz, Lpg, Motorin ve Benzin Tüketildiğinde Oluşan CO ₂ Emisyonları ve Yakıtın Maliyeti	45
5. İETT HASANPAŞA GARAJINA AİT OTOBÜSLERİN KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ VE KULLANDIKLARI YAKITIN MALİYETİNİN İNCELENMESİ	49
5.1. İstanbul'da Toplu Taşımacılık	49
5.1.1. Karayolları	49
5.1.2. Raylı Sistemler	51
5.1.3. Deniz Yolları	54
5.2. İett Hasanpaşa Garajına Ait Otobüslerin CO ₂ Emisyonlarının İncelenmesi	55
5.2.1. Aylara Göre Otobüslerin Ortalama Yakıt Tüketimlerinin Bulunması	55
5.2.2. 1 km'de Oluşan CO ₂ Emisyonlarının ve Yakıt Maliyetinin Bulunması	59
5.2.3. Tier 1 Yöntemine Göre Hasanpaşa Garajında Çalışan Otobüslerin CO ₂ Emisyonlarının Bulunması	65
5.2.4. Hasanpaşa Garajında Çalışan Otobüslerin Kullandıkları Yakıtın Maliyeti	77
6. YAKIT TÜKETİMİNİN VE KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ MATLAB PROGRAMI VASITASIYLA HESAPLANMASI	81
6.1. Yakıt Tüketimine Etki Eden Değişkenlerin Analizi	81
6.2. Yakıt Tüketim Modelinin Yazılması	84
6.3. Diesel ve Doğalgaz Motorlarının Belli Bir çevrim Boyunca Karbon Dioksit Emisyonları ve Yakıt Tüketimi Açısından Karşılaştırılması	93
7. SONUÇLAR	97
KAYNAKLAR	100
EK A	103
ÖZGEÇMİŞ	107

KISALTMALAR

CNG	:Compressed natural gas
LNG	:Liquefied natural gas
LPG	:Likit petrol gazı
CFC	:Cloroflorokarbon
HFC	:Hidroflorokarbon
İDÇS	:İklim değışikliğı çerçeve sözleşmesi
OECD	:Organization for economic cooperation and development
AB	:Avrupa Birliğı
ET	:Emisyon ticareti
JI	:Joint implementation
CDM	:Clean development mechanism
BM	:Birleşmiş milletler
DiE	:Devlet istatistik enstitüsü
GSYİH	:Gayri safi yurt içi hasıla
TPE	:Ton petrol eşdeğeri
ÇHC	:Çin Halk Cumhuriyeti
KP	:Kyoto Protokolü
HFK	:Hava fazlalık katsayısı
IPCC	:Intergovernmental panel on climate change
YTL	:Yeni Türk Lirası
İETT	:İstanbul elektrik tamvay ve tünel işletmeleri
İDO	:İstanbul deniz otobüsleri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Birincil enerji kaynaklı kişi başına düşen CO ₂ miktarı.....	20
Tablo 2.2. Temel CO ₂ göstergelerine göre Türkiye'nin dünyadaki sıralaması.....	22
Tablo 2.3. 1990 - 2020 döneminde dünya toplam enerji tüketimi.....	23
Tablo 2.4. 1990 - 2020 döneminde dünya toplam enerji kaynaklı CO ₂ salınımları.....	25
Tablo 2.5. 1990-2020 döneminde dünya enerji ilişkili CO ₂ salınımlarında yakıt payları.....	28
Tablo 3.1. Yakıtların özellikleri.....	32
Tablo 3.2. Motorları doğalgaza çevirme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	38
Tablo 4.1. Yakıt cinslerine göre net kalorifik değerler.....	42
Tablo 4.2. Yakıt cinsine göre karbon emisyon faktörleri.....	42
Tablo 4.3. Yakıt cinsine göre oksidasyon faktörleri.....	43
Tablo 4.4. Yakıtların bazı özellikleri.....	43
Tablo 4.5. 1 kg yakıt tüketildiğinde yakıt cinslerine göre maliyet ve karbon dioksit analizi.....	44
Tablo 4.6. 1 megajoule'e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan maliyet.....	45
Tablo 4.7. 1 megajoule'e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan karbon dioksit emisyonları.....	46
Tablo 5.1. İETT'ye bağlı İstanbul'daki garajlar.....	50
Tablo 5.2. Otobüslerin aylara göre ortalama yakıt tüketimleri.....	56
Tablo 5.3. Otobüslerin aylara göre ortalama yakıt tüketimleri.....	56
Tablo 5.4. İETT Hasanpaşa garajı doğalgaz fatura bilgileri.....	57
Tablo 5.5. İETT hasanpaşa garajı çift yakıtlı otobüslerin ortalama yakıt tüketimleri.....	57
Tablo 5.6. Otobüs türlerinin aylara göre yakıt tüketimleri.....	58
Tablo 5.7. Otobüs türlerinin aylara göre yakıt tüketimleri.....	58
Tablo 5.8. Otobüs türlerinin aylara göre yakıt tüketimleri.....	58
Tablo 5.9. Otobüslerin aylara göre 1 km'de harcadıkları enerji miktarı....	59
Tablo 5.10. Otobüslerin aylara göre 1 km'de çıkardıkları CO ₂ miktarı.....	60
Tablo 5.11. Otobüslerin aylara göre 1 km'de kişi başına çıkardıkları CO ₂ emisyonları	61
Tablo 5.12. Otobüslerin aylara göre 1 km'de kullandıkları yakıtın maliyeti.....	63
Tablo 5.13. Otobüslerin aylara göre 1 km'de kişi başına düşen yakıtın maliyeti.....	64
Tablo 5.14. Hasanpaşa garajındaki hatlar ve çeşitli özellikleri.....	65
Tablo 5.15. 3A hattı için gün çeşitlerine göre otobüs çalışma listesi.....	66
Tablo 5.16. 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO ₂	

	emisyollarının ve maliyetlerinin hesaplanması.....	67
Tablo 5.17.	3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO ₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması.....	67
Tablo 5.18.	3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO ₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması.....	68
Tablo 5.19.	3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO ₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması.....	68
Tablo 5.20.	3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO ₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması.....	69
Tablo 5.21.	Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına CO ₂ miktarı.....	69
Tablo 5.22.	Aylara ve otobüs çeşitlerine göre cumartesi gün başına CO ₂ miktarı.....	70
Tablo 5.23.	Aylara ve otobüs çeşitlerine göre pazar gün başına karbon dioksit miktarı.....	72
Tablo 5.24.	Aylara göre toplam karbon dioksit emisyonları.....	73
Tablo 5.25.	Körüklü otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO ₂ emisyonları.....	74
Tablo 5.26.	Normal otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO ₂ emisyonları.....	75
Tablo 5.27.	Çift yakıtlı otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO ₂ emisyonları.....	76
Tablo 5.28.	Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına maliyet.	77
Tablo 5.29.	Aylara ve otobüs çeşitlerine göre cumartesi gün başına maliyet.....	78
Tablo 5.30.	Aylara ve otobüs çeşitlerine göre pazar gün başına maliyet.....	79
Tablo 5.31.	Aylara göre toplam maliyet.....	80
Tablo 6.1.	Ikarus 260.25 taşıtının teknik özellikleri.....	83
Tablo 6.2.	Kadıköy – Ünalan mahallesi hattının özellikleri	86
Tablo 6.3.	Yakıt tüketim modelindeki hızlara göre çevrim oranları ve λ değerleri.....	89
Tablo 6.4.	Diesel ve doğalgaz motorunun çevrim boyunca karşılaştırılması.....	93
Tablo 6.5.	Çeşitli tip motorların 1 km'de CO ₂ ve maliyet karşılaştırılmaları.....	94
Tablo 6.6.	Çeşitli tip motorların 1 km'de kişi başına karbon dioksit ve maliyet karşılaştırılmaları	94

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 :Sera gazlarının küresel ısınmadaki payları.....	2
Şekil 1.2 :Türkiye’de CO ₂ salınımlarının sektörlerle göre dağılımı.....	2
Şekil 2.1 :Küresel iklim sisteminin elemanları.....	5
Şekil 3.1 :Motor devri ve yüke göre çift yakıtlı MAN motorunda kullanılan CNG oranı.....	39
Şekil 4.1 :1 kg yakıt tüketildiğinde oluşan karbon dioksit emisyonu.....	44
Şekil 4.2 :1 kg yakıt tüketildiğinde oluşan maliyet.....	45
Şekil 4.3 :1 megajoule’e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşan maliyet.....	46
Şekil 4.4 :1 megajoule’e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşan karbon dioksit emisyonları.....	47
Şekil 5.1 :İstanbul’da kara, deniz ve demiryolu ulaşım ağırlıkları.....	49
Şekil 5.2 :İstanbul’da kara ulaşım yolculuk payları.....	51
Şekil 5.3 :İstanbul’da raylı ulaşım yolculuk payları.....	54
Şekil 5.4 :İstanbul’da deniz ulaşım yolculuk payları.....	55
Şekil 5.5 :İstanbul’da kamu ulaşım ağırlıkları.....	56
Şekil 5.6 :Otobüslerin aylara göre 1 km’de harcadıkları enerji miktarı..	59
Şekil 5.7 :Otobüslerin aylara göre 1 km’de çıkardıkları CO ₂ miktarı.....	60
Şekil 5.8 :Otobüslerin aylara göre 1 km’de kişi başına çıkardıkları CO ₂ emisyonları	61
Şekil 5.9 :Otobüslerin aylara göre 1 km’de kullandıkları yakıtın maliyeti.....	63
Şekil 5.10 :Otobüslerin aylara göre 1 km’de kişi başına düşen yakıtın maliyeti.....	64
Şekil 5.11 :Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına CO ₂ miktarı.....	70
Şekil 5.12 :Aylara ve otobüs çeşitlerine göre cumartesi gün başına CO ₂ miktarı.....	71
Şekil 5.13 :Aylara ve otobüs çeşitlerine göre pazar gün başına karbon dioksit miktarı.....	72
Şekil 5.14 :Aylara göre toplam karbon dioksit emisyonları.....	74
Şekil 5.15 :Körüklü otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO ₂ emisyonları.....	75
Şekil 5.16 :Normal otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO ₂ emisyonları.....	75
Şekil 5.17 :Çift yakıtlı otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO ₂ emisyonları.....	76
Şekil 5.18 :Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına maliyet	77
Şekil 5.19 :Aylara ve otobüs çeşitlerine göre cumartesi gün başına maliyet.....	78
Şekil 5.20 :Aylara ve otobüs çeşitlerine göre pazar gün başına maliyet...	79
Şekil 5.21 :Aylara göre toplam maliyet.....	80

Şekil 6.1	:Çeşitli değerleri belli olmayan seyir çevrimi.....	85
Şekil 6.2	:Hızlanma, yavaşlama ivmeleri ve kat edilen mesafeleri eşit, sabit seyir hızları oranı 2 olan örnek sabit seyir hızı çevrimleri	85
Şekil 6.3	:Modelin bulduğu seyir çevrimi.....	88
Şekil 6.4	:Modelin bulduğu seyir çevrimi.....	89
Şekil 6.5	:Raba MAN motorunun yakıt tüketim eğrisi.....	92
Şekil 6.6	:Nonox doğalgaz motorunun yakıt tüketim eğrisi.....	92
Şekil 6.7	:Kişi başına düşen karbon dioksit emisyonları.....	95
Şekil 6.8	:Kişi başına düşen yakıtın maliyeti.....	96

SEMBOL LİSTESİ

CO₂	:Karbon dioksit
CH₄	:Metan
O₃	:Ozon
N₂O	:Diazot monoksit
CO	:Karbon monoksit
HC	:Hidro karbon
NO_x	:Azot oksit
R.CHO	:Aldehitler
SO₂	:Kükürt dioksit
Pb	:Kurşun bileşikleri
C₂H₆	:Etan
C₃H₈	:Propan
O₂	:Oksijen
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

ŞEHİR İÇİ TOPLU TAŞIMACILIKTA KULLANILAN OTOBÜSLERDE, DOĞAL GAZ KULLANIMININ KARBON DİOKSİT EMİSYONLARINA ETKİLERİ

ÖZET

Dünya sıcaklığındaki artış, küresel ısınma veya sera etkisi olarak bilinmektedir. Fosil kökenli yakıtların sanayi devriminden sonra kullanımının iyice artması ve ormanların hızlı bir şekilde yok edilmesi atmosferde bulunan sera gazlarının artmasına neden olmuşlardır. Günümüz taşıt teknolojisinde, yakıt tüketimine ve kullanılan yakıt özelliklerine bağlı olarak üretim miktarı değişim gösteren karbon dioksit, %60 oranında sera etkisinden sorumlu olan gazdır ve diğer sera gazlarından çok daha fazla etkilidir. Karbon dioksit emisyonunu azaltmak için yakıt olarak doğal gaz kullanılması kendisini kabul ettiren bir yöntemdir. Bu çalışmada İETT hasanpaşa garajındaki değişik cins otobüslerin karbon dioksit emisyonlarının ve kullandıkları yakıtın maliyet analizleri yapılmıştır. Belli bir çevrim üstünde özellikleri aynı olan bir otobüsün, doğalgaz motoru ve diesel tahrikli bir motor ile ayrı ayrı aynı şartlarda kullanılması durumunda matlab programında yakıt tüketimleri hesaplanmış, daha sonra karbon dioksit emisyonları ve maliyet açısından incelenmişlerdir. Bu hesaplarda kullanılan matlab programının dosya adı yakıt tüketimi.m'dir. Hesaplamalar doğalgazı yakıt olarak kullanan otobüsün hem karbon dioksit emisyonları hemde yakıt maliyeti açısından daha avantajlı olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

THE EFFECTS OF NATURAL GAS USAGE ON CARBON DIOXIDE EMMISSIONS IN CITYBUSES TRANSPORTATION

SUMMARY

The long term increase in Earth's temperature is known as global warming or the greenhouse effect. The accelerating use of fossil fuels since the Industrial Revolution and the rapid destruction of forests have caused a significant increase in the greenhouse gases. In today's vehicle technology the amount of carbon dioxide which is held responsible for approximately 60% of the greenhouse gas effect, depends on the amount of the fuel consumption and the type of the fuel used. The carbon dioxide is much more effective on global warming according to the other greenhouse gases. For reduction of carbon dioxide emissions the usage of natural gas as a fuel is a well known method. In this study the carbon dioxide emissions and the cost of the fuel used in different types of citybuses which are still used in İETT Hasanpaşa garage, has been calculated. Also, the fuel consumption calculation of a citybus which uses a natural gas engine and a diesel engine separately in the same conditions and driving cycle, has been made by the help of matlab programme. The name of the file which is used in calculations is called 'yakittüketimi.m'. Then the carbon dioxide emissions and the cost of the fuel are calculated. According to the calculations, natural gas engine has big advantages on both carbon dioxide emissions and the cost over diesel engine.

1. GİRİŞ

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 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 pay almışlardır.

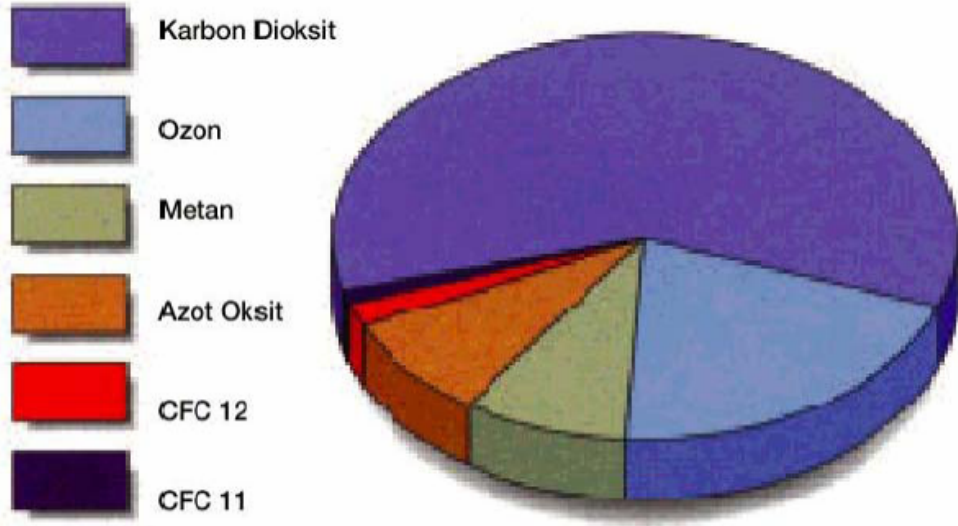
Türkiye’de ise toplam enerji tüketimi 1990 yılından 2003 yılına kadarki dönemde %58 oranında artmış bulunmaktadır. Petrol kökenli yakıt tüketimi bu dönemde 22,700 [bin-tep] değerinden, 30,669 [bin-tep] değerine artış göstermiştir. Sıvı yakıt tüketimindeki bu artış beraberinde karbon dioksit (CO_2) emisyonlarında ki artışıda getirmektedir.[1]

Dünya sıcaklığındaki artış, küresel ısınma veya sera etkisi olarak bilinmektedir. Fosil kökenli yakıtların sanayi devriminden sonra kullanımının iyice artması ve ormanların hızlı bir şekilde yok edilmesi atmosferde bulunan sera gazlarının artmasına neden olmuşlardır. Sera gazları karbon dioksit (CO_2), su buharı, metan (CH_4), ozon (O_3), diazotmonoksit (N_2O) gibi gazlardır. Küresel ısınmayla ve onun etkileriyle uğraşmak son zamanlarda araştırmacılar arasında önemli bir konu haline gelmiştir. Küresel ısınmayı önlemek amaçlı uluslararası çalışmalarda yapılmaktadır. Ülkelerin emisyon değerlerini belli bir zaman aralığında sınırlayan Kyoto protokolü bunlar arasında en önemlilerinden biridir. Bu yüzden ülkeleri ürettikleri sera gazı emisyonlarını sınırlaması önemli olmuştur.[2]

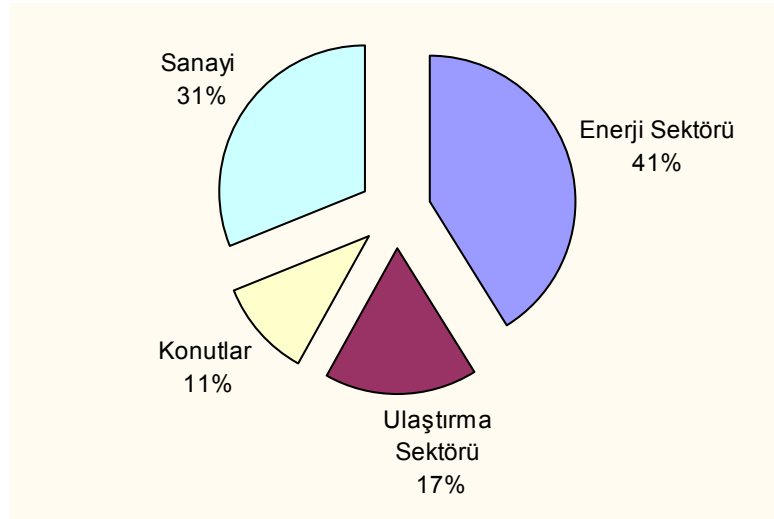
Günümüz taşıt teknolojisinde, yakıt tüketimine ve kullanılan yakıt özelliklerine bağlı olarak üretim miktarı değişim gösteren, sera gazları arasında yer alan karbon dioksit emisyonlarının azaltılması yönündeki çabalar küresel ısınma sorunu ile öne

çıkılmıştır. Karbon dioksit, %60 oranında sera etkisinden sorumlu olan gazdır ve diğer gazlardan çok daha fazla etkilidir. [1]

Sera gazlarının küresel ısınmadaki payları



Şekil 1.1: Sera gazlarının küresel ısınmadaki payları



Şekil1.2: Türkiye’de CO₂ emisyonlarının sektörlere göre dağılımı (2000)

Fosil kökenli konvansiyel yakıtların giderek alarm verici seviye tükenmektedir. Üstelik bu yakıtların kullanılması çıkardıkları hem zehirli gazlar hem de sera etkisi olan gazlar nedeniyle dünyadaki yaşamı tehdit etmektedirler. Bu yüzden içten yanmalı motorlar için alternatif yakıtların kullanılması daha da önem kazanmaktadır.

Alternatif yakıtlar sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), metanol, etanol, biogaz ve bitkisel yakıtlardır.[3]

Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüsler için sıkıştırılmış doğalgaz en potansiyelli alternatif yakıt olarak görülmektedir. Doğalgazın şehir içi toplu taşımacılıkta kullanımı Arjantin, Brezilya, Hindistan, İran ve Pakistan gibi ülkelerde oldukça yaygındır. Avrupada ise, avrupa komisyonunu aldığı kararlara göre 2020 yılına kadar konvansiyonel yakıtların yerine %20 oranında alternatif yakıt kullanılması ön görülmüştür. Doğal gazın %10 oranında bir potansiyele sahip olduğu ise aşıkardır. Avrupa birliği içinde Almanya en hızlı doğalgaz yakıt istasyonu kuran ve doğalgazlı taşıtlar kullanan ülkedir. [4]

Ağır hizmet taşıtlarının ve şehir içi otobüslerinin egzoz emsiyonuna getirilen sınırlamaları karşılamak için ve küresel ısınmaya sebep olan en önemli sera gazı karbon dioksit emisyonunu azaltmak için yakıt olarak doğal gaz kullanılması kendisini kabul ettiren bir yöntemdir. Doğalgaz çeşitli gazların bileşiminden meydana gelmiştir. Ana yapıyı oluşturan metan toplam hacmin %85-99'unu oluşturur. Geri kalan kısım diğer hidrokarbonlar, karbondioksit, azot helium gibi asalgazlar; hidrojen sülfid ve su taneciklerinden meydana gelmiştir. Tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan vurutuya dayanıklıdır. Saf metanın oktan sayısı 130'dur. Yüksek oktan sayısı sayesinde 15:1'lik sıkıştırma oranlarına kadar kullanılabilir. Normal koşullarda gaz halinde bulunduğundan hava ile her oranda kolayca karışır. Benzine oranla daha fakir karışımlarla kullanılabilir. Hem motorin hemde benzine göre karbondioksit emisyonları daha azdır.[5]

2. SERA GAZLARI, KÜRESEL ISINMA, KÜRESEL ISINMANIN ETKİLERİ VE TÜRKİYE’NİN DURUMU

2.1 Küresel Isınma

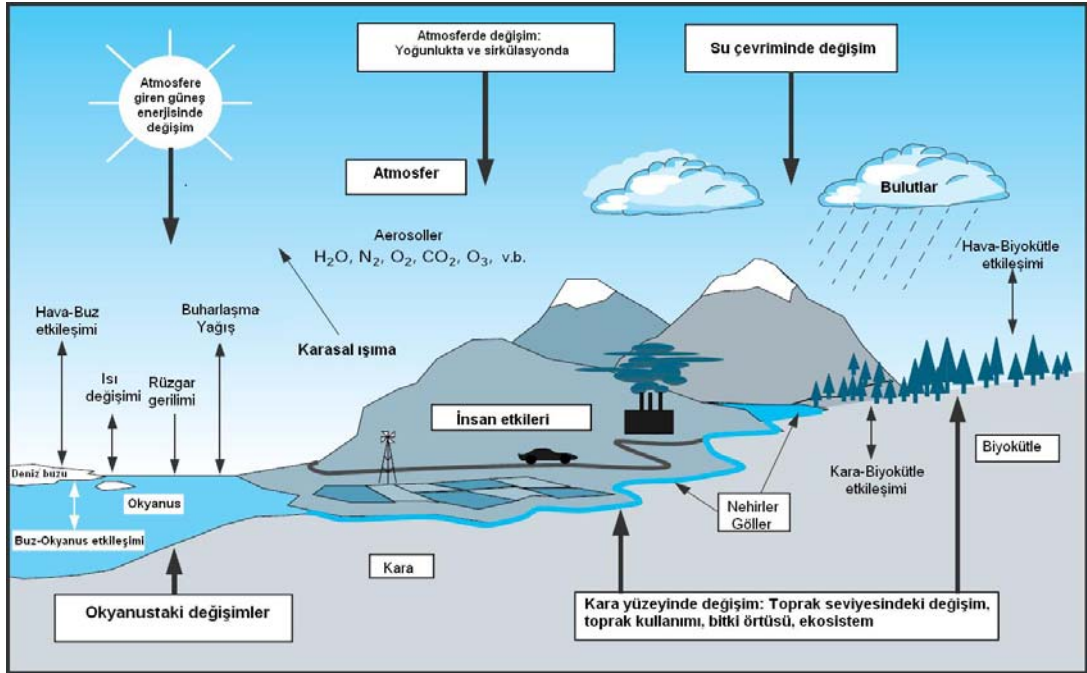
İklim, uzun bir zaman periyodu içinde her gün gerçekleşen hava olaylarının toplamını ve ortalamasını temsil eder. Hava durumu kısa bir zaman periyodundaki atmosfer koşullarıdır. İklimi etkileyen hava olayları genellikle sıcaklık, yağış, rüzgar gibi değişkenlerdir.

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 2.1 iklim sisteminin çeşitli elemanlarının ve değişebilecek olan eleman özelliklerinin şematik resmini göstermektedir. [6]

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

Bilimadamlarının yaptıkları çalışmalar sonucunda, dünyanın yüzey sıcaklığı geçtiğimiz yüzyılda 0,4°C civarında bir artış gösterdiği saptanmıştır. Son 20 yıllık süreçte ise bu ısınmanın hızında artış görülmüştür. Son 50 yılda meydana gelen ısınmanın büyük kısmının insan faaliyetleri sonucunda oluştuğuna dair yeni ve güçlü kanıtlar bulunmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucunda, atmosferdeki kimyasal yapı, sera gazları üretecek şekilde değişime uğramakta; özellikle karbondioksit, metan ve nitritoksit üretimine yol açmaktadır. Dünya ikliminin bu gazlara nasıl tepki verdiği

konusunda belirsizlikler bulunmasına rağmen, bu gazların ısı tutma özellikleri bilinmektedir.



Şekil 2.1 Küresel İklim Sisteminin Elemanları [3]

Bilimadamlarının yaptıkları çalışmalar sonucunda, dünyanın yüzey sıcaklığı geçtiğimiz yüzyılda 0,4 °C civarında bir artış gösterdiği saptanmıştır. Son 20 yıllık süreçte ise bu ısınmanın hızında artış görülmüştür. Son 50 yılda meydana gelen ısınmanın büyük kısmının insan faaliyetleri sonucunda oluştuğuna dair yeni ve güçlü kanıtlar bulunmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucunda, atmosferdeki kimyasal yapı, sera gazları üretecek şekilde değişime uğramakta; özellikle karbondioksit, metan ve nitritoksit üretimine yol açmaktadır. Dünya ikliminin bu gazlara nasıl tepki verdiği konusunda belirsizlikler bulunmasına rağmen, bu gazların ısı tutma özellikleri bilinmektedir.

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

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

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

Son birkaç yüzyılda değişen ise insan faaliyetleri sonucunda oluşan CO₂ miktarının artmasıdır. Örneğin ABD’de fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan gazlar, toplam ABD CO₂ emisyonunun %98’i, metan emisyonunun %24’ü, NO_x emisyonunsa %18’ini oluşturmaktadır.

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

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

Sera gazı yoğunluğunun artışı, iklim değişimini de hızlandırmış gibi görünmektedir. Bilimadamları küresel yüzey sıcaklıklarının önümüzdeki 50 yıllık dönemde 0,6-2,5°C, 100 yıllık dönemde ise 1,4-5,8°C artacağını ve bunların bölgesel olarak büyük dalgalanmalar göstereceğini belirtmektedirler. İklimin ısınması sonucunda buharlaşma artacaktır, bunun sonucunda da ortalama küresel yağış miktarı artacaktır. Toprak nemi çoğu bölgede azalma eğilimi gösterirken, güçlü sağanak yağışlar da daha sık yaşanacaktır. Deniz seviyesinde de yükselme meydana gelecektir. [7]

İnsan faaliyetleri birkaç yoldan iklimi değiştirebilir;

1. Fosil yakıtları, yani petrol ve kömürü yakıp atmosferin karbondioksit konsantrasyonunu artırarak.
2. Fabrikalardan, otomobillerden, soba ve ocaklardan toz, sülfat ve sıvı parçacıkları halinde taneli maddeleri enjekte etmek suretiyle atmosferin ışık geçirgenliğini, yani şeffaflığını azaltarak.
3. Çarptığı yüzeylerden dışarıya yansıyan radyasyonun gelen güneş radyasyonuna nisbeti olan albedo değerini, sulama, şehirleşme, orman tahribi ve zirai faaliyet yoluyla bütün yeryüzünde değiştirerek.
4. Fosil yakıtlar ve nükleer enerji kullanmak suretiyle atmosferi doğrudan ısıtarak.
5. Tankerlerden ve denizaltı petrol kıyılarından sızan petrolün deniz üstünde bir tabaka teşkil etmesi dolayısıyla denizler ile atmosfer arasında ısı alış veriş hızını değiştirerek.

İnsan faaliyetlerinin mahalli iklimler üzerinde etkili olduğuna ve ileride bölgesel iklimleri, hatta dünyanın genel iklimini tesir altına alabileceğine dair bazı işaretler bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen bu faktörler, insan faaliyetlerinin iklim değişikliğine etkilerinin örnekleridir. [8]

2.2 Sera Gazları

Sera gazlarının türleri, atmosferdeki artış oranları ve kaynakları aşağıda verilmektedir.

Karbon dioksit (CO₂) gazı:

CO₂ gazının atmosferdeki derişimi 1750 yılından günümüze kadar % 31 oranında artmıştır. Günümüzde atmosferdeki CO₂ miktarı son 420.000 yılda ve hatta son 20

milyon yılda hiç bu kadar yüksek bir düzeye erişmemiştir. Son 20 yıldır, atmosfere salınan insan kaynaklı CO₂ gazının yaklaşık dörtte üçü fosil yakıtların yanmasından, geri kalanı da arazi kullanımı değişikliği ve özellikle ormanların yok edilmesinden kaynaklanmıştır. Son yirmi yılda, atmosferdeki CO₂ gazının yıllık artışı % 0,4 olmuş, 1990'dan sonra ise yıllık artış % 0,2 ila 0,8 arasında değişmiştir.

Metan (CH₄):

Metanın atmosferdeki miktarı 1750 yılından beri % 151 oranında artmıştır ve hâlâ artmaya devam etmektedir. Son 420000 yıldır, atmosferdeki bugünkü metan derişimine erişilmemiştir. 1990'lı yıllarda metan gazı derişiminin yıllık artışında belirli bir yavaşlama gözlenmektedir. Metan gazı salımının yaklaşık yarısı, fosil yakıtların kullanımı, büyükbaş hayvan yetiştiriciliği, pirinç tarımı, atıkların gömülmesi gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Son zamanlarda, metan gazı artışına bağlı olarak karbon monoksit gazı salımı da tesbit edilmiştir.

Diazot monoksit (N₂O) gazı:

Diazot monoksitin atmosferdeki derişimi 1750 yılından beri % 17 oranında artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Şu anki diazot monoksit derişimine son bin yıldır hiç rastlanmamıştır. Diazot monoksit salımının yaklaşık üçte biri, tarıma açık topraklar, büyük baş hayvan yemleri ve kimya sanayi gibi insan faaliyetlerinden ileri gelmektedir.

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. Şu 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 kullanılacak gazlar vardır; bunlar 1930 larda 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. [9]

2.3 Yanma Sonucu Ortaya Çıkan Başlıca Kirleticiler

Yanma sonucunda aşağıda verilmiş olan başlıca kirleticiler ortaya çıkmaktadır.

- Karbonmonoksit (CO)
- Yanmamış Hidrokarbonlar(HC)
- Azot Oksitler (NO_x)
- Aldehitler (R.CHO)
- İs, Partiküller (Katı ve Sıvı parçacıklar)
- Kükürt dioksit (SO₂)
- Kurşun Bileşikleri (Pb)

2.3.1 Kirletici Maddelerin İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Karbonmonoksit (CO);

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Bu gazın kandaki oksijeni taşıma görevine sahip olan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla yaklaşık 200 kere daha fazladır. Bu nedenle CO ortamında bulunan bir kişinin solunum yoluyla

aldığı CO, kandaki normal hemoglobini bozar, vucut hücrelerinin oksijen alma olanağı engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olur. Yani CO solunması akciğerlerden vücut dokularına oksijen taşınmasını bozar. Belli bir düzeyde kalp yetmezliği olan kişilerde tehlike daha da büyümektedir. Kalp hastalığı olanlar için kritik sınır kandaki karbonsihemoglobin oranının %4'e ulaşmasıdır.

Yanmamış Hidrokarbonlar(HC);

Yanma sonucu bacalardan ve taşıtlarda yakıt deposu ve karbüratörden buharlaşma yolu ile veya motordan egzoz gazları ile birlikte atmosfere atılan yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlar genellikle kötü kokulu ve tahriş edici maddelerdir. Bu tür hidrokarbonlar arasında parafinler ve olefinler solunum yollarındaki mukozayı tahriş edici ve bayıltıcı etkileri bulunmaktadır. Aromatların ise kanser yapıcı özellikleri vardır. Hidrokarbonların kısmi oksidasyonları (kısmi yanma) sonucu oluşan aldehitler ise keskin kokuları nedeniyle göz ve burun için rahatsız edici etkiye sahiptirler.

Gaz halindeki hidrokarbonlar güneş ışığı altında azot oksitlerle birleşerek “fotokimyasal sis – smog” olarak adlandırılan bir sis tabakası oluştururlar. Bu tabaka gözlerin yanmasına ve sulanmasına, solunum sisteminin etkilenmesine neden olurken, aynı zamanda bitkiler için de zararlı olmaktadır.

Azot Oksitler (NO_x);

Azot oksitler (NO , NO_2 , N_2O_2 ve bunun gibi bileşiklerin tümü birden NO_x olarak tanımlanmaktadır.) CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ancak azot oksitlerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nem ile birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikim özelliği bulunduğu için özellikle solunum hastalıkları bulunan kişiler için tehlike yaratmaktadır.

Azot oksitler ayrıca kimyasal sis oluşumunu etkilemektedir. Atmosferde bulunan su ile birleşerek nitrik asit oluşumuna neden olurlar. Böylece atmosferde asit yağmuru olayına meydana getirirler ve bitki örtüsüne zarar verirler.

Azot oksitler içinde NO renksiz, kokusuz bir gazdır. NO_2 ise kırmızı kahverengi renkli, kötü kokulu, tahriş edici bir gazdır. Yanma ürünleri arasında genellikle NO bulunmasına rağmen, atmosfere atıldıktan sonra bir kısmı NO_2 'ye dönüşmektedir. NO gazının ayrıca felç yapıcı özellikleride bulunmaktadır.

Aldehitler (R.CHO);

Aldehitler hidrokarbonların kısmı oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerdir. Özellikle düşük sıcaklıklardaki reaksiyonlarda oluşurlar. Aldehitler genellikle formaldehit ve akrolein'den oluşurlar. Dizel egzozundaki kötü kokulu, gözleri ve solunum sistemini tahriş edici etkinin önemli kaynağı formaldehitlerdir.

İs, Partiküller (Katı ve Sıvı parçacıklar);

İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İs yanmamış karbon partikülleridir ve özellikle dizel motorlarında oluşmaktadır. İs, zararlı bileşenleri bünyesinde taşıyarak ve solunum sisteminde karbonhidrojen zincirinden oluşmakta olup bünyelerinde yanmamış hidrokarbonları, oksitlenmemiş hidrokarbonları, polinükleer aromatikleri ve kükürt dioksit, azot oksit ve sülfirik asit gibi inorganik bileşenleri bulunmaktadır.

Kükürt dioksit (SO₂);

Renksiz ve sert kokulu bir gaz olan SO₂ solunum yolları, akciğer ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır. Ayrıca su buharı ile birleşerek oluşturduğu sülfirik asidin insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Kurşun Bileşikleri (Pb);

Benzine, yakıtın oktan sayısını arttırmak amacıyla eklenen kurşun tetraetil gibi katkı maddeleri, yanma ürünleri arasında kurşun bileşiklerinin de bulunmasına neden olmaktadır. Bu bileşikler gerek doğrudan gerekse bitkiler üzerinde birikerek buradan doğrudan (yol kenarlarında yetişen bitkisel besinler) veya dolaylı (yol kenarlarında otlayan hayvanların eti ve sütü) olarak tüketilen besinler yolu ile insan vücuduna geçmektedir. Kurşun, zamanla birikerek vücudu etkileyen çok kuvvetli zehirli bir maddedir. Metabolizma ve beyin üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur. [5]

2.4 Küresel Isınmanın Etkileri

Küresel ısınmanın etkilerini ekolojik sistemlere ve sosyo ekonomik ve politik etkileri olarak sıralayabiliriz.

2.4.1 Ekolojik Sistemlere Etkileri

2100 Yılına Dair Felaket Senaryosu:

Sıcaklık artışının yukarı enlemlerde ve kutup bölgelerinde, dünya ortalamasına oranla 2 katı kadar artması beklenmektedir. Felaketler zincirinin;

- Buzulların erimesi;
- Deniz suyu seviyesinin 60 cm kadar yükselmesi;
- Taşkınlar, kıyı kesimlerde toprak kaybı;
- Temiz su kaynaklarının denize karışması ve su sorunu;
- Yüksek sıcaklık artışıyla görülen aşırı buharlaşma ve kuraklık sonucu yangınlar, göl ve ırmak sularında %20'lik azalma;
- Bu değişikliklere dayanamayan bitki ve hayvan türlerinin yok olması ya da azalması;
- Bazı bölgelerde aşırı ısınma nedeniyle virüs türlerinde değişiklik olması ve salgın hastalıkların gelişmesi;
- Oluşacak göç dalgasıyla, yerel ve global ölçekte taşıma kapasitesinin aşılması ve bunun sonucunda sorunların yaygınlaşması şeklinde seyredeceği ileri sürülmektedir.

Doğal peyzaj dokusu:

Doğal peyzaj dokusu; kır ekosistemini içerir ve doğal ekosistem içinde birçok hayvan, mikroorganizma ve bitki barındırır. Çeşitliliğin çok olduğu doğal ekosistemlerin iklim değişikliğine uyumu müdahale edilmiş (çiftlik, planlanmış orman vb.) ekosistemlere oranla daha zordur. Örneğin; iklim kaymaları, bazı kuş türlerinin yaşama ortamlarını değiştirmelerine neden olmakta ve bu göçler, uygun ortam bulana dek ,yaşamlarını olumsuz etkilemektedir.

Doğal peyzajın adaptasyonu için; yok olma tehlikesi altındaki türlerin yer değiştirmesi, koridorlara doğru itilmesi ve anahtar ekosistemdeki türlerin arasına girerek yoğunluğunun beslenmesi gerekmektedir. Öte yandan, taşıma kapasitesi kavramı yapılacak planlamalarda çözümler gerektiren bir başka sorundur.

Deniz ve sahil çevresi:

Sulak alan ve bataklıklar, ekolojik değerlerinden dolayı insanların sürekli müdahalesi ve bunun doğal sonucu oluşan kirlilik nedeniyle; yoğun bir baskı altındadır. Kendi ellerimizle tahrip ettiğimiz, sera gazlarına boğduğumuz yaşam alanlarımız, küresel ısınmanın etkilerine kendini bırakmış beklemektedir. Deniz

suyu seviyesinin yükselmesi ile oluşacak taşkınlar, seller sulak alanların ve sahil çevrelerinin beklediği sorunların başındadır.

Orman ve bitki yönetimi:

Ağaç ve bitki türleri küresel ısınmayla gelen değişik koşullara hemen adapte olamazlar. Örneğin; ortaçağ ormanları, iklim değişikliği nedeniyle ciddi risk altındadır. Genç ormanlar yerine yenileri konulabildiği halde, yaşlı ormanların kendilerini yenilemesi veya yaşlı orman varlığının korunması kolay değildir. Küresel ısınmayla gelen sel, kuraklık gibi felaketler bitki varlığını da tehlikeye atacaktır, bir çok bitki türü yok olacaktır.

2.4.2 Sosyoekonomik ve Politik Boyutu

- Su sorunu
- Tarım ve orman ürünlerinde önemli azalış.
- Su kaynaklarının azalması sonucu enerji sıkıntısı.
- Turizm ve rekreasyon imkanları
- Turizm ve rekreasyon alanlarının sorunlu bölgeler haline gelmesi, bir çok sektörün kapanması olasılığı
- Sorunlara karşı mücadeleci yaklaşım zorluğu
- Yerleşimler ve sahil kenarındaki yapılardan kaçmak yerine kent yeniden planlanmalıdır ya da bina kodlarında değişikliğe gidilmelidir.
- İnsan Sağlığı
- Bazı bölgelerde aşırı ısınma nedeniyle virüs türlerinin mutasyona uğraması
- Su kaynaklarının kullanılamaz, onarılamaz hale gelmesi ve kirlenmesi
- Taşkın, sel vb. gibi olaylar sonucu hastalık oluşturan canlıların taşınması
- Besin maddelerindeki azalış
- Oluşabilecek ekonomik kriz vb. sonucu, kendini çaresiz hisseden bireyde gelişecek psikolojik sorunlar küresel ısınmanın insanlığa tehditleridir.
- Göç, az gelişmiş ülkelerden gelişmiş ülkelere doğru bir göç dalgasının başlaması beklenmektedir.

Politik Sorunlar

- Az gelişmiş ülkelerin hükümetlerinin politikasızlıkları (ekonomik, siyasal) ve güçsüz alt yapılarıyla halklarını küresel ısınmanın olumsuz etkilerine karşı koruyamamaları, bunun sonucunda ülkelerde krizlerin baş göstermesi

- Ülkeler içindeki bu iç sorunlardan yararlanmak isteyen süper güçlerin rant planları geliştirmeleri beklenmektedir.[10]

2.4.3 İklim Değişikliğinin Türkiye Üzerindeki Olası Etkileri

Türkiye, iklim değişikliğinin, özellikle su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık, erozyon, çölleşme ve bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi öngörülen olumsuz yönlerinden etkilenebilecektir.

İklim modellerinin çoğunda, genel olarak Akdeniz Havzası'na ya da Türkiye ve bölgesine ilişkin sıcaklık öngörülleri, kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlemlerine göre daha düşüktür. Başka sözlerle, en büyük ısınma yüksek enlemlerde bulunan alanlarda beklenmektedir. Değerlendirme Raporu'nda da kullanılan çeşitli iklim modellerine göre Türkiye üzerindeki yıllık ortalama sıcaklıkların 2050 yılına kadar, yalnız sera gazlarındaki artışları dikkate alındığında, 1-3 °C arasında; sera gazlarında ki ve sülfat parçacıklarındaki değişimler birlikte dikkate alındığında ise 1-2 °C arasında bir artış olacağı öngörülmektedir.

Başka model sonuçlarından yararlanarak da, insan kaynaklı iklim değişikliğinin ya da küresel ısınmanın Türkiye üzerindeki etkileri değerlendirilebilir. Burada bir örnek olarak, insan kaynaklı iklim değişikliğinin, Türkiye'nin sıcaklık ve yağış koşulları, bitki biyokütlesi, su kaynakları ve besin temini üzerindeki etkileri, United Kingdom Meteorological Office Hadley Centre İkinci İklim Modeli'nin sonuçlarına göre bölgesel olarak değerlendirilmiştir. Hadley Centre modeli, atmosferdeki CO₂ birikimlerini 750 ppm ve 550 ppm düzeylerinde durduran CO₂ salımları senaryolarını temel almaktadır. Ayrıca, sözü edilen bu çalışmada CO₂ ve öteki sera gazlarındaki artışlar için herhangi bir önlemin alınmadığını kabul eden salımların kontrol edilmediği (azaltılmadığı) senaryoya dayalı model sonuçları, durdurma senaryolarının kullanıldığı model sonuçlarıyla bir karşılaştırma yapılabilir diye birlikte ele alınmıştır. Bu yeni model sonuçlarından yararlanarak, 2080'li yıllara kadar Türkiye için yapılan değerlendirme aşağıda verilmiştir:

Sıcaklık değişiklikleri;

- Atmosferdeki CO₂ gazı birikimini (insan etkinlikleri sonucunda atmosfere verilen salımlarla ilişkili fazla birikimler) azaltmak için hiç önlemin alınmadığını kabul eden senaryoya göre, 2080'li yıllara kadar Türkiye üzerindeki yıllık ortalama sıcaklıklarda (1961-1990 normaliyi karşılaştırıldığında) yaklaşık 3-4 °C artış;

- CO₂ birikimlerini 750 ppm’de durdurmayı öngören senaryoya göre, yıllık ortalama sıcaklıklarda yaklaşık 2-3 °C artış;
- CO₂ birikimlerini 550 ppm’de durdurmayı öngören senaryoya göre, yıllık ortalama sıcaklıklarda yaklaşık 1-2 °C artış.

Yağış değişiklikleri;

- Salımların kontrol edilmediği senaryoya göre, 2080’li yıllara kadar Türkiye üzerindeki yıllık ortalama yağışlarda yaklaşık 0 ile –1 mm/gün değişiklik (azalma);
- CO₂ birikimlerini 750 ve 550 ppm’de durdurmayı öngören her iki senaryoya göre, 2080’li yıllara kadar Türkiye üzerindeki yıllık ortalama yağışlarda yaklaşık 0 ile – 0.5 mm/gün değişiklik (azalma).

Vejetasyon biyokütle değişiklikleri;

- Salımların kontrol edilmediği senaryo ile CO₂ birikimlerini 750 ve 550 ppm’de durdurma senaryolarına göre, Türkiye üzerindeki vejetasyon biyokütlesinde (kgC/m²) 2080’li yıllara kadar iklim değişikliği nedeniyle önemli bir değişiklik öngörülmemiştir.

Önemli akarsu havzalarındaki akım değişiklikleri;

- Salımların kontrol edilmediği senaryo altında, Türkiye akarsularının yıllık akımlarında yaklaşık % 20-50 azalma;
- CO₂ birikimlerini 750 ppm’de durduran senaryo altında, Türkiye akarsularının yıllık akımlarında yaklaşık % 5-25 azalma;
- CO₂ birikimlerini 550 ppm’de durduran senaryo altında, Türkiye akarsularının yıllık akımlarında yaklaşık % 0-15 azalma.

İklim değişikliği nedeniyle Türkiye’de su stresi

- Salımların kontrol edilmediği senaryo ile CO₂ birikimlerini 750 ve 550 ppm’de durduran sera gazı salımları senaryolarına göre, Türkiye ve Orta Doğu bölgesi, dünyanın su stresinde artış beklenen stresli ya da su sıkıntısı çeken alanları arasında değerlendirilmiştir.

Tarımsal ürün üretimindeki değişiklikler;

- Salımların kontrol edilmediği senaryoya göre, 2080’li yıllara kadar Türkiye’nin tarımsal ürün üretiminde yaklaşık % 0 ile –2.5 arasında bir azalma;

- CO₂ birikimlerini 750 ve 550 ppm’de durdurmaya sağlayan salım senaryolarına göre, 2080’li yıllara kadar Türkiye’nin tarımsal ürün üretiminde yaklaşık % 0-2.5 arasında bir artış.

Yukarıda özetlenen beklenen etkilerin yanı sıra, Türkiye’de ısı dalgalarında gözlenen artış nedeniyle ortaya çıkan ölümlerde ve vektör dağılımına bağlı olarak bazı bulaşıcı hastalıklarda artma beklenmektedir. Sıtma, Türkiye’de büyük lde kontrol altına alınmasına karşın, bazı bölgelerde endemik olarak görülmektedir. Hava sıcaklıklarının artmasına bağlı olarak, sivrisinek yaşama alanlarının genişlemesi nedeniyle etkilenen nüfusun daha da artacağı beklenmektedir. Ülkede yaşanan doğal afetler (fırtınalar, şiddetli yağışlar, seller, taşkınlar, vb.), su ile bulaşan hastalıklarda ve vektör üremesine uygun ortamların oluşması ile leptospro gibi bulaşıcı hastalıklarda artışa yol açmıştır. Artan evresel afetler sonucunda çevresel göçmenlerin artması, su ve besin kaynaklarının azalmasıyla ilişkili beslenme bozuklukları ve su kaynaklı hastalıkların artması, gelecekte Türkiye için önemli halk sağlığı sorunlarından olacaktır.

Türkiye, İklim değişikliğinin olumsuz ya da tehlikeli etkileri açısından, risk gurubu ülkeler arasındadır ve büyük bir olasılıkla “kaybedenler” arasında yer alacaktır. Bu yüzden “Küresel ısınma önlenemez ve bugünkü hızıyla sürerse, gelecekte Türkiye’yi hangi koşullar beklemektedir?” gibi bir sorunun yanıtının mutlaka verilmesi gerekmektedir. Bu sorunun doğru yanıtı ise, model çalışmalarına dayanan küresel ve bölgesel iklim değişikliği ngrleri ile Türkiye’de iklim değişikliği ve değişebilirliği, kuraklık ve lleşme konularında yapılan bilimsel araştırmaların ışığı altında verilmelidir. [11]

2.5 İklim Değişikliği ereve Sözleşmesi

Küresel sorunların çözümü küresel işbirliğini gerektirmektedir. Küresel ısınmanın muhtemel sonuçlarının giderek evre alanındaki en temel sorunu oluşturmaya başlaması karşısında, 1992 yılında Rio evre ve Kalkınma Konferansı’nda kabul edilen ve 50 ülkenin onaylamasını müteakip 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren “İklim Değişikliği ereve Sözleşmesi” (İDÇS) teşkil edilmiştir. Sözleşmenin amacı, atmosferde tehlikeli bir boyuta varan insan kaynaklı sera gazı emisyonu konsantrasyonunun iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisini önlemek ve belli bir düzeyde tutulmasını sağlamaktır. Sözleşme iki ek liste içermektedir.

Ek-II: 1992 yılında OECD'ye üye 24 ülke (Almanya, ABD, Fransa, İsviçre, Norveç, Avustralya, Hollanda, İtalya, Portekiz, Avusturya, İngiltere, İzlanda, Türkiye, Belçika, İrlanda, Japonya, Yeni Zelanda, Danimarka, İspanya, Kanada ve Yunanistan) ile Avrupa Birliği'nden oluşan, gelişmekte olan ülkelere teknoloji transferi ve finansman açıdan yardım yapmakla yükümlü ülkeler listesi,

Ek-I: Emisyon kaynaklarını sınırlandırarak, emisyon emen alanları arttırarak, 2000 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesine indirmeyi hedefleyen, EK-II ülkeleri ve pazar ekonomisine geçiş sürecindeki ülkeler (Sözleşmede ekonomileri geçiş sürecinde olan ülkelere sera gazı emisyonlarında farklı baz yıl seçme ayrıcalığı tanınmıştır. Bu ülkeler: Rusya Federasyonu, Hırvatistan, Slovakya, Litvanya, Ukrayna, Macaristan, Letonya, Polonya, Slovenya, Romanya, Bulgaristan, Belarus, Çek Cumhuriyeti, Estonya) listesi

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.

2.6 Kyoto Protokolü

Gelişmiş ülkelerin 2000 yılındaki sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyesinde tutmak için İDÇS'nin yetersiz olduğu kabul edilerek, yükümlülüklerin daha sıkı hale getirilmesi ve yasal bağlayıcı bir belge olması amacıyla hazırlanan Kyoto Protokolü 16 Mart 1998 ile 15 Mart 1999 tarihleri arasında imzaya açık kalmıştır. Protokole göre; Ek-I listesinde yer alan ülkeler, 2008-2012 birinci taahhüt dönemi sonunda toplam sera gazı emisyonlarını ortalama olarak 1990 yılı seviyesinin en az %5.2 altına indirme yükümlülüğünü kabul etmişlerdir.

Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe girmesi iki şarta bağlanmıştır. Birincisi, protokolün 55 ülke tarafından onaylanması, ikincisi ise 1990 yılında hesaplanan toplam CO₂ emisyon miktarının en az %55'inden sorumlu Ek-I ülkelerinin 55 ülke içinde yer alması gerekmektedir. Yüzde 36.1 paya sahip olan Amerika Birleşik Devletleri Protokolü onaylamayacağını açıklaması üzerine gözler %17'lik bir paya sahip olan Rusya Federasyonu üzerine çevrilmiştir. Nitekim, Rusya Federasyonu 18 Kasım

2004 tarihinde onay belgesini Depozitere sunmasını müteakip 16 Şubat 2005 tarihinde Protokol yürürlüğe girmiştir. Bugüne kadar Protokol 141 ülke ile Avrupa Birliği tarafından onaylanarak kabul edilmiştir.

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

- ABD %7 indirim,
- Japonya, Kanada, Polonya ve Macaristan %6 indirim,
- Hırvatistan %5 indirim,
- Rusya Federasyonu, Yeni Zelanda ve Ukrayna %0,
- Norveç %1 artış,
- Avustralya %8 artış,
- İzlanda %10 artış,
- Avrupa Birliği, Diğerleri %8 indirim

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

İklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının nereden ve nasıl meydana geldiğinin küresel etkiler açısından hiçbir önemi bulunmamaktadır. Zira, emisyon kaynaklarına ilişkin alınacak tedbirlerin mekansal bir önemi yoktur. Nihai hedef, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyon indiriminin en az maliyetle gerçekleştirilmesidir. Sera gazı emisyonlarının birim azaltım maliyeti ülkelere göre farklılık göstermektedir. Maliyetinin düşük olduğu ülkelerde indirim gidilmesi daha

ekonomik olacaktır. Esneklik mekanizmaları ile Ek-I ülkelerinin bu ucuz maliyetten yararlanmaları söz konusu olacaktır. Protokolde tanımlanan esneklik mekanizmaları ise şunlardır:[12]

a) Emisyon Ticareti (Emission Trading–ET): 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, seragazı emisyonunu belirlenen hedeften daha da fazla miktarda azaltan bir Ek I ülkesi, gerçekleştirmiş olduğu sözkonusu bu ek indirimi, başka bir taraf ülkeye satabilmektedir. Son yıllarda ülkelerin CO₂ salımlarına 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.

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.[13]

b) Ortak Uygulama (Joint Implementation - JI): Protokolün 6. Maddesi ile düzenlenen bu mekanizma Ek-I ülkeleri arasında gerekli şartların sağlanması koşuluyla, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılmasını veya sera gazlarının yutaklar yoluyla uzaklaştırılmasını amaçlayan projelerden elde edilen “Emisyon Azaltma Kredisi” (Emission Reduction Unit) kazanır ve kazanılan bu krediler toplam hedeften düşülür.

c) Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism -CDM): Ek-I ve Ek-I dışı ülkeler arasında uygulanacak olan bu mekanizma, Protokolün 12. Maddesi ile düzenlenmiştir. Bu mekanizma ile Ek-I Dışı ülkelerin sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda sera gazı azaltımına katkı sağlamaları amaçlanmaktadır. Ek-I’de yer alan tarafların emisyon azaltım taahhüdünü gerçekleştirmek için Ek-I dışı ülkelerde yapacakları proje faaliyetleri sonucunda “Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltım Kredisi” (Certified Emission Reductions) elde edeceklerdir.

2.7 Türkiye'nin Durumu

İDÇS ve Kyoto Protokolü ile sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflenmekte ve yükümlülük getirilmekte, buna mukabil, Ülkemizin emisyonlarında 1990 yılına göre artış görülmekte ve yapılan arz-talep projeksiyonlarında artışın devam edeceği görülmektedir.

Kişi başına düşen CO₂ emisyonu açısından 1990 yılı itibari ile Ek-1 ülkeleri içerisinde en düşük değere sahip ülkemizden sonraki ülke Portekiz olup, Sözleşme ve protokole taraf olduğu halde ekonomik gelişme ve gelir seviyesindeki artış ile birlikte sera gazı emisyonları da artmaya devam etmiştir. Türkiye, OECD üyesi olması sebebiyle başlangıçta sözleşmenin Ek-I ve Ek-II listesinde gelişmiş ülkeler arasında değerlendirilmiştir. Ancak, gelişmiş ülkeler ile karşılaştırma yapıldığında, Türkiye enerji üretimi ve tüketimi bakımından diğer OECD ülkelerinin gerisinde olduğu görülmektedir. Ayrıca sosyo-ekonomik kalkınma düzeyi diğer Ek-II ülkelerinden daha düşüktür. Bu nedenle sözleşmeden doğan yükümlülükleri yerine getirirken bu hususların da gözönünde bulundurulması gerekçesi ile 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 sürdürmüştür.

Tablo 2.1: Birincil enerji kaynaklı kişi başına düşen CO₂ miktarı (ton CO₂/kişi)

Yıllar	Türkiye (OECD)	Kore (OECD)	Portekiz (OECD)	EK-I Ort.	Ek-II Ort.	OECD Ort.	PERU Ort.	Dünya Ort.
1990	2.29	5.28	4.00	11.54	12.21	10.57	11.48	3.95
2000	3.02	9.10	5.83	11.12	12.86	11.04	8.14	3.88
2002	2.77	9.48	6.07	11.09	12.80	10.96	8.19	3.89

Fas Marakeşte 2001 yılında gerçekleştirilen 7.Taraflar Konferansında alınan karar ile Türkiye 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 İDÇS kapsamında ve sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda bir

yandan kalkınma hedeflerini gerçekleştirirken, diğer yandan iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak yürütülen küresel ortak eylemde yerini almak için 24 Mayıs 2004 tarihi itibarıyla 189. taraf olarak Sözleşmeye katılmıştır. Bu katılım, çevre yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının diğer sektörel kalkınma uygulamalarına entegrasyonunu güçlendirecek, ayrıca, hem küresel çevrenin korunması alanındaki uluslar arası çabalara etkin bir şekilde katılmasına hem de Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde halen yürütülmekte olan çalışmalara katkı sağlayacaktır. [12]

2.7.1 Türkiye'nin Sera Gazı Salımları

Türkiye'nin sera gazı salımı hesaplamaları, ulusal iklim değişikliği çalışmaları ve etkinlikleri kapsamında, Devlet İstatistik Enstitüsü'nce (DİE) yapılmaktadır. 1990-2000 tüketim değerleri ve 2000-2020 dönemi projeksiyon değerleri, yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazlarının tutarlarında, bugüne kadar olduğu gibi gelecekte de çok hızlı bir artışın olacağını göstermektedir. Sera gazları içerisinde en büyük payı, CO₂ salımları almaktadır. Yakıt tüketimindeki artışa koşut olarak, CO₂ salımlarında da, gerçekleşen tüketim değerleri ve projeksiyonlar için hızlı bir artış eğiliminin varlığı dikkat çekicidir. Tüketim ve projeksiyon değerleri için yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı salımlarının sektörlere dağılımı karşılaştırıldığında, bazı sektörlerin payı artarken, bazılarının payında belirgin bir azalış olduğu görülmektedir. 2000 yılında CO₂ salımlarının % 34'ü çevrim, % 32'si sanayi, % 17'si ulaştırma ve % 16'sı öteki (konut, tarım ve ormancılık) sektörlerden kaynaklanırken, 2020 yılında % 41'inin çevrim, % 33'ünün sanayi, % 13'ünün ulaştırma ve % 13'ünün öteki sektörlerden kaynaklanacağı öngörülmektedir.

Türkiye, 1999 yılı temel CO₂ göstergeleri açısından, dünya ülkeleri arasında, toplam CO₂ salımında 23, kişi başına düşen CO₂ salımı açısından 75, CO₂ salımının gayri safi yurt içi hasılaya (GSYİH) oranında 60. ve satın alma gücü paritesi dahil GSYİH'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.

Tablo 2.2 : 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

2010 yılında birincil enerji isteminin yaklaşık % 70'ini dış alımla karşılayacak olan Türkiye, yapılan projeksiyonlara göre doğal gaz arzını ve taş kömürü dış alımını arttırmayı planlamaktadır. Enerji arzında bu boyutta bir artışa duyulan gereksinim göz önüne alındığında, Türkiye'nin CO₂ salımlarını 1990 yılı düzeyine ya da altına indirmesi doğal olarak olası görülmemektedir. [11]

2.8 1990-2020 Döneminde Dünya Enerji Tüketiminin ve Fosil Yakıt İlişkili CO₂ Salımlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, mevcut durumun sürdürülmesi halinde, enerji tüketimi ve karbondioksit salımlarının 2020'lerde ulaşacağı düzey incelenmiştir. Gerçekte bununla ilgili pek çok senaryo üretilmiş olmasına karşın, bu tip bir yaklaşımı diğerlerine göre daha gerçekçi kılan en önemli özellik, yakın gelecekte fosil yakıt bağımlılığına kalıcı bir çözüm bulunamayacağının anlaşıldığı günümüzde, Kyoto hedeflerinin tutturulması bir yana ülkeler ve bölgeler bazında bu hedeflerin aşılabileceğinin ortaya çıkmış olmasıdır. Dolayısıyla, mevcut enerji tüketimi ve karbondioksit salımı büyüme oranlarında hatırı sayılır bir değişiklik yaşanmayacağı varsayımından hareketle oluşturulan çizelgelerin, en azından 2020'ye kadar, enerji ve çevrenin geleceği hakkında çok daha gerçekçi öngörülerini yansıttığı düşünülmektedir.

Tablo 2.3'e göre, 1996-2020 döneminde, dünya toplam birincil enerji tüketimi, yıllık ortalama % 2,1'lik büyüme hızıyla yaklaşık 1,8 kat artacak ve 15,5 milyar ton petrol eşdeğerine (TPE) ulaşacaktır Aynı dönemde, gelişmiş ülkeler birincil enerji tüketiminin % 1,1'lik yıllık ortalama ile artacağı; buna karşılık gelişmekte olan ülkelere bu oranın % 3,6 gibi oldukça yüksek bir yıllık ortalama artışa ulaşacağı öngörülmektedir.

Tablo 2.3 1990-2020 döneminde dünya toplam birincil enerji tüketimi (milyon TPE)

	1990	1996	2000	2010	2020	Ort Artış Oranı 1996-2020 (%)
Gelişmiş ülkeler	4604 (53)	5103 (54)	5371 (53)	6058 (53)	6623 (53)	1,1
ABD	2115 (25)	2352 (25)	2500 (25)	2793 (22)	3021 (20)	1
Batı Avrupa	1511 (18)	1613 (17)	1704 (17)	1880 (15)	2053 (13)	1
Japonya	456 (5)	539 (6)	514 (5)	614 (5)	674 (4)	0,9
Gelişmekte olan ülkeler	2203 (25)	3039 (32)	3468 (34)	5110 (40)	7035 (46)	3,6
ÇHC	680 (8)	935 (10)	1098 (11)	1703 (14)	2478 (16)	4,1
Hindistan	195 (2)	291 (3)	355 (4)	523 (4)	710 (5)	3,8
Kore Cumhuriyeti	93 (1)	180 (2)	190 (2)	285 (2)	387 (3)	3,2
Türkiye	50 (<1)	67 (<1)	80 (<1)	106 (<1)	138 (<1)	3
Öteki ülkeler	1855 (22)	1319 (14)	1309 (13)	1538 (12)	1758 (11)	1,2
DÜNYA	8663 (100)	9461 (100)	10149 (100)	12705 (100)	15417 (100)	2,1

Tablolardaki parantez içindeki rakamlar % olarak enerji tüketimlerini göstermek üzere ülke gruplarının enerji tüketim artış hızları arasında ortaya çıkan bu farklılık nedeniyle, 2020’de gelişmekte olan ülkeler toplam enerji tüketimi açısından gelişmiş ülkeleri geçeceklerdir. 1990 yılında küresel enerji tüketiminden % 25 oranında pay alan gelişmekte olan ülkelerin, 2020 yılında % 46 ile toplamdan en fazla pay alan ülke grubu olmaları beklenmektedir. Kuşkusuz, bu süreçte, hızlı ekonomik büyüme ve endüstriyel gelişme, yüksek nüfus artışı ve şehirleşme, geleneksel ticari olmayan yakıtların modern ticari enerji kaynakları ile ikame edilmesi gibi çeşitli etmenlerin önemli katkısı olacaktır. Ancak, yine de, sadece toplam rakamlara bakarak ekonomik gelişmenin enerji boyutu hakkında kesin bir yargıya varmak sakıncalı olabilir.

Özellikle nüfus söz konusu edildiğinde, kişi başına enerji tüketimleri bakımından gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında süregelen mevcut farkın, 2020 yılında

da genel hatlarıyla korunacağı anlaşılmaktadır. Bugün, zengin ülkeler, yoksullara oranla kişi başına yaklaşık 7 kat daha fazla enerji tüketmektedir. 2020’de 8 Milyar civarında olması beklenen dünya nüfusunun yaklaşık % 85’inin gelişmekte olan ülkelerde yaşayacağı hatırlanırsa, ortalama bir hesaplama, zenginlerin, yoksullardan yine kişi başına 5,5 kattan fazla enerji tüketecekleri ortaya çıkmaktadır. Nüfus artışı, en önemli etmen olmaya devam edecektir. Bu resmi tamamlayan diğer bir farklılık ise, zenginlerin teknolojik gelişmenin yardımıyla enerji verimliliğinde ve enerji yoğunluğunda yakalamış oldukları üstünlüğü gelecekte de sürdürecektir. Gelişmekte olan ülkelerde enerji yoğunluğunun azaltılması ise, fazla enerji tüketen verimsiz teknolojilerden ve sanayilerden vazgeçme çabalarına bağlı olacaktır.

Tablo 2.3’e bir kez daha bakıldığında, 2020 yılı dünya enerji tüketiminde de yine ABD’nin birinciliği hiç bir ülkeye kaptırmayacağı, toplamdan aldığı % 25 dolayındaki payını ise yaklaşık 2010’lara kadar sürdüreceği ve 2020 yılında küresel tüketimin % 20’sinden sorumlu olacağı görülebilir. Gelişmekte olan ülkeler arasında ise en çok dikkat çeken ülke ÇHC’dir. ÇHC, 1996-2020 döneminde yıllık ortalama % 4,1 oranındaki tüketim artış hızıyla, 2020 yılı küresel enerji tüketiminden tek başına % 16 düzeyinde pay alacak ve ABD’nin ardından en çok enerji tüketen ikinci ülke unvanını kazanacaktır. Aynı dönemde, Türkiye’nin dünya toplamındaki payı ise ne yazık ki % 1’i geçmemektedir. Pazar ekonomisine geçiş sürecindeki ülkeler olarak da adlandırılan Eski SSCB ve Doğu Avrupa ülkelerinin enerji tüketimleri ise, ekonomik krizin etkisiyle gelişmiş ülkelerinkine yakın bir artış eğilimi izlemektedir. 1990’da dünya enerji tüketiminden % 22 oranında pay alan bu ülkelerde, piyasa ekonomisine geçişte karşı karşıya kaldıkları ağır bunalımın devam edeceği ve 2020 yılında küresel toplamdaki paylarının yarı yarıya azalacağı anlaşılmaktadır. Gerçekte, enerji tüketimindeki azalış, doğrudan salım tutarında bir düşmeye yol açacaktır.

Yukarıdaki küresel enerji verilerini önemli hale getiren esas konu, enerji tüketiminde gelecek 20 yıl içinde oluşması beklenen nicel ve nitel değişiklikler sonucunda, küresel ısınmadan ana sorumlu sera gazı olan salımlarının ulaşacağı boyuttur. Bu amaçla düzenlenen Tablo 2.4, yine bugünkü durumun sürdürüleceği varsayımından hareket ederek, enerji kaynaklı küresel CO₂ salımlarının 1996-2020 dönemindeki olası gelişimini ortaya koymaktadır.

Tablo 2.4: 1990-2020 döneminde dünya toplam enerji kaynaklı CO₂ salınımları (milyon ton carbon)

	1990	1996	2000	2010	2020	Ort Artış Oranı 1996-2020 (%)
Gelişmiş ülkeler	2850 (49)	2980 (50)	3157 (49)	3535 (44)	3907 (40)	1,1
ABD	1346 (23)	1463 (24)	1585 (25)	1790 (22)	1975 (20)	1,3
Batı Avrupa	936 (16)	904 (15)	947 (15)	1021 (13)	1114 (11)	0,9
Japonya	274 (5)	291 (5)	273 (4)	322 (4)	358 (4)	0,9
Gelişmekte olan ülkeler	1646 (29)	2161 (36)	2447 (38)	3547 (44)	4886 (50)	3,5
ÇHC	620 (11)	805 (13)	930 (14)	1391 (17)	2031 (21)	3,9
Hindistan	153 (3)	230 (4)	273 (4)	386 (5)	494 (5)	3,2
Kore Cumhuriyeti	61 (1)	113 (2)	112 (2)	168 (2)	230 (3)	3,0
Türkiye	35 (<1)	43 (<1)	46 (<1)	65 (<1)	81 (<1)	2,7
Öteki ülkeler	1290 (22)	842 (14)	827 (13)	935 (12)	1024 (10)	0,8
DÜNYA	5786 (100)	5983 (100)	6430 (100)	8018 (100)	9817 (100)	2,1

Her şeyden önce, 1996-2020 döneminde, yıllık ortalama artış hızları açısından, enerji tüketimi ve CO₂ salımlarının yaklaşık aynı oranda (% 2,1) değişme eğilimi gösterdiklerini vurgulamak gerekir. Bunun anlamı, mevcut enerji sistemlerinin fosil yakıtlara dayalı olması ve 2020'ye kadar da alternatif yakıt kullanan sistemlere geçilemeyecek olması nedeniyle, enerji tüketiminde meydana gelecek bir birim artışın, karbondioksit emisyonuna bir birim artış şeklinde yansıtılacak oluşudur. Küresel açıdan saptanan bu birebir ilişki, neredeyse tüm ülke grupları için geçerlidir. Eğer mevcut sermaye birikimi yenilenemez ve yeni teknolojilere uyum gösterilemezse, ki bu her biri 30-40 yıllık ekonomik-fiziki ömre sahip enerji sistemlerinin tümüyle değiştirilmesi demektir, enerji tüketimi ve CO₂ salımları, madalyonun iki yüzü olmayı sürdürecektir.

Dünya toplam CO₂ salımı, 1990'a göre 2010'da 1,4 ve 2020 yılında ise 1,7 kat artacaktır. 2020'de, 9,8 Milyar ton karbondioksit gazı atmosfere bırakılmış olacaktır.

Tablo 2.4, 1990 yılı küresel CO₂ salımının yaklaşık yarısından sorumlu olan gelişmiş ülkelerin, KP'nün yükümlülük döneminin (2008-2012) ortasında kalan 2010'da bile dünya toplamından % 44 oranında bir pay alacaklarını göstermektedir. 2010 yılının en önemli özelliklerinden biri ise, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin küresel salımlardaki paylarının eşitlenecek olmasıdır. Gerçekte, 1990 yılında dünya enerji kaynaklı toplam karbondioksit salımlarının % 70'ini gerçekleştiren ve KP ile çeşitli oranlarda salım azaltma yükümlülükleri alan gelişmiş ülkeler ve eski Sovyetler Birliği (SSCB)/Doğu Avrupa ülkeleri, 2010 yılında global toplamdaki paylarını azaltarak, % 56'ya çekeceklerdir.

Bu azalışın ana kaynağı, gelişmiş ülkeler değil, pazar ekonomisine geçiş sürecinin sıkıntılarıyla bağlantılı ekonomik gerilemenin etkisiyle enerji yatırımları ve tüketimleri azalan, artık eski teknoloji ürünü sanayilerin bir bölümünü kullanmayan eski Sovyetler Birliği/Doğu Avrupa ülkeleridir. Gerçekten de, bu ülkelerin, 1990'da % 22 olan küresel CO₂ salımlarındaki payları, 2010'da % 12'ye, 2020 yılında ise % 10'a düşecektir. Buna karşılık, 2020'de gelişmiş ülkelerin küresel toplamdan aldıkları pay % 40 düzeyinde kalacaktır. Bu durum, KP ile getirilmesi planlanan salınım ticareti benzeri çeşitli esneklik düzenekleri açısından, eski Sovyetler Birliği/Doğu Avrupa ülkelerini çok hassas bir konuma getirmektedir. Böylece, gelişmiş ülkeler, enerji ve genel tüketim kalıplarını değiştirmeksizin, bu tip ülkelere salım yapma hakkını satın almakla yetineceklerdir. Daha açık bir anlatımla, küresel ısınmayı önlemek için kendi ülkelerinde önemli bir önlem almaksızın ve tarihsel sorumluluklarını yerine getirmek için bir özveride bulunmaksızın, yalnız mali güçlerini (salım satın alma, teknolojik yatırım yapma, vb.) kullanarak ve kendi ülkelerinde yapacaklarından çok daha ucuza, Kyoto hedeflerini tutturmuş olacaklardır.

Tablo 2.4, 1996-2020 döneminde yıllık ortalama % 3,5 gibi dünya ve gelişmiş ülkeler ortalamasının üzerinde bir salım artış hızına sahip olacakları anlaşılan gelişmekte olan ülkelerin, CO₂ salım düzeyleri bakımından çok hassas bir konuma geleceklerine işaret etmektedir. 1990 yılı küresel salımlarından % 29 oranında pay alan bu ülkelerin, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara bağımlılıklarını artan oranda sürdürmeleri ve 2020 yılı CO₂ salım toplamının en az yarısından sorumlu olmaları beklenmektedir. Gelişmekte olan ülkeler grubunda yer alan ÇHC ve Hindistan'ın durumu ise özel bir değerlendirme yapmayı gerektirmektedir. Gerek genel enerji

tüketiminde gerekse elektrik üretiminde temel yakıt olarak kömür kullanan bu iki ülkenin, önümüzdeki 20 yıl için öngörülen salım artışları oldukça yüksektir. 1990'da dünya CO₂ salımlarının %14'ünden sorumlu olan bu iki ülke, kömür tüketimine bir çare bulunamaması durumunda, küresel toplamdan aldıkları payı 2010'da % 22'ye ve 2020'de ise % 26'ya çıkaracaklardır. Salım düzeyini yıllık ortalama % 4 civarında bir hızla arttırarak, 2020 yıl küresel CO₂ salımlarından % 21'ini tek başına gerçekleştirmesi beklenen ÇHC, enerji tüketiminde olduğu gibi, dünya CO₂ salım düzeyi açısından da, ABD'nin ardından ikinci sırayı alabilecektir. Bu noktada, Kyoto hedeflerini şüpheli kılacak bir başka eğilimden söz etmek gereklidir. Herhangi bir ciddi önlem alınmaması durumunda, 2010 yılında küresel salımlar % 5 dolayında azalmak bir yana, 1990 yılı düzeyinin yaklaşık %40 üzerine çıkacaktır. Kyoto Protokolü'nü inandırıcı olmaktan uzaklaştıran temel göstergelerden biri budur. Burada asıl ilginç olan, KP ile yükümlülük alan gelişmiş ülkelerin, 2010'daki salımlarıyla, 1990 düzeyinin en az % 25 üzerine çıkacak olmalarıdır. Buraya kadar çizilmeye çalışılan genel resmi tamamlamak için, fosil yakıtların CO₂ salımlarındaki paylarının da genel olarak incelenmesinde yarar vardır.

Bu amaçla hazırlanan Tablo2.5'teki verilerden, ilk bakışta kendini belli eden çok önemli bir sonuç çıkmaktadır: Önümüzdeki 20 yıllık dönemde, enerji ilişkili CO₂ salımlarından sorumlu ana yakıt kaynağı, gelişmiş ülkelerde petrol; gelişmekte olan ülkelerde kömür ve eski Sovyetler Birliği/Doğu Avrupa ülkelerinde ise doğal gazdır. Bu, gelişmiş batı ülkelerinin petrol şirketleri aracılığıyla petrol pazarı üzerinde kurduğu egemenliğin, gelişmekte olan ülkelerin çoğunun kömürden başka ulusal enerji kaynağına sahip olmamasının ve dünya ispatlanmış rezervlerinin % 33'üne karşılık gelmek üzere yaklaşık 50 trilyon m³ civarındaki doğal gaz rezervi ile dünyanın bir numarası olan Rusya Federasyonu'nun, eski sosyalist çevre ülkelerini doğal gaza bağımlı hale getirmesinin sonuçlarından biridir. Salımların yakıtlar arasındaki dağılımı, ülke gruplarının, enerji sistemlerini ağırlıklı olarak hangi enerji kaynağına dayandırdıklarını da göstermektedir. 1990-2020 döneminde, küresel toplam CO₂ salımlarında kaynak payları açısından petrol, kömür ve doğal gaz şeklinde oluşan sıralamanın değişmeyeceği anlaşılmaktadır. Dünya genelinde yaşanacak doğal gaza geçiş eğiliminin de bir göstergesi olarak, doğal gazın 1990'da % 17 olan payı, 2020'de % 25'e çıkacaktır. Ancak, hem petrol ve kömürden doğal gaza geçişin etkisi hem de bunun salımlar üzerinde yol açacağı etki sınırlı bir

düzeyde kalacaktır. 2020 yılında, petrol ve kömürün toplam salımlardaki payı, sırasıyla, % 39 ve % 36 düzeylerini koruyacaktır.

Tablo 2.5: 1990-2020 döneminde dünya enerji ilişkili CO₂ salınımlarında yakıt payları (%)

	1990			2010			2020		
	Petrol	Kömür	Gaz	Petrol	Kömür	Gaz	Petrol	Kömür	Gaz
Gelişmiş ülkeler	50	33	17	48	28	24	47	26	27
ABD	44	36	20	42	35	23	42	34	24
Batı Avrupa	51	34	15	53	18	29	51	15	34
Japonya	65	24	11	57	27	16	56	25	19
Gelişmekte olan ülkeler	41	50	9	37	48	15	35	46	19
ÇHC	16	83	1	15	81	4	14	79	7
Hindistan	29	66	5	28	60	12	29	54	17
Kore Cumhuriyeti	62	35	3	65	27	8	67	23	10
Türkiye	48	46	6	55	32	13	58	27	15
Öteki ülkeler	31	41	28	25	30	45	25	22	53
DÜNYA	43	40	17	40	37	23	39	36	25

Gelişmiş ülkelerin 1990-2020 dönemi toplam salım tutarlarında, petrolün payında % 50'den % 47'ye çok küçük bir gerileme yaşanacağı saptanmakla birlikte, kömürün payının doğal gazın payına katılacağı anlaşılmaktadır. Burada en dikkat çeken bölge Batı Avrupa'dır. Gerçekten, söz konusu dönemde, Avrupa ülkelerinin toplam CO₂ salımlarında petrolün 1990'da % 51 olan payının 2020'de değişmeyeceği, asıl ikamenin kömür ve doğal gaz arasında yaşanacak olmasının da etkisiyle, kömürün toplamdan aldığı payın yarı yarıya azalarak % 15'ler düzeyine düşmesi beklenmektedir. ABD'de ise gerek petrolün gerekse kömürün paylarında çok büyük oynamalar gözlenmeyeceği anlaşılmaktadır. Petrol ve kömür, ABD'nin 2020 yılı toplam CO₂ salımlarının % 76'sından sorumlu olacaktır. Japonya'nın durumu da ABD'ninkine benzemektedir. Bu tablo, en temiz fosil yakıt türü olan doğal gaza ağırlık vereceği anlaşılan Batı Avrupa'nın Kyoto yükümlülüklerinin

gerçekleştirilmesi sürecinde, öteki gelişmiş ülkelerin bir adım önüne geçeceğini ortaya koymaktadır. [14]

3. DOĞALGAZIN ÖZELLİKLERİ, YAKIT OLARAK DOĞALGAZ VE DOĞALGAZLI MOTORLARIN ÖZELLİKLERİ

3.1 Doğalgazın Özellikleri

İnsanlığın en önemli ve vazgeçilmez gereksinimlerinden birisi enerjidir. Bugün kişi başına enerji tüketimi kalkınmışlığın ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Çeşitli enerji kaynaklarının başında ise fosil yakıtlar gelmektedir. Petrol, kömür ve doğalgaz fosil yakıt denilince akla gelen ilk enerji kaynaklarıdır. Dünyanın bugünkü birincil enerji tüketiminde petrol %40'lık payı ile ilk sırayı alırken, doğalgaz %23 ile %28'lik payı olan kömürün ardından gelmektedir. Önümüzdeki yıllardada petrol ve doğalgazın birincil enerji tüketiminde önemini koruyacağı aşıkardır. Dolayısıyla bu stratejik enerjiye yönelik politikalar geliştirilmekte ve zamanın şartlarına uygun yatırım planları yapılmaktadır.

Doğalgaz küçük canlıların milyonlarca yıl süren çürümeleri sonucu oluşan, genelde petrol bölgelerinde bulunan fosil bir yakıttır.[15] Doğalgaz, tabiatta doğal olarak bulunan bir gazdır. Doğalgaz bağımsız yataklarda ve petrol yataklarının üstünde yaklaşık 300 bar basınçta bulunur. Doğalgaz yeryüzünün alt katmanlarında başta metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Çıkarıldığı haliyle kullanılabilir.

Doğalgaz yanıcı, kokusuz, renksiz, havadan hafif bir gazdır. Metan, etan, propan, azot ve az miktarda CO_2 gazlarının birleşiminden ibarettir. Ana bileşeni CH_4 olup inert gazlar dışında (N_2 , CO_2) bünyesinde az miktarda etan, propan, bütan gibi yüksek parafinler bulunur.

Doğalgaz havadan daha hafiftir ve kapalı alanlarda sızma ile yukarıda toplanır. Doğalgaz karbon monoksit (CO) içermediğinden zehirleyici değildir. Kapalı ortamlarda çok miktarda bulunduğu zaman oksijen (O_2) azalacağından boğulmaya sebep olur. Bu nedenle doğalgaz kullanılan ortamların mutlaka havalandırılması gerekir. Doğalgazın en önemli avantajı temiz bir gaz oluşudur. Yandığında kül, CO ve kükürt bileşikleri oluşturmaz ve asit yağmuruna sebep olmaz. Yalnızca karbondioksit (CO_2) ve su buharı oluşur. Ayrıca doğalgazın azot oksit (NO_x)

emisyonu diğer yakıtlara oranla da azdır. Bütün bu bilgiler ışığında en kullanışlı yakıt olma özelliği kazanmaktadır.

Gaz ve katı yakıtlar genellikle ısınma amaçlı veya enerji üretiminde kullanılmaktadır. Gaz yakıtlar çevre koruma bilinci açısından üstünlükleri vardır. Doğalgazın üstünlükleri şöyle sıralanabilir.

- Doğalgaz her an için kullanıma hazırdır.
- Doğalgaz ekonomiktir ve zaman, işgücü tasarrufu sağlar.
- Doğalgaz çevre dostu olup, kalıcı artık bırakmaz.
- Doğalgazlı cihazlarda sıcaklık kontrolü çok hassas yapılır, konfor ve enerji tasarrufu sağlanır.
- Yanmanın hassas olarak kontrol edilebilmesi için yakıt kaybını en aza indirir.
- Uzun zaman dilimi içinde aynı yakıt kalitesi elde edilebilir.
- Gaz olması nedeniyle hava ile çok iyi ve birebir karışabildiğinden yanma verimi yüksektir.
- Alev boyu fueloil ve kömüre göre daha kısadır, yanmayı tamamlamak için gereken zamanda kısadır.
- Ekonomizer ilave edilerek doğalgazın baca sıcaklığı 56°C'ye kadar indirilebilir. Katı ve sıvı yakıtlar yanma ürünü olarak kükürt içerdiğinden. Baca gazlarının suyun yoğunlaşma noktasına kadar soğutulması ve böylece suyun gizli ısıdan faydalanması imkanı yoktur.
- Doğalgazda yanma için hava gereksinimide azdır. Hampetrole alternatif yakıt olarak stratejik bir avantajı vardır. Verimli bir yakıt olarak ekonomiktir ve enerji tasarrufu sağlar.[16]

Gelişen ülkelerde taşıt sayısı ve genel enerji kullanımı hızla artmaktadır. 1999 yılı sonu verilerine göre dünyadaki ham petrol rezervi yaklaşık 40 yıl, doğalgaz rezervi ise yaklaşık 60 yıl yetecek kadardır. Düşük emisyon değerleri ve yakıt tüketimi ile doğal gazlı taşıtlar 21. yüzyıl ulaşım sektöründe önemli bir yer sağlayacaklardır. Günümüzde kullanılan doğalgazlı taşıt sayısı 1 milyonu geçmektedir. Avrupa birliği komisyonu'nda taşıtlarda doğal gaz kullanımını 2010 yılında %2, 2015 yılında %5 ve 2020 yılında da %10 olarak kararlaştırılmıştır. Bu yüzden otomobil üreticileri doğalgazla çalışan taşıtların teknolojisini, petrol türevli taşıtların teknolojisine yaklaştırmak için çaba sarf etmektedir.[17]

Doğalgazın 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 doğalgaz, benzine oranla daha yüksek hava fazlalık değerlerinde tutuşma özelliğine sahiptir. Böylece motor fakir karışım ile çalıştırılıp yakıt ekonomisi ve egzoz gazları açısından yarar sağlanabilir. Doğalgazın difüzyon katsayısı benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır.[16]

Tablo 3.1: Yakıtların özellikleri[15]

ÖZELLİKLER	BİRİM	DOĞALGAZ	BENZİN	DİZEL
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
Buharlaşma Noktası	°C	-162	27-225	188-343
Parlama Noktası	°C	1790	1977	2054
Oktan Numarası	-	120-130	88-100	-
Cetan Numarası	-	-	-	40-55

Doğalgazın Diğer yakıtlarla karşılaştırılması

- Doğalgazın karbon yüzdesi kömürinkinden ve fuel oilinkinden daha azdır. Karbon oranını artması alevin rengini kırmızı yapar ve parlak kırmızı alevde ışınlı ısı geçişi fazladır.
- Katı ve sıvı yakıtlar birbirine yakın hidrojen içerirken, doğalgazda hidrojen oranı oldukça yüksektir. Bu yüzden doğalgazın ısı değeri oldukça yüksektir. Üst ve alt ısı değerleri arasındaki fark da en büyük olacaktır.
- Doğalgazda hava kirliliğine yol açan kükürt (S) yok sayılabilir.

- Doğalgaz , kül ve nem içermez. Kömürde ise kül ve nem büyük oranlarda bulunabilir. Nem yanma anında ocak sıcaklığını düşürür. Alt ve ısı değerleri arasında farkı büyüterek baca kayıplarının artmasına yol açar.
- Doğalgaz kükürt içermediğinden baca gazlarının yoğuşma sıcaklığı düşüktür. Kömür ve fuel oil de 160 ile 180 °C dolayında olan çiğ noktası 60 °C dolayında düşük bir düzeyde olduğundan baca kaybı daha azaltılabilir.
- Doğalgazın azot (N₂) yüzdesi fuel oil'den 35 kat, kömürden 2 kat fazladır. Ayrıca ısı değerleriyle hava fazlalık katsayısı ve ısı yayma katsayısının yüksekliği nedeniyle alev sıcaklığı yükselecek ve NO_x oluşumu tehlikesi artacaktır. Bu nedenle ocak sıcaklığı denetlenerek 1000 °C aşmaması sağlanmalıdır. [16]

3.2 Yakıt Olarak Doğalgaz

3.2.1 Doğalgazdan Elde Edilebilecek Yakıtlar

Doğalgazdan elde edilebilecek yakıtlar şunlardır:

- Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG)
- Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG)
- Doğalgazdan elde edilen metanol
- Doğalgazdan elde edilen sentetik dizel yakıtı

Sıkıştırılmış doğal gaz;

Doğal gaz bir kompresör vasıtasıyla 200 bar basınca getirilerek araçta bulunan yüksek basınca dayanıklı tüplerin içine doldurulmaktadır. Gaz daha sonra bir yüksek basınç regülatöründen geçirilerek 7 bar basınca düşürülür ve özel bir karıştırıcı vasıtasıyla motorun emme sistemine yollanır.

Sıvılaştırılmış doğal gaz;;

Yol taşıtları için sıvılaştırılmış doğal gaz pratik bir çözüm değildir. Normal şartlar altında doğalgazı sıvılaştırmak için -161 dereceye kadar inilmesi gerekmektedir.[18] Doğal gaz, -161°C sıcaklığına kadar soğutulduğunda sıvı hale geçer ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olarak adlandırılır. Sıvılaştırılan doğal gaz kullanım yerlerine kriyojenik ekipmanlar vasıtasıyla ulaştırılır ve kullanıma sunulur. Bir birim hacim LNG buharlaştırıldığında yaklaşık olarak 600 birim hacim doğal gaz elde edilir. LNG su yoğunluğunun yarısından daha düşük bir yoğunluğa sahiptir. LNG doğal haliyle kokusuz, renksiz, korozif olmayan ve zehirleyici bir özelliği bulunmayan bir sıvıdır. Hava ile karıştırıldığında yanma limitleri hacimce %5

civarındadır. LNG ağırlıklı olarak metan (CH_4) (%90 ve üzeri) ve daha düşük oranlarda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) ve çok daha az oranlarda diğer hidrokarbonlar ihtiva eden bir yakıttır. Sıvılaştırma sırasında kirleticiler uzaklaştırıldığından LNG, boru hattı ile gaz fazda taşınan doğal gaza göre daha temiz olup ayrıca daha yüksek kaloriye sahiptir. LNG (Sıvılaştırılmış doğalgaz); LPG, propan, fuel-oil, motorin vb. yakıtların kullanıldığı her yerde gerekli dönüşüm işlemleri yapıldıktan sonra rahatlıkla kullanılabilir. Diğer yakıtlara göre ticari anlamda büyük tasarruf sağlayan LNG, teknik ve çevresel yönden de avantajlar sağlamaktadır. [19]

Doğalgazdan elde edilen Metanol;

Doğalgazdan elde edilebilecek olan bir yakıtlar, örneğin metanol, hava kirliliği açısından diğer yakıtlara nazaran üstünlük arz etmektedirler. Ayrıca, çeşitli biyolojik atıklardan, yani “biyokütle”den elde edildikleri için yenilenebilir yakıt olarak özellikle ulaşım amaçlı uygulamalarda kullanılabilirlikleri önemlidir. Alternatif bir yakıt olarak metanol’ün kullanımı 1980’lerden beri, özellikle yakıt hücreleri ve içten-yanmalı motorlarda araştırılmaktadır. Metanolün en önemli dezavantajı, sıkıştırarak tutuşturmalı motorlarda tutuşma davranışının kötü oluşudur.[20] Metanolün dizel motarlarda yakıt olarak kullanımı mümkündür ancak doğalgazdan metanol elde etmek belirli bir enerjinin harcanması anlamına gelir buda hem maliyet olarak hemde istenmeyen fazladan karbon dioksit salınımı olarak yararsızdır. Zaten doğalgaz kendisi bir alternatif yakıt olarak kullanılabildiği için doğalgazdan metanol elde edilip içten yanmalı motorlarda kullanılması anlamsızdır. [18]

Doğalgazdan elde edilen sentetik dizel yakıtı;

Doğalgazdan elde edilebilecek bir diğer yakıtta sentetik dizel yakıtıdır. Yanlış üretim aşamasında oldukça büyük miktarlarda enerji harcanmakta buda fiyatın yanında istenmeyen karbon dioksitin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

3.3 Doğalgazın Ağır Hizmet Taşıtlarında Yakıt Olarak Kullanılması

Ağır hizmet taşıtlarının ve şehir içi otobüslerinin egzoz emisyonuna getirilen sınırlamaları karşılamak için ve küresel ısınmaya sebep olan en önemli sera gazı karbon dioksit emisyonunu azaltmak için yakıt olarak doğal gaz kullanılması kendisini kabul ettiren bir yöntemdir. Doğalgaz çeşitli gazların bileşiminden meydana gelmiştir. Ana yapıyı oluşturan metan toplam hacmin %85-99’unu

oluşturur. Geri kalan kısmı diğer hidrokarbonlar, karbondioksit, azot helium gibi asalgazlar; hidrojen sülfid ve su taneciklerinden meydana gelmiştir. Tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan vurutuya dayanıklıdır. Saf metanın oktan sayısı 130'dur. Yüksek oktan sayısı sayesinde 15:1'lik sıkıştırma oranlarına kadar kullanılabilir. Normal koşullarda gaz halinde bulunduğundan hava ile her oranda kolayca karışır. Benzine oranla daha fakir karışımlarla kullanılabilir.

Doğalgazın motorlarda kullanılması 3 farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki şehir içi toplu taşımacılık otobüslerinin dizel tahrikli motorlarının yerine doğalgaz motorları kullanamaktır. Günümüzde otobüsler için dizel motoru üreten yaklaşık her firmanın birde ürettiği doğalgaz motoru bulunmaktadır. İkincisi dizel tahrikli bir motoru belli konstrüksiyon değişiklikleri ile buji ateşlemeli doğalgaz motoruna dönüştürmek sonuncusuda dizel tahrikli motoru çift yakıtlı (dizel yakıtı+doğalgaz) motorlarına dönüştürmektir.[18]

3.3.1 Doğalgazın Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılması:

Buji ateşlemeli motorlarda genelde bujilerin ateşleme enerjisi genellikle düşüktür. Bu yüzden kısmi yanmadan kaçınmak için doğalgaz ve hava karışımı stokiometrik oranlarda tutulması gerekmektedir. Doğalgaz-hava karışımı bir karıştırıcı vasıtasıyla silindire alınır ve burada adyabatik olarak sıkıştırılır. Buji tarafından oluşturulan kıvılcım sayesinde bir tutuşma meydana gelir. Bu tutuşma ilerleyerek silindir içindeki karışımı tamamen yakar.[21]

Emisyon açısından en iyi çözüm veren yaklaşım, motoru %100 doğal gazla, buji ateşlemeli motor olarak çalıştırmaktır. Doğal gazın oktan sayısının yüksek olması dolayısıyla, bu motorda yüksek sıkıştırma oranlarına (12-14) çıkılabilmektedir. Bu motorlar 2100-2300 d/d hızlarında çalışmakta ve bir dizel motoru boyutlarında ve ağırlığında olmaktadır. Bunlar yapısal olarak dizel motorlarına benzemekle birlikte gerek kafa yapıları gerekse krank ve biyel boyutları bakımından farklı olduklarından, mevcut bir dizel motorunun dönüşümü ile elde edilmeleri ekonomik değildir.[5]

Doğalgaz motorlarının verimlilikleri özellikle kısmi yüklerde dizel eşdeğerlerine göre daha düşüktür. Bunun sonucu olarak oluşabilecek yüksek yakıt tüketimi doğalgaz fiyatının getireceği maliyet azalmasını kısıtlayabilir.[22]

Bugün tamamen ayrı bir şekilde tasarlanıp imal edilen bu tip motorlarda emisyon kontrolü olarak iki yaklaşım söz konusudur.

Motoru tam stokiyometrik karışım ($HFK=1$) ile çalıştırıp emisyonları benzinli motorlarda olduğu gibi egzoz sisteminde kullanılan üç-yolu katalitik reaktörlerle düşürmek iyi sonuç vermektedir. Doğalgazda kükürt, büyük moneküllü hidrokarbonlar ve aldehitler bulunmadığından ve is emisyonunda söz konusu olmadığından, üç yollu katalizör egzoz gazlarını temizlemek için tamamen yeterlidir.

Emisyon kontrolü yönünden bir diğer yaklaşım da fakir bölgede ($HFK=1.4-1.6$) çalışmaktır. Bu tür çalışmada genellikle egzoz katalizörüne gerek kalmadan oldukça düşük emisyon miktarları elde etmek mümkündür. Ancak karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları için bir oksidasyon katalizörü söz konusu olabilir. Büyük hava fazlalığı ile çalışmanın beraberinde getirdiği güç kaybı genellikle aşırı doldurma yapılarak tekrar kazanılmaktadır. Bu motorlarda güç kontrolü emme havasının miktarının kısılması ile yapıldığından, her iki durumda da bunların kısmi yükteki verimi dizel motorundan daha az olmaktadır. Dolayısıyla bu motorlar %20-25 daha fazla yakıt tüketmektedirler. Buna rağmen doğal gaz CO_2 emisyonu yönünden dizel yakıtından daha iyi bir konuma sahiptir.[5]

Dizel tahrikli bir motoru buji ateşlemeli bir motora dönüştürmek için yapılması gereken başlıca değişiklikler sıkıştırma oranını yaklaşık 14:1 seviyelerine düşürmek ki buda ya piston oyduğundan malzeme alarak yada pistonu veya silindir başını değiştirmek ile mümkündür. Dizel enjektörleri bujilerle değiştirilmeli ve bir gaz karbüratörü motora yerleştirilmelidir. Dizel yakıt pompaları kaldırılmalı ve bir distiribütör eklenmelidir. Bazı durumlarda ise dizel motorlarında kullanılan 12 volt'luk voltaj değiştiricinin yerine 24 voltluk voltaj değiştirici konulmalıdır. Dizel yanmasına göre sıkıştırılmış doğalgaz yanmasının mekanik verimi düşük olduğundan ısı kayıpları artacaktır. Bu sorundan dolayı motorun soğutma sisteminin iyileştirilmesi gerekebilir. Bu ya soğutma suyu yollarının daha fazla olduğu silindir kafaları kullanılarak yada daha büyük bir radyatör kullanılarak yapılabilir.[18]

3.3.2 Çift Yakıtlı (Dizel Yakıtı+Doğalgaz) Motorlar

Doğalgazı 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 yüklerle beraber motora verilen doğalgaz miktarı artırılır. Bu motorların çoğunda strok başına püskürtülen dizel yakıt miktarı aşağı yukarı sabit, püskürtme zamanında 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 azaltıkça 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 şehiriçi otobüs motorlarının çalışma çevriminde önemli bir yer tuttuğundan, çoğunlukla doğal gaz harcanan toplam yakıtın ancak %30-60'ını sağlar.

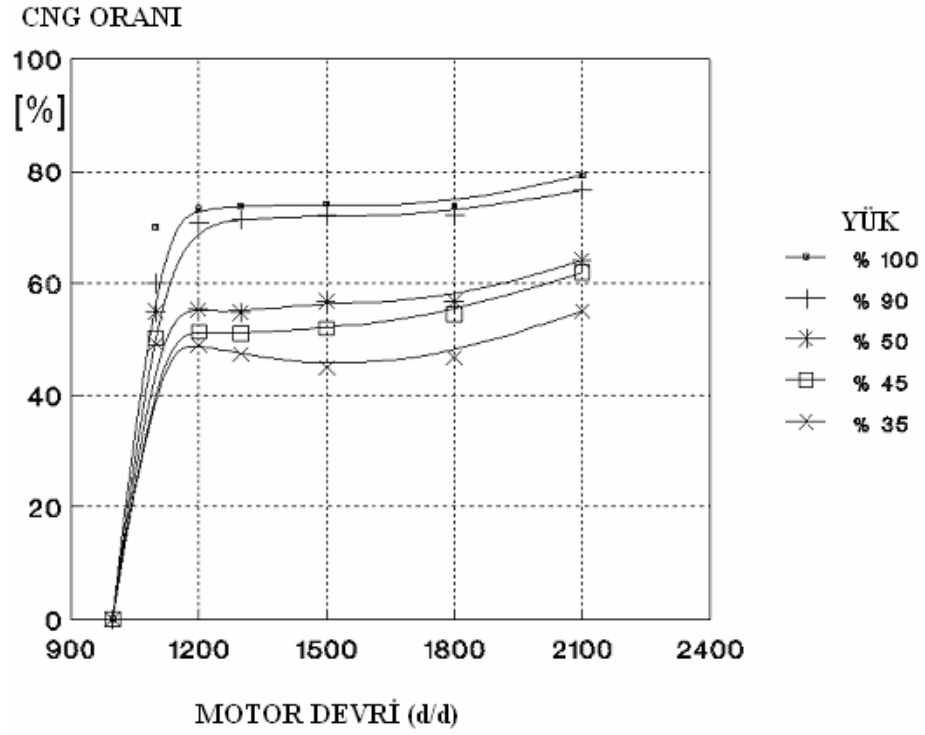
Tam yükte verim orijinal dizelinkine eşit veya çok az daha iyi olmakla beraber kısmi yüklerde verim orijinal dizelinkinden her zaman düşüktür. Çift yakıtlı motorlardan genellikle orijinal dizel motoru ile aynı güç elde edilmektedir. Hatta toplam enerjinin belli bir bölümü gaz yakıt tarafından sağlandığı 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. [5]

Tablo 3.2 :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

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 orjinal dizelnikinin %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 geçce alınarak NO_x 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 metan'dır. 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 devavantajı %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.[5]



Şekil 3.1 :Motor devri ve yüke göre çift yakıtlı MAN motorunda kullanılan CNG oranı [22]

4. YAKITLARIN YANMASINDAN KAYNAKLANAN KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ TIER 1 YÖNTEMİYLE HESAPLANMASI

4.1 IPCC Metodolojisi

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 ülkelere yardımcı olunması amaçlanmaktadır.

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

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 karbondioksit emisyonlar bölümünün içeriğinden yararlanılmıştır.[23]

4.2 Tier 1 Metoduna Göre Karbondioksit Emisyonlarının Hesaplanması

Karbondioksit antropolojik aktiviteler sayesinde en çok açığa çıkan sera gazıdır ve endüstri devriminden sonra radyoaktivite kuvvetlerin artmasında %60 oranında etkilidir. Karbon dioksit emisyonları çoğunlukla fosil kökenli yakıtlarda bulunan karbonun oksidasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır ve bu da antropolojik karbon dioksit emisyonlarının %70-90'ını kapsamaktadır. Fosil kökenli yakıtlar yandığında çoğu karbon hemen karbon dioksite dönüşür. Bir miktar karbonlarda karbon monoksit (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. Yanlız, 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 terajoule'e çevrilmeleri gerekmektedir.

Oksitlenmemiş Karbon:

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

4.2.1 Karbon Dioksit Emisyonlarını (CO₂) Değerlendirmek için Tier 1 Yöntemi

- 1-) Tüketilen yakıt miktarını yakıtın cinsine göre hesaplanır.
- 2-) Tüketilen yakıt miktarını eğer gerekli ise enerji birimi olarak Terajoule'e çevirilir.
- 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 moneküler 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/10³ 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 tonkarbon/terajoule biriminden karbon emisyon faktörüyle çarpılınca ortaya çıkan ton karbondur.

Yakıtın içindeki bütün karbon karbon dioksit'e dönüşmez. Yanmadaki verimsizlikler yüzünden tamamlanmamış oksidasyon oluşur ve bir miktar karbon yanmamış olarak kalır yada kısmi olarak yanarak is'e dönüşebilir. Ton karbon

miktarını oksidasyon faktörü ile çarpılarak karbon dioksite 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 ağırlığı’nın 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/10³ ton)	Karbon Emisyon Faktörleri (tonkarbon/terajoule)	Maliyet (YTL)
Doğalgaz	0,68 (kg/m ³)	48,5	15,3	1 (YTL/m ³)
LPG	0,560 (kg/l)	47,31	17,2	1,36 (YTL/l)
Motorin	0,86 (kg/l)	43,3	20,2	2,1 (YTL/l)
Benzin	0,74 (kg/l)	44,8	18,9	2,65 (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.[24]

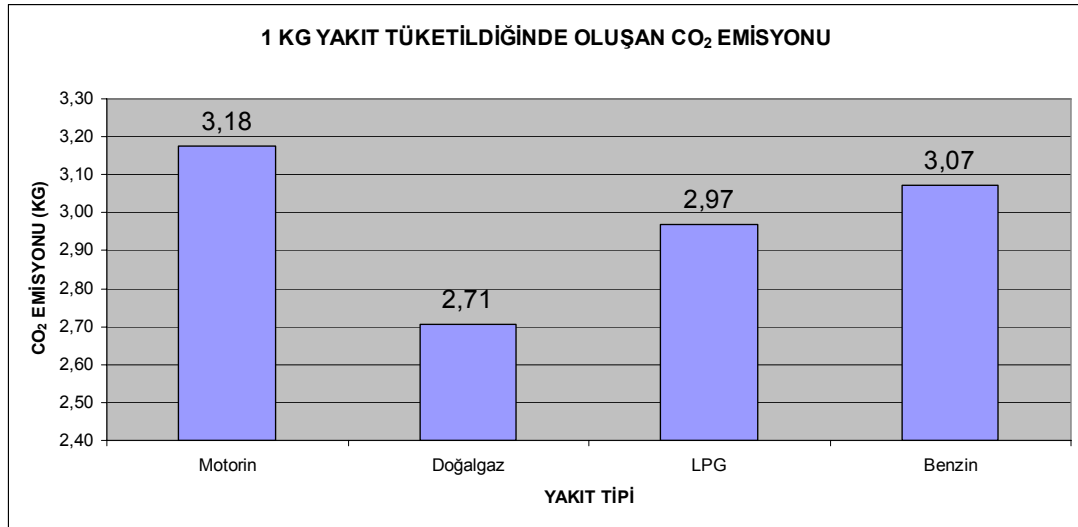
4.3 Tier 1 Yöntemine Göre 1 kg Doğalgaz, LPG, Motorin ve Benzin Tüketildiğinde Oluşan CO₂ Emisyonları ve Yakıt Maliyeti

Tablo 4.5’de görüldüğü gibi 1 kg motorin, doğalgaz, lpg ve benzin’in tüketilmesi durumunda motorin 2,44 YTL, doğalgaz 1,47 YTL, lpg 2,43 YTL ve benzin 3,58 YTL tutmaktadır.

Tablo 4.5: 1 kg yakıt tüketildiğinde yakıt cinslerine göre maliyet ve karbon dioksit analizi

YAKIT CİNSİ	MALİYET	MALİYET	MALİYET	MALİYET	CO ₂ EMİSYONU	
	YTL/l	YTL/m ³	YTL	%	kg	%
Motorin	2,10	-	2,44	66,05	3,18	17,36
Doğalgaz	-	1,00	1,47	0,00	2,71	0,00
LPG	1,36	-	2,43	65,14	2,97	9,66
Benzin	2,65	-	3,58	143,51	3,07	13,53

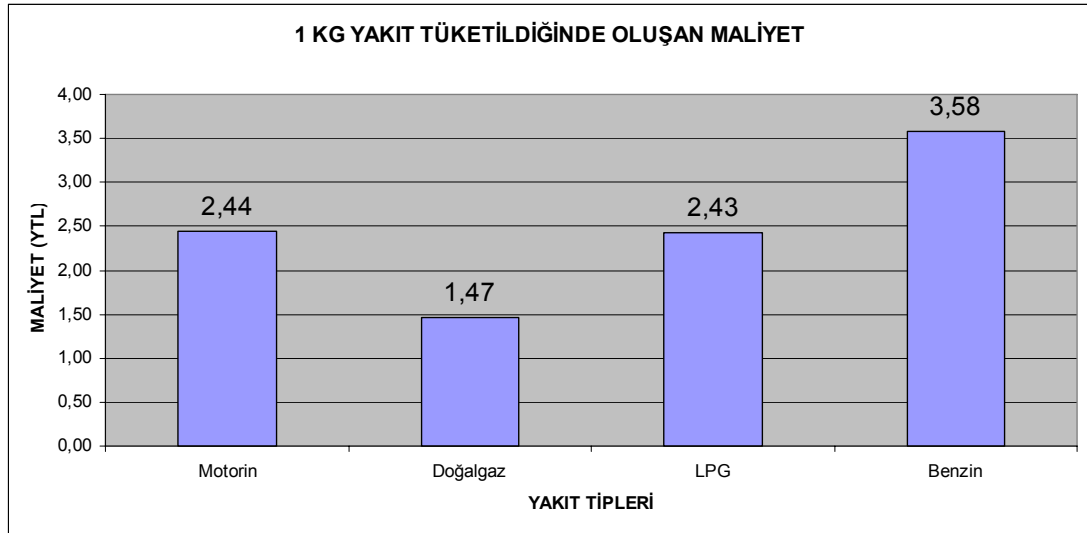
Doğalgaza göre motorin %66, lpg %65, benzin ise %143 kat daha maliyetli yakıtlardır. 1 kg yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en ucuz yakıt olduğu aşikardır.



Şekil 4.1 1 kg yakıt tüketildiğinde oluşan karbondioksit emisyonu

Tablo 4.5 de görüldüğü gibi 1 kg motorin, doğalgaz, lpg ve benzin’in tüketilmesi durumunda motorin 3,18 kg, doğalgaz 2.71 kg, lpg 2,97 kg ve benzinde 3,07 kg karbon dioksit emisyonun ortaya çıkardığı aşikardır. Karbon dioksit sera gazları emisyonları içerisinde en önemli sera gazı olduğuna göre doğalgaz fosil kökenli yakıtlar içerisinde en çevreci yakıt olarak görülebilir. 1 kg yakıt tüketildiğinde doğalgaza göre motorin %17,36, lpg %9,66, benzinde %13,53 kat daha fazla karbon

dioksiti çevreye salmaktadır. Bu değerlerden ortaya çıkan başka bir sonuç ise 1 kg yakıt baz alındığında motorin benzine göre çok daha ucuz olmasına rağmen çıkardığı karbon dioksit miktarı daha fazladır. Unutulmamalıdır ki 1 kg motorin ile kat edilecek yol ise 1 kg benzine göre daha fazla olacaktır. Yeni reno clio baz alındığında Reno Clio 1.4 litre benzinli motoru kataloğunda yer alan değere göre 100 km’de 6,7 litre benzin tüketmektedir Reno Clio 1.5 litre dizel motoru ise kataloğunda yer alan değere göre 100 km’de 4,9 litre motorin tüketmektedir.[25] Bu değerlere göre dizel yakıtlı araç 1 kg yakıt tükettiğinde 1,16 lt mazot tüketmekte ve 23,73 km yol almaktadır. Benzin yakıtlı reno clio araç ise 1 kg yakıt tükettiğinde 1.35 litre bezin tüketmekte ve 20,16 km yol almaktadır. Bu değerlerin İett otobüslerine uygulanmamasının sebebi iett otobüslerinin hemen hemen hepsinin diesel tahrikli olup benzin ile çalışan bir otobüs motorunun olmamasıdır.



Şekil 4.2: 1 kg yakıt tüketildiğinde oluşan maliyet

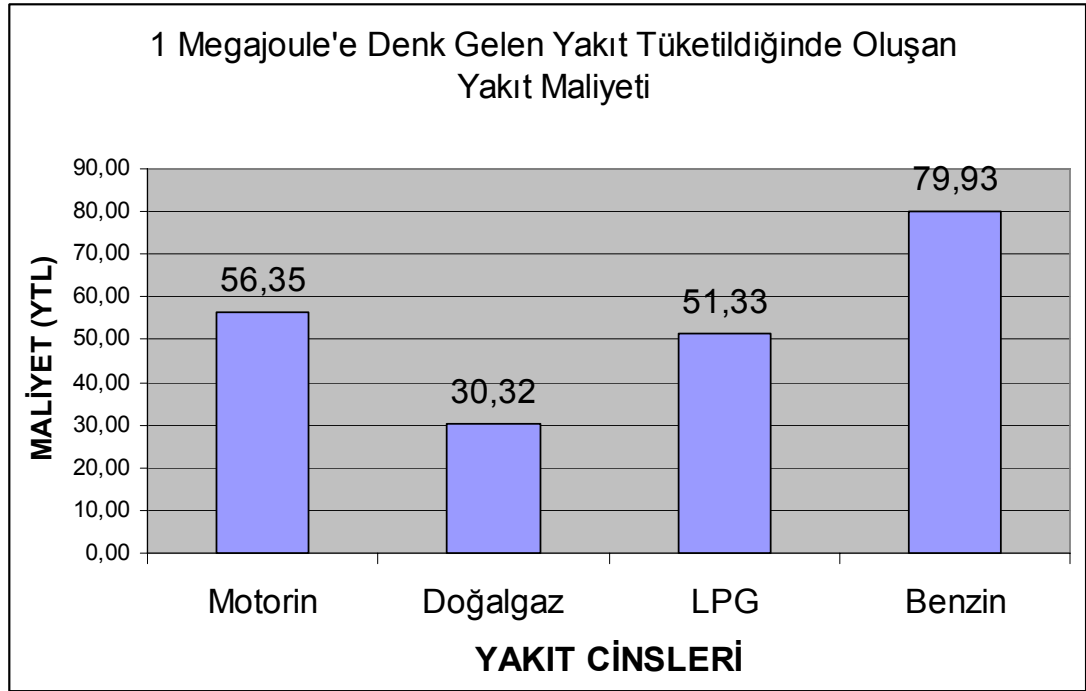
4.4 Tier 1 yöntemine göre 1 Megajoule enerjiye denk gelen Doğalgaz, LPG, Motorin ve Benzin tüketildiğinde oluşan CO₂ emisyonları ve yakıt maliyeti

Tablo 4.6 : 1 megajoule’e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan maliyet

Yakıt Cinsi	YAKIT	YOĞUNLUK		MALİYET		MALİYET	
	kg	kg/l	kg/m ³	YTL/l	YTL/m ³	YTL	%
Motorin	23,08	0,86	-	2,10	-	56,35	85,86
Doğalgaz	20,62	-	0,68	-	1,00	30,32	0,00
LPG	21,14	0,56	-	1,36	-	51,33	69,30
Benzin	22,32	0,74	-	2,65	-	79,93	163,63

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 4.6’da da görüldüğü üzere 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan maliyet motorin için 56,35 YTL, doğalgaz için 30,32 YTL, lpg için 51,33 YTL ve benzin için ise 79,93 YTL’dir. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde doğalgaza göre motorin %85, lpg %69, benzin ise %163 kat daha maliyetli yakıtlardır. 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt göz önüne alındığında doğalgazın en ucuz yakıt olduğu aşıkardır. Karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında;



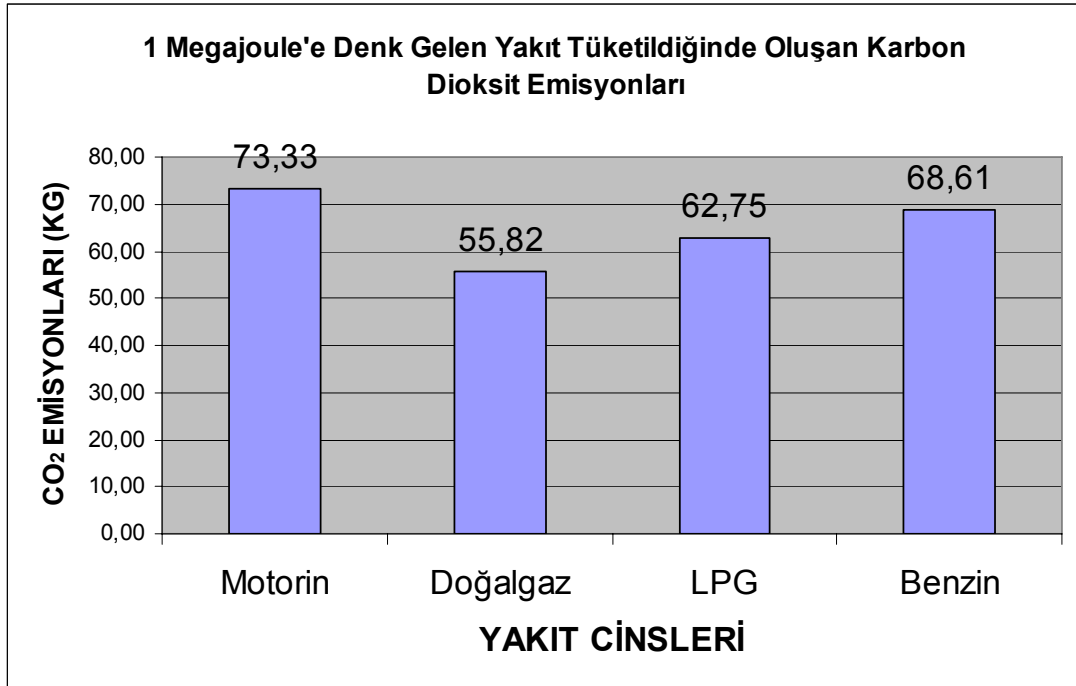
Şekil 4.3: 1 Megajoule’e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşan yakıt maliyeti

Tablo 4.7: 1 megajoule’e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan karbon dioksit emisyonları

Yakıt Cinsi	YAKIT	YOL		YOL		CO ₂ EMİSYONU	
	kg	l/100km	m ³ /100km	km	km	kg	%
Motorin	23,08	47,0000	-	57,0972	-	73,33	31,36
Doğalgaz	20,62	-	56,0000	-	54,1454	55,82	0,00
LPG	21,14	-	-	-	-	62,75	12,42
Benzin	22,32	-	-	-	-	68,61	22,91

Tablo 4.7’de de görüldüğü üzere 1 megajoule enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşacak olan karbon dioksit 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 %12,5, benzin ise %23 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. İETT otobüslerinin İETT hasanpaşa garajından alınan bilgiler göz önüne alındığında 100 km’de dizel tahrikli otobüsler ortalama 47 litre motorin yakmaktadırlar. İETT hasanpaşa garajında doğalgazla çalışan motorda yapılan testlerde ise sırf doğalgazla çalışan bir motorun 100 km’de ortalama 56 m³ doğalgaz tükettiği ortaya çıkmaktadır. Bu bilgiler ışığı altında 1 megajoule enerjiye denk gelen motorin ve doğalgaz tüketildiğinde dizel tahrikli otobüs 57,1 km yol alırken, doğalgaz ile çalışan otobüs aynı enerji ile 54,1 km yol almaktadır. Doğalgazlı otobüs 1 megajoule’luk enerjide diesel eşdeğerine göre sadece 3 km daha az yol alırken, 26,5 YTL daha az maliyet çıkarmakta ve 18 kg daha az karbon dioksit emisyonu çevreye salmaktadır.



Şekil 4.4: 1 Megajoule’e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşan karbon dioksit emisyonları

Yeni reno clio baz alındığında Reno Clio 1.4 litre benzinli motoru katoloğunda yer alan değere göre 100 km’de 6,7 litre benzin tüketmektedir Reno Clio 1.5 litre dizel motoru ise kataloğunda yer alan değere göre 100 km’de 4,9 litre motorin tüketmektedir. 1 megajoule’luk enerjiye denk gelen yakıt tüketildiğinde tablo 4.7’de de görüldüğü gibi 23,08 kg motorin ve 22,32 kg benzin tüketilmektedir. Bu değerlere göre dizel yakıtlı araç 23,08 kg yakıt tükettiğinde 26,83 lt mazot

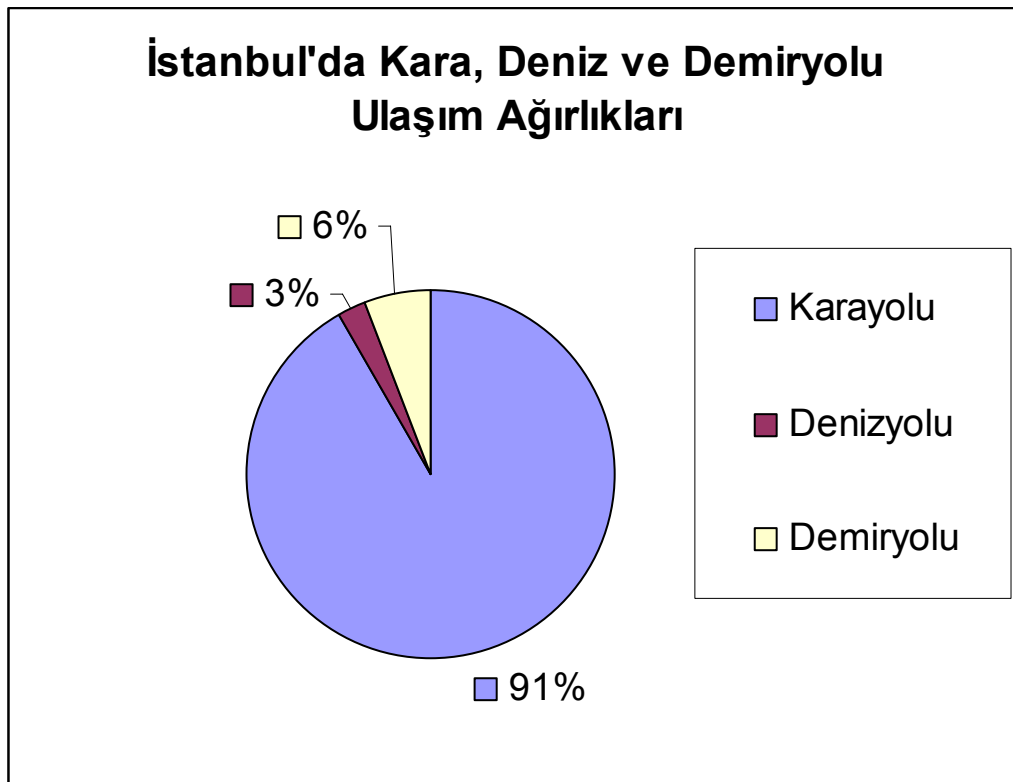
tüketmekte ve 547 km yol almaktadır. Benzin yakıtlı reno clio araç ise 22,32 kg yakıt tükettiğinde 30,16 litre bezin tüketmekte ve 450 km yol almaktadır.

Doğalgaz hem 1 kg yakıt tüketiminde hemde 1 megajoule'e denk gelen yakıt tüketimi karşılaştırıldığında en çevreci fosil kökenli yakıt ve en ucuz fosil kökenli yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğalgazdan sonra gelen yakıt ise LPG'dir. LPG ve doğalgaz alternatif yakıtlar olarak görülmekte ve sera gazlarının azaltımı ve küresel ısınma sorunu için diğer yakıtlara göre daha kullanışlıdır.

5. İETT HASANPAŞA GARAJINA AİT OTOBÜSLERİN KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ VE KULLANDIKLARI YAKITIN MALİYETİNİN İNCELENMESİ

5.1 İstanbul'da Toplu Taşımacılık

İstanbul'da toplu taşımacılık 3 değişik yöntemle yapılmaktadır. Bunlar karayolları, raylı sistemler ve deniz yollarıdır.



Şekil 5.1: İstanbul'da kara, deniz ve demiryolu ulaşım ağırlıkları[26]

5.1.1 Karayolları

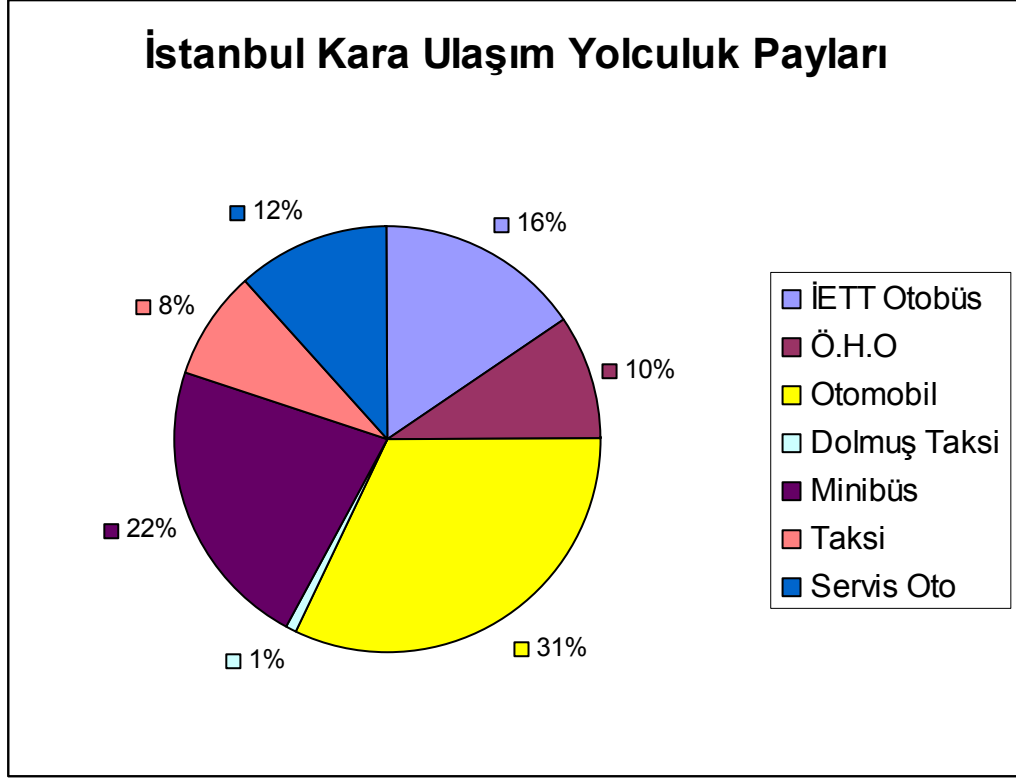
1871 yılından itibaren çalışan Tramvay İşletmesine destek olmak amacı ile Dersaadet Tramvay Şirketi'ne 4 adet otobüs çalıştırma izni verilmiş, ilk otobüs 1926 yılında çalışmaya başlamıştır. 1928 yılında tramvay arabalığı olarak kullanılan Bağlarbaşı deposu garaj haline getirilmiştir. 1930 yılında toplu 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 bozma 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.[27]

Tablo 5.1: İETT'ye bağlı İstanbul'daki garajlar[26]

Garaj	Garaj Başına Otobüs Sayısı	Toplam Alan (m ²)	Kapalı Alan (m ²)
İkitelli	553	192000	28000
Anadolu	507	58200	10000
Topkapı	179	17558	7100
Edirnekapı	264	60000	6720
Ayazağa	390	102275	11500
Hasanpaşa	298	37000	4000
Kağıthane	253	65000	7920
Beykoz Şahinkaya	115	13000	1130
Sarıgazi	137	15000	1420
Toplam	2696	560033	77790

Tablo 5.1’den de görüldüğü gibi ilgilenilecek olan hasanpaşa garajında toplam 298 tane otobüs bulunmaktadır. Yalnız hasanpaşa garajı denildiğinde işin içine yunuspaşa ve şahinkaya garajları da girmektedir. İlgilenilecek olan garaj sadece hasanpaşa semtinde bulunan hasanpaşa garajıdır ve yaklaşık olarak 186 tane otobüsü bulunmaktadır.[27]



Şekil 5.2: İstanbul’da kara ulaşım yolculuk payları[26]

5.1.2 Raylı Sistemler

İstanbul metrosu: Yapımına 1992 yılında başlanan ve Taksim –Levent arasında hizmet veren metro, 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete girmiştir. İstanbul ve İstanbul’luya yakışacak şekilde bir konfora sahip olan metronun Gayrettepe ve Levent istasyonlarında alışveriş merkezleri bulunmaktadır. Ayrıca, Taksim istasyonunda yolcuların uzun tünelleri yorulmadan katedebileceği yürüyen bantlar bulunmaktadır. İstanbul Metrosu hem inşaat tekniği olarak hem de güzergah alanı olarak deprem esnasında en güvenilir mekanlardan birisidir. 9 şiddetindeki bir depreme dayanıklı olarak inşa edilen metro, aynı zamanda İstanbul’un en sağlam zeminli bölgesine kurulmuştur. Şu an çalışmaları devam eden Taksim - Yenikapı ve 4.Levent- Ayazağa bölümleri hizmete alındığında güzergah toplam 17 km’yi

bulacak ve bu bölgedeki trafik yoğunluğunun çözümünde önemli bir adım atılmış olacaktır.

Hat uzunluğu	: 8 Km
İstasyon sayısı	: 6
Araç sayısı	: 32
Sefer süresi	: 12 dakika
İşletme saatleri	: 06:15 / 00:30
Günlük yolcu sayısı	: 128000 yolcu / gün
Günlük sefer sayısı	: 344
Sefer sıklığı	: Pik saatte 5 ve 7 dakika

Hafif Metro: Aksaray-Esenler-Yenibosna LRT hattı 1989 yılında kısmen açılmış, zaman içinde yapılan yatırımlarla yeni güzergahlar sisteme dahil edilmiş, son olarak da 13 Aralık 2002 tarihinde Dünya Ticaret Merkezi ve Havaalanı istasyonları açılmıştır.

Aksaray, Emniyet, Ulubatlı, Bayrampaşa, Sağmalcılar, Kartaltepe, Otogar, Esenler, Terazidere, Davutpaşa, Merter, Zeytinburnu, Bakırköy, Bahçelievler, Ataköy, Yeni bosna ,DTM CNR-EXPO ve Havaalanı olmak üzere toplam 18 istasyon bulunmaktadır

Hat uzunluğu	: 20 Km
İstasyon sayısı	: 18
Araç sayısı	: 74
Sefer süresi	: 31 dakika
İşletme saatleri	: 06:00 / 00:40
Günlük yolcu sayısı	: 200.000 yolcu / gün
Günlük sefer sayısı	: 300
Sefer sıklığı	: Pik saatte 5 ve 7 dakika

Cadde Tramvayı: Zeytinburnu-Kabataş arasında hizmet veren tramvay hattının Sirkeci-Aksaray-Topkapı bölümü 1992 tarihinde, Topkapı - Zeytinburnu bölümü Mart 1994 ve Sirkeci-Eminönü bölümü ise Nisan 1996 tarihinde hizmete açılmıştır. 30 Ocak 2005 tarihinde yapılan törenle hat Kabataş'a uzatılmıştır. İnşaatı sürmekte olan funiküler hattı tamamlandığında, Tramvay-Metro ve deniz ulaşımı Kabataş bölgesinde entegre olacaktır.

Hat uzunluğu	: 14 Km
İstasyon sayısı	: 24

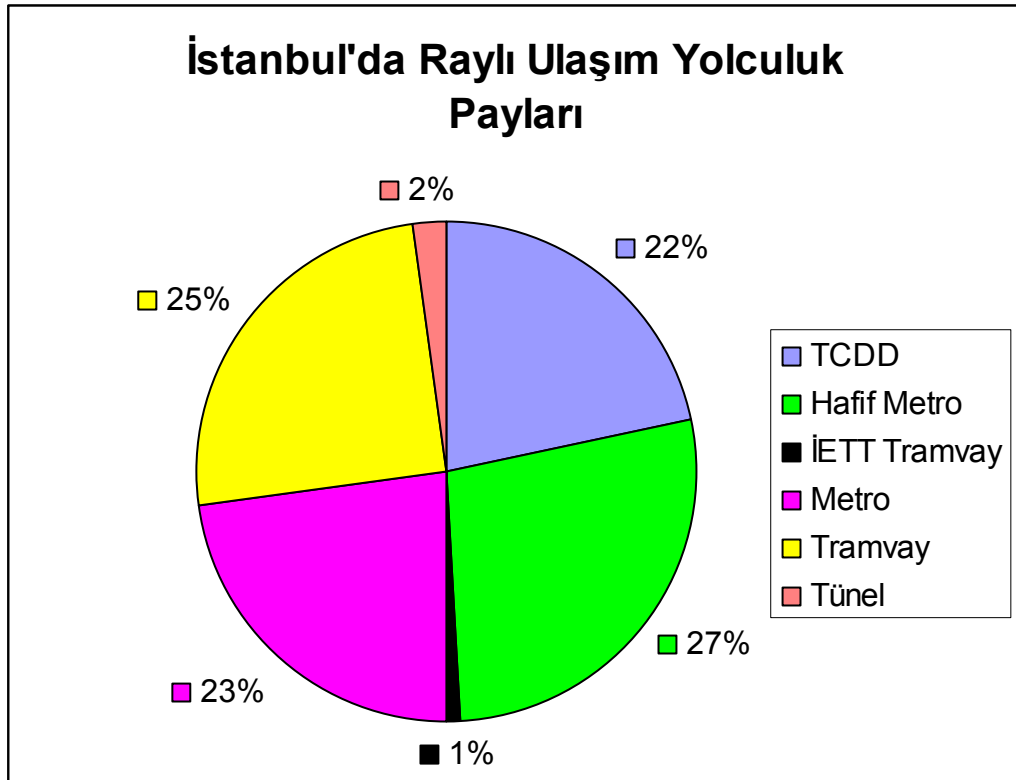
Araç sayısı	: 55
Sefer süresi	: 42,5 dakika
İşletme saatleri	: 06:00 / 00:00
Günlük yolcu sayısı	: 190.000 yolcu / gün
Günlük sefer sayısı	: 385
Sefer sıklığı	: Pik saatte 5

Nostaljik tramvay: 01 Kasım 2003 tarihinde hizmete giren Kadıköy-Moda Tramvayı'nda 2,6 km'lik sistemde 10 istasyon yer almaktadır. 4 adet tramvay aracının çalıştığı Kadıköy- Moda tramvayı; Kadıköy meydanından hareket edip, otobüs özel yolu ve Bahariye Caddesini takip ederek Moda caddesi üzerinden tekrar Kadıköy meydanına gelmektedir.

Hat uzunluğu	: 2,6 Km
İstasyon sayısı	: 10
Araç sayısı	: 4
Sefer süresi	: 21 dakika
İşletme saatleri	: 07:00 / 20:00
Günlük yolcu sayısı	: 2.000 yolcu / gün
Günlük sefer sayısı	: 81
Sefer sıklığı	: 7

Tünel Hattı: İstanbul'da halen hizmet vermekte olan dünyanın en eski 3. yeraltı metrosu olan ve Galata-Beyoğlu arasında halen hizmet veren TÜNEL 5 Aralık 1874 tarihinde hizmete girmiştir. Arabalarla birlikte toplam 350.000 sterlin'e malolan tünel'de,önceleri sadece eşya ve hayvanlar taşınmış, 17 Ocak 1875 tarihinden itibaren yolcu taşınmasına başlamıştır. Açıldığı günden bu yana aralıksız hizmet veren TÜNEL hergün binlerce yolcuyla Karaköy' den Galata ve İstiklal Caddesi aracılığı ile Beyoğlu' na karşılıklı olarakta Beyoğlu' ndan Karaköy' e taşımaktadır. Ülkemizin aktif olarak en eski raylı sistemlerinden biri olan Karaköy - Galata Tüneli işletmeciliğini İETT yapmaktadır.Günümüzde İstanbul Kent İçi Ulaşımının Entegre edilebilmesi, şehir içi ulaşımın hızlandırılarak modernize edilmesi amacı ile Raylı Sistem Proje ve inşaatlarına hız verilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında deniz ulaşımı ile raylı sistemleri entegre edecek proje olan Taksim - Kabataş Funiküleri üzerinde yoğunlaşmış ve çalışmalar da son aşamaya gelmiştir. Proje tamamlandığında şu an hizmet vermekte olan Taksim - 4. Levent (Ayazağa - Yenikapı) Metrosu, Taksim

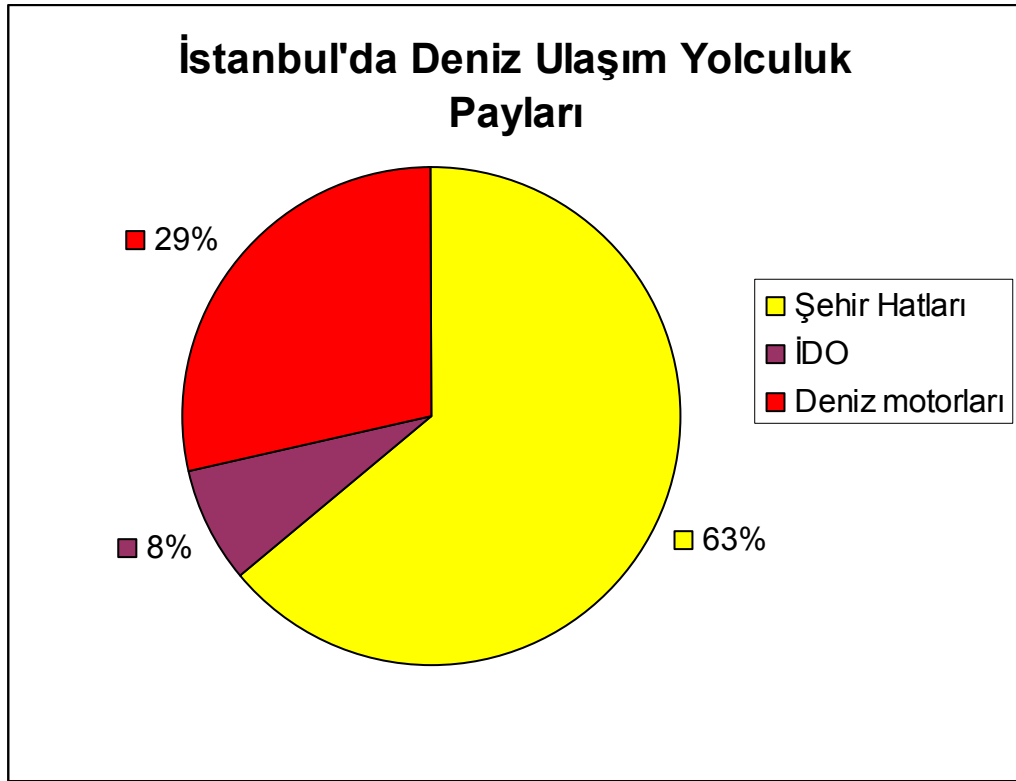
- Tünel Nostaljik Tramvayı, Taksim otobüs ve dolmuş durakları ile Zeytinburnu - Fındıklı (Kabataş - Bağcılar) tramvayı, Kabataş İDO vapur, feribot ve denizotobüsü iskeleleri arasında entegrasyon sağlanarak ilerleyen dönemde İstanbul'luların Havalimanı'ndan sadece raylı sistem ile Taksim metrosuna ve Kabataş ve Beşiktaş gibi deniz ulaşımı araçlarının yoğun kullanıldığı bölgelere erişimi sağlanacaktır. Taksim- Kabataş Funiküler hattın uzunluğu 0.6 km olup 9.000 yolcu kapasite ile çalışması planlanmaktadır.[27]



Şekil 5.3: İstanbul'da raylı ulaşım yolculuk payları[26]

5.1.3 Deniz Yolları

İstanbulda deniz ulaşımı şehir hatları vapurları, deniz otobüsleri ve deniz motorlarıyla yapılmaktadır. İstanbulda şu anda Bandırma-Yenikapı, Bandırma-Yalova ve Pendik-Yalova arasında çalışan 6 tane hızlı feribot vardır. Ayrıca ido'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.[28]

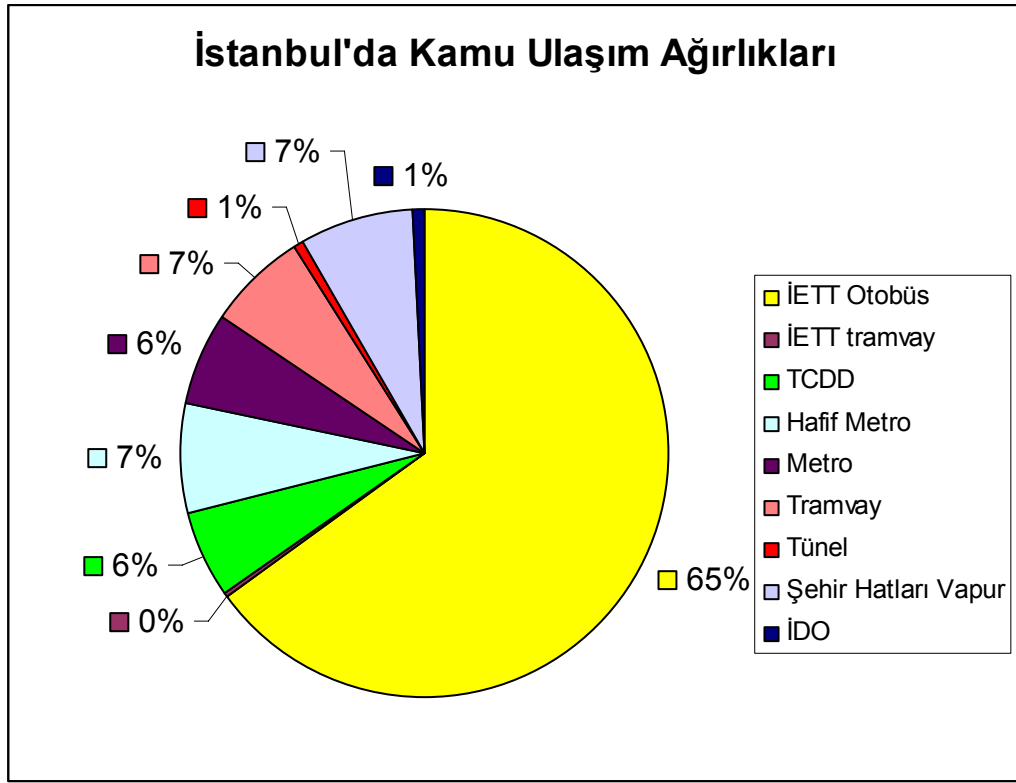


Şekil 5.4: İstanbul'da deniz ulaşım yolculuk payları[26]

5.2 İETT Hasanpaşa Garajına Ait Otobüslerin CO₂ Emisyonlarının İncelenmesi

5.2.1 Aylara Göre Otobüslerin Ortalama Yakıt Tüketimlerinin Bulunması

İETT hasanpaşa garajında 100 tane çift yakıtlı otobüs, 20 tane körüklü otobüs ve 66 tane normal otobüs bulunmaktadır. Normal otobüsle kast edilen otobüsler, diesel tahrikli körüklü olmayan otobüslerdir. Hasanpaşa garajından herbir otobüse ve herbir güne ait otobüslerin tükettikleri yakıt miktarları ve kat ettikleri yol mesafeleri bilinmektedir. Bu bilinen bilgiler ışığı altında herbir otobüs için aylara 2005 nisan ayından 2006 ocak ayına kadar herbir otobüsün tükettiği yakıt miktarı ve kat edilen yol hesaplanabilmektedir. Bu otobüsler cinslerine ayrılarak 2005 nisan ayından 2006 ocak ayı da dahil olmak üzere sırasıyla körüklü otobüslerin, normal otobüslerin ve çift yakıtlı otobüslerin bu aylarda ne kadar yakıt tükettikleri ve kaç km yol aldıkları belirlenebilmektedir. Otobüs türlerine göre belirlenen bu değerlerden o ay içinde ortalama yakıt tüketimleri hesaplanabilmekte bu hesaplanan ortalama yakıt tüketiminde yola çıkılarak sırasıyla körüklü otobüslerin, normal otobüslerin ve çift yakıtlı otobüslerin 100 km'de tükettikleri yakıt miktarı litre olarak bulunmuştur.



Şekil 5.5: İstanbul'da kamu ulaşım ağırlıkları[26]

Tablo 5.2: Otobüslerin aylara göre ortalama yakıt tüketimleri

Otobüs Türleri	Yakıt tüketimi litre/100 km				
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
Körüklü Otobüsler	45,65	45,52	45,52	45,52	45,57
Normal Otobüsler	47,99	46,90	46,90	46,90	46,48
Çift yakıtlı Otobüsler	46,86	44,44	39,08	41,69	35,55

Tablo 5.3: Otobüslerin aylara göre ortalama yakıt tüketimleri

Otobüs Türleri	Yakıt tüketimi litre/100 km				
	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	48,12	48,12	52,88	53,09	48,32
Normal Otobüsler	46,51	46,51	47,62	46,84	47,42
Çift yakıtlı Otobüsler	35,77	35,07	35,89	36,33	37,29

Yukarıdaki tablolardan görüldüğü gibi normal otobüsler aylara göre neredeyse hep aynı miktar yakıtı tüketmektedirler. Çok büyük bir değişiklik olmamaktadır. Körüklü otobüslerde ise aylara göre dalgalanmalar meydana gelmektedir. Özellikle kış aylarında ortalama yakıt tüketimi oldukça artmaktadır. Bunun sebebi körüklü otobüslerin özellikle kış aylarında çok fazla yolcu taşınması ile artan yakıt tüketimi ve kış aylarında hava şartlarından dolayı da oluşabilecek olan trafik tıkanmaları sonucunda yakıt tüketiminin oldukça artmasıdır. Çift yakıtlı otobüslere bakıldığında aylara göre çok büyük bir değişim gözükmemektedir. Çift yakıtlı otobüsler hem dizel

tahrikli çalışabildikleri gibi hemde çift yakıtlı yani diesel ve doğalgazın birlikte çalışabildiği moda da geçebilmektedirler. Bu otobüsler ağustos ayından itibaren çift yakıtlı olarak çalıştıkları aşıkardır. Fakat ağustos ayından önce özellikle nisan ve mayıs aylarında dizel olarak çalışmaktadırlar. Bunu sebebi bu aylarda bu motorların çift yakıtlı sisteminde kaynaklanan bir arızadan dolayı olmuştur. Bu yüzden karbon dioksit emisyonlarının hesaplamaları yapılırken nisan, mayıs, haziran ve temmuz ayları için yukarıdaki tablolardaki değerler kullanılamaz. İett hasanpaşa garajından alınan doğalgaz faturalarının değerleri tablo 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4: İett hasanpaşa garajı doğalgaz fatura bilgileri

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Mevcut Harcama m ³	36000	51000	84000	83000	86000	97000	96000

Yukarıdaki tablodan da görülebileceği gibi mevcut harcamalar nisan ve mayıs aylarında oldukça azdır. Bu değerler kendi başlarına herhangi bir şey ifade etmemektedirler. Çift yakıtlı otobüslerin bu aylarda yaptıkları aylara göre bilindiğinden doğalgazın ortalama yakıt tüketimleri bulunabilmektedir.

Tablo 5.5: İett Hasanpaşa Garajı çift yakıtlı otobüslerin ortalama doğalgaz tüketimi

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Mevcut Harcama m ³ /100 km	7,2	9,77	16,85	19,33	20,30	20,17	18,02

İett hasanpaşa garajı çift yakıtlı otobüslerin ortalama doğalgaz tüketimine bakıldığında temmuz ayından sonra bir düzelme olduğu görülmüştür. Nisan ve mayıs aylarında bu otobüslerin neredeyse tamamen diesel tahrikli olarak çalıştıkları aşıkardır. Temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarının yakıt tüketim ortalamaları alınıp diğer aylardada çift yakıtlı otobüslerin bu miktarda doğalgaz tükettiklerini düşünmek daha doğru bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Yine aynı şekilde çift yakıtlı otobüslerin tükettikleri motorin miktarı düşünüldüğünde ağustos, eylül, ekim, kasım, aralık ve ocak aylarında tüketilen ortalama yakıt miktarının ortalaması alınarak diğer aylara uygulanması daha doğru bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu yaklaşımın doğruluğunu kanıtlamak için her bir otobüsün her bir güne ait tükettikleri

motorin miktarı ve kat ettikleri yol miktarı bilindiğine göre yapılan hesaplamalar 1 ay için herbir otobüs için 60 değer ve 100 otobüs olduğuna göre 1 ay için 6000 veri bilgisayara girilerek bulunmuştur. Ağustos ayından ocak ayına kadar 6 ay olduğuna göre toplam 36000 değer bilgisayara girilmiş ve ortaya çıkan sonuç tablo 5.3 de görüldüğü gibi hep aynı çıkmaktadır. Bu varsayımdan yola çıkılarak yukarıda kullanılan yöntemin doğruluğu ortaya çıkmaktadır. Aylara göre körüklü otobüslerin, normal otobüslerin ve çift yakıtlı otobüslerin ortalama yakıt tüketimleri tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Otobüs türlerinin aylara göre yakıt tüketimleri

Otobüs Türleri	Nisan		Mayıs		Haziran	
	Mazot	Doğalgaz	Mazot	Doğalgaz	Mazot	Doğalgaz
	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km
Körüklü Otobüsler	45,65		45,52		45,52	
Normal Otobüsler	47,99		46,90		46,90	
Çift yakıtlı Otobüsler	35,77	19	35,77	19	35,77	19

Tablo 5.7: Otobüs türlerinin aylara göre yakıt tüketimleri

Otobüs Türleri	Temmuz		Ağustos		Eylül	
	Mazot	Doğalgaz	Mazot	Doğalgaz	Mazot	Doğalgaz
	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km
Körüklü Otobüsler	45,52		45,57		48,12	
Normal Otobüsler	46,90		46,48		46,51	
Çift yakıtlı Otobüsler	35,77	19,3	35,77	20,2	35,77	20,2

Tablo5.8: Otobüs türlerinin aylara göre yakıt tüketimleri

Otobüs Türleri	Ekim		Kasım		Aralık		Ocak	
	Mazot	Doğal Gaz	Mazot	Doğal Gaz	Mazot	Doğal Gaz	Mazot	Doğal Gaz
	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km	l/100 km	m ³ /100 km
Körüklü Otobüsler	48,12		52,88		53,09		48,32	
Normal Otobüsler	46,51		47,62		46,84		47,42	
Çift yakıtlı Otobüsler	35,06	18	35,88	18	36,37	19	35,77	19

Yapılacak olan karbon dioksit emisyonlarının hesabı yukarıdaki yakıt tüketimleri göz önüne alınarak yapılacaktır.

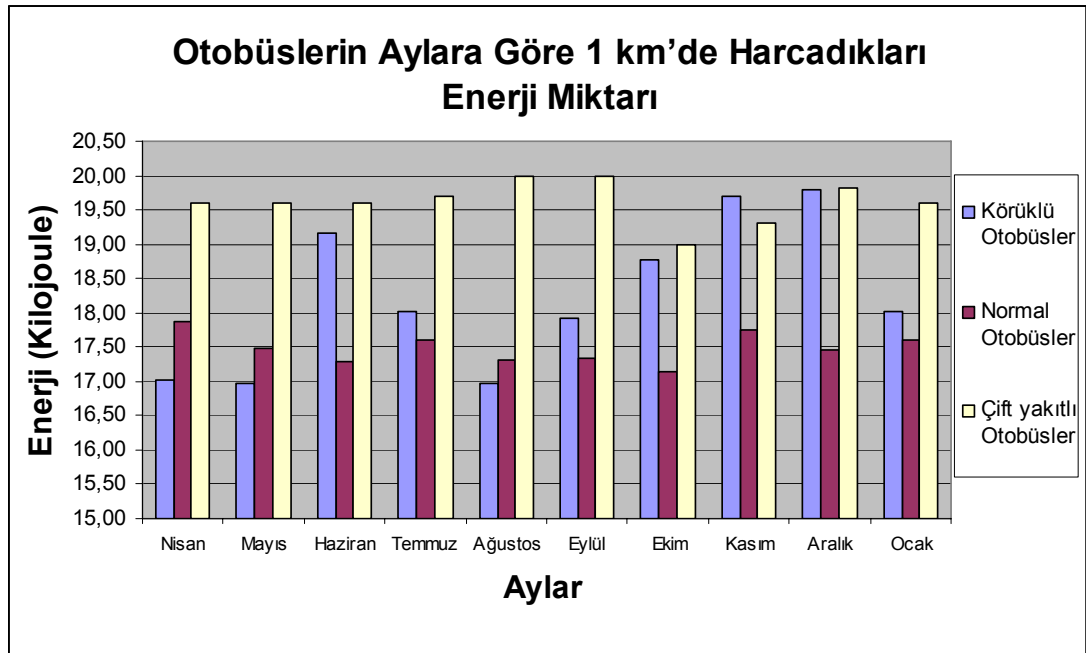
5.2.2 1 Km’de Oluşan CO₂ Emisyonlarının ve Yakıt Maliyetinin Hesaplanması

Aylara göre yakıt tüketimi göze önüne alındığında otobüslerin bu aylarda 1 km yaptıklarında ortaya çıkan enerji, maliyet ve karbon dioksit emisyonları hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamaların hepsi daha önce anlatılan tier 1 yöntemi baz alınarak yapılmıştır.

Tablo 5.9: Otobüslerin aylara göre 1 km’de harcadıkları enerji miktarı (kilojoule)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	17,01	16,96	19,16	18,01	16,98	17,93	18,78	19,71	19,78	18,01
Normal Otobüsler	17,88	17,48	17,28	17,59	17,32	17,33	17,15	17,74	17,45	17,59
Çift Yakıtlı Otobüsler	19,60	19,60	19,60	19,69	19,99	19,99	19,00	19,31	19,82	19,60

Yukarıdaki tabloya göre normal otobüsler aylara göre bakıldığında ve 1 km baz alındığında fazla bir değişiklik göstermedikleri bellidir. Körüklü otobüslerde ise küçük değişimler gözlenmektedir. Bunun sebebi körüklü otobüslerin aylara göre yakıt tüketimlerinin çok fazla değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.6: Otobüslerin aylara göre 1 km’de harcadıkları enerji miktarı

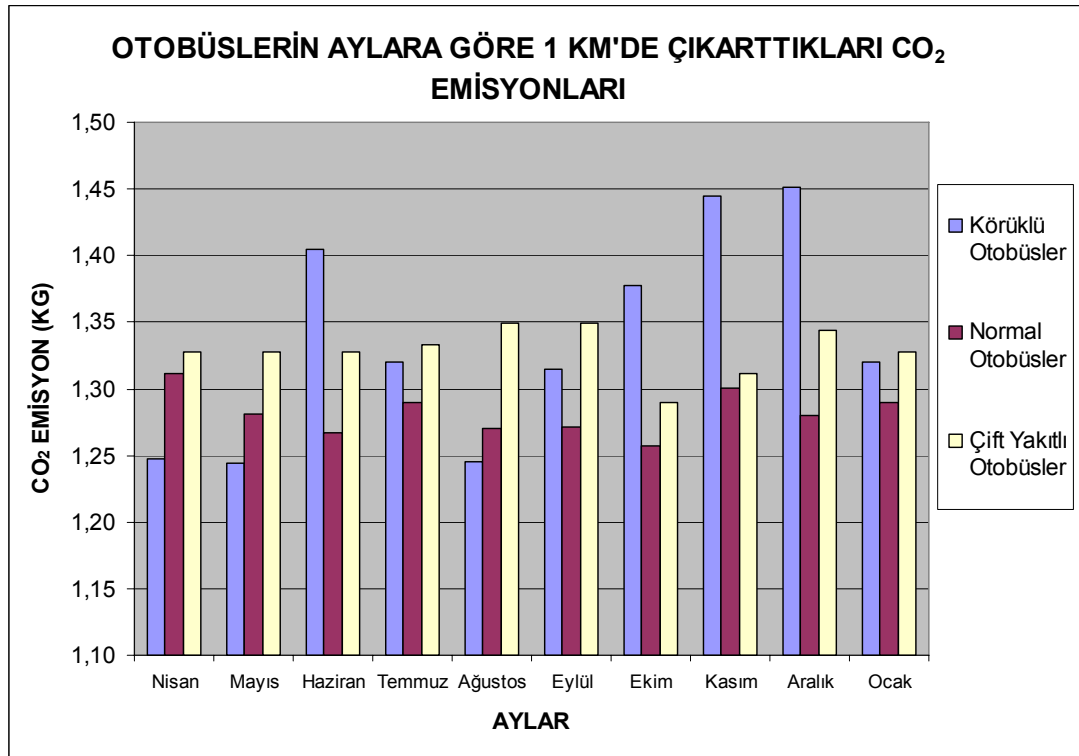
Çift yakıtlı otobüsler diğer otobüslere göre 1 km yol almak için daha fazla enerji harcamak zorundadırlar.

Şekil 5.6’da da belirttiği gibi genel olarak çift yakıtlı otobüsler normal ve körüklü otobüslere göre 1 km yol alabilmek için daha fazla enerji harcamaktadırlar. Bu doğalgazın getirdiği avantajlara ters düşmektedir.

Tablo 5.10: Otobüslerin aylara göre 1 km’de çıkarttıkları CO₂ emisyonları

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	1,25	1,24	1,41	1,32	1,25	1,31	1,38	1,44	1,45	1,32
Normal Otobüsler	1,31	1,28	1,27	1,29	1,27	1,27	1,26	1,30	1,28	1,29
Çift Yakıtlı Otobüsler	1,33	1,33	1,33	1,33	1,35	1,35	1,29	1,31	1,34	1,33

Karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında çift yakıtlı otobüslerin 1 km’de çıkarttıkları karbon dioksit emisyonları normal otobüslere göre her zaman daha fazla, körüklü otobüslere göre ekim, kasım ve aralık ayları dışında daha fazladır. Ekim, kasım ve aralık aylarında körüklü otobüslerin yakıt tüketimi daha fazladır.



Şekil 5.7: Otobüslerin aylara göre 1 km’de çıkarttıkları CO₂ emisyonları

Şekil 5.7’de de fark edilebileceği gibi normal otobüsler çift yakıtlı ve körüklülere göre nisan ayında %1,22 ve %-4,87, mayıs ayında %3,57 ve %-2,94, haziran ayında %4,72 ve 10,87, temmuz ayında %3,3 ve %2,34, ağustos ayında %6,23 ve %-1,96, aralık ayında %4,98 ve %13,36 oranında fazla CO₂ üretmektedirler

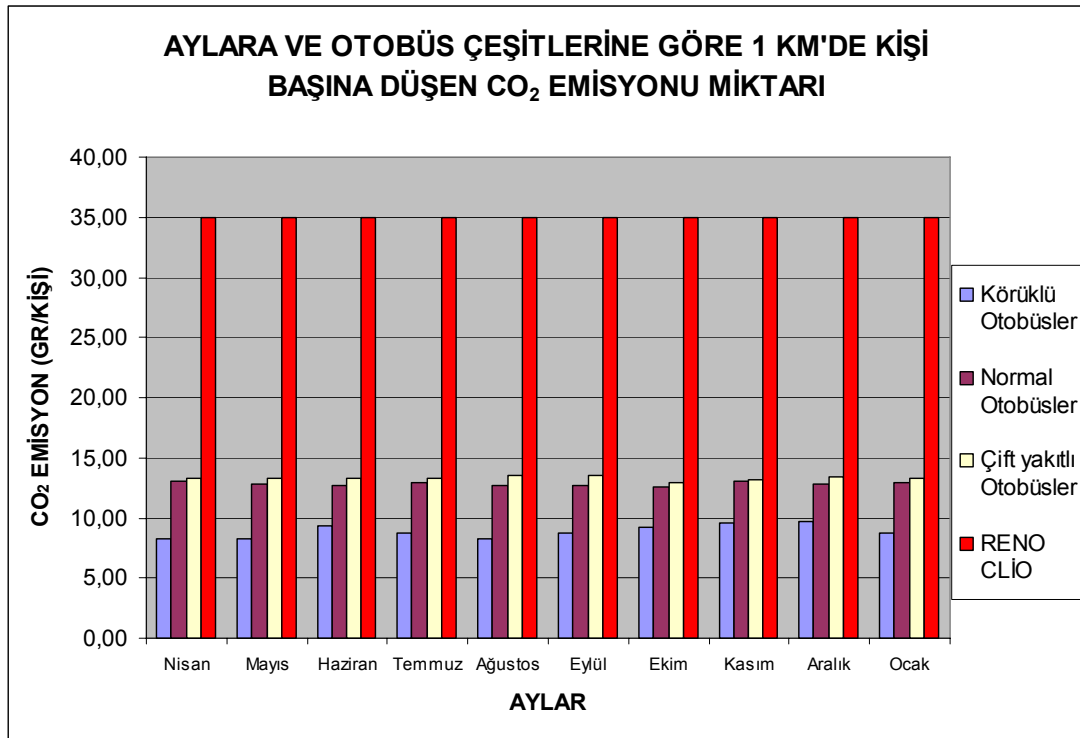
Çift yakıtlı ve normal otobüslerin değerleri aylara göre fazla değişmezken, körüklü otobüslerin değerleri fazlaca dalgalanmaktadır. Çift yakıtlı otobüslerin 1 km’de daha fazla karbon dioksit emisyonu çıkartması doğalgazın getireceği avantajlara ters düşmektedir. Tabiki otobüsler normal otomobil sınıfındaki araçlara göre daha fazla

karbon dioksit emisyonu çıkartmaktadırlar fakat bu araçların otomobillerden daha fazla insan taşıyabildikleri bilinen bir gerçektir. Kişi başına düşen emisyonlara bakıldığında,

Tablo5.11: Otobüslerin aylara göre 1 km’de kişi başına çıkarttıkları CO₂ emisyonları (gr)

	Nisan	Mayıs	Hazira	Temmuz	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aral	Ocak
Körüklü Otobüsler	8,32	8,29	9,37	8,80	8,30	8,77	9,18	9,63	9,67	8,80
Normal Otobüsler	13,11	12,81	12,67	12,90	12,70	12,71	12,5	13,01	12,8	12,9
Çift Yakıtlı Otobüsler	13,27	13,27	13,27	13,33	13,49	13,49	12,8	13,12	13,4	13,2
Reno Clio	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

Tablo 5.11’de görüldüğü gibi toplu taşımacılığın karbon dioksit emisyonlarına ve küresel ısınma sorununa önemli bir yararı vardır.



Şekil 5.8: Otobüslerin aylara göre 1 km’de kişi başına çıkarttıkları CO₂ emisyonları

Burada yapılan hesaplamalar körüklü otobüslerin 150, normal otobüslerin 100 ve çift yakıtlı otobüslerin de 100 kişi taşıdıkları düşünülerek yapılmıştır. Bu değerler bu tip otobüslerin kataloğunda bulunan değerlerdir.

Şekil 5.8'den anlaşılabileceği gibi otobüsler cinsi ne olursa olsun otomobil olarak adlandırılan taşıtlara göre daha avantajlıdır. Yapılan hesaplamalarda reno clio seçilmesinin nedeni son yıllarda bu arabaların çok satılmasından kaynaklanmaktadır. Reno Clio'nun kataloğuna göre kilometrede 140 gr karbon dioksit emisyonu çıkarttığı belirtilmiştir. Eğer iyimser bir tahminle bu araçlarda 4 kişinin seyahat ettiği düşünülürse 1 km de kişi başına düşecek emisyon miktarı 35 gram olacaktır. Daha öncede bahsedildiği gibi körüklü otobüsler 150 kişi, normal ve çift yakıtlı otobüsler ise 100 kişi taşıyorlarmış gibi düşünülmüştür. Aslında bilindiği gibi bu otobüsler özellikle sabah saatlerinde ve akşam saatlerinde çok daha fazla insanı taşıyabilme kapasitesine sahiptirler. Bu aralıklarda kişi başına düşen karbon dioksit emisyonları çok daha azalmaktadır. Yukarıdaki tabloya ve şekle tekrar bakıldığında çift yakıtlı otobüslerin diğer tip otobüslere göre hemen hemen her ayda kişi başına düşen karbon dioksit emisyonları daha fazladır.

Körüklü otobüslerin ise bütün cins taşıtlara göre 1 kişi başına düşen karbondioksit emisyonları daha düşüktür. Bunun tek nedeni bu tür otobüslerin diğer taşıtlara nazaran çok fazla insan taşıyabilme kapasiteleridir. Özellikle kış aylarında körüklü otobüslerin karbon dioksit emisyonları diğer otobüslere göre daha fazla olmasına rağmen kişi başına düşen emisyonları oldukça düşüktür. Reno Clio baz alınarak yapılan hesaplamalarda körüklü otobüsler, normal otobüsler ve çift yakıtlı otobüsler sırasıyla nisan ayında %76,24, %62,54 ve %62,18, haziran ayında %73,27, %63,29 ve %62,08, eylül ayında %74,95, %63,14, ve %61,92, aralık ayında ise %72,34, %63,44 ve %61,61 oranında daha az karbon dioksit emisyonu çıkardıkları hesaplanmıştır. Küresel ısınma sorunu bakımından toplu taşımacılığın özendirilmesi gerektiği aşıkardır.

1 km'de kullanılan yakıtın maliyetine bakıldığında,

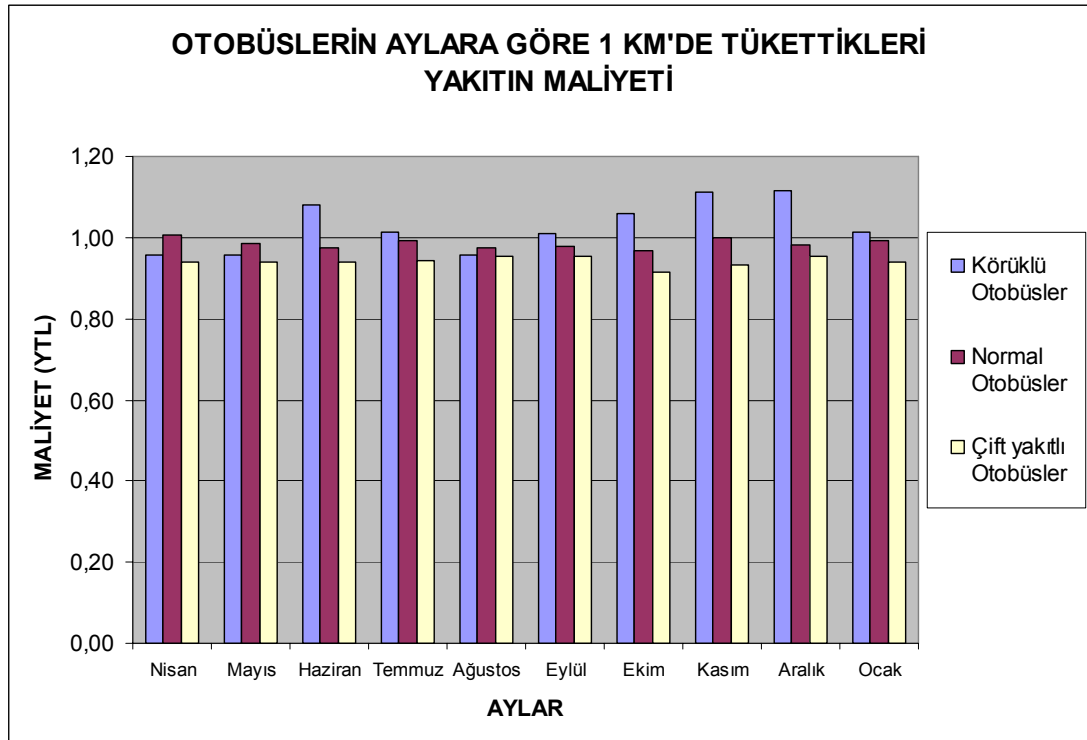
Otobüslerin 1 km'de kullandıkları yakıtın maliyetine bakıldığında tablo 5.12'de görüldüğü gibi çift yakıtlı otobüsler diğer körüklü ve normal otobüslere göre daha az maliyetlidir. Bunun nedeni doğalgazın getirdiği avantajdan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.12: Otobüslerin aylara göre 1 km’de kullandıkları yakıtın maliyeti(YTL)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	0,96	0,96	1,08	1,01	0,96	1,01	1,06	1,11	1,11	1,01
Normal Otobüsler	1,01	0,98	0,97	0,99	0,98	0,98	0,97	1,00	0,98	0,99
Çift Yakıtlı Otobüsler	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,92	0,93	0,95	0,94

Hesaplamalar yapılırken doğalgazın fiyatı 1 YTL, motorinin fiyatı ise 2,1 YTL olarak alınmıştır. İşte bu aradaki farktan dolayı her ne kadar çift yakıtlı otobüsler daha fazla yakıt tüketselerde, kullandıkları yakıtın maliyeti düşünüldüğünde diğer otobüslere göre avantajlı olmaktadır.

Şekil 5.9’dan anlaşılabileceği gibi çift yakıtlı otobüsler normal ve körüklü otobüslere göre sırasıyla nisan ayında %7,07 ve %1,86, haziran ayında %3,49 ve %14,74, ağustos ayında %2,41 ve %0,41, ekim ayında %5,45 ve %15,51, aralık ayında ise %3,11 ve %16,90 oranlarında daha karlıdırlar. Çift yakıtlı otobüslerin körüklü ve normal otobüslere göre karbon dioksit emisyonları açısından daha zararlı iken, maliyet açısından daha faydalı oldukları bellidir.



Şekil 5.9: Otobüslerin aylara göre 1 km’de kullandıkları yakıtın maliyeti

Unutulmalıdır ki körüklü otobüsler çift yakıtlı ve normal otobüslere göre çok daha fazla insan taşıma şansına sahiptirler. Kişi başına düşen maliyetlere bakıldığında

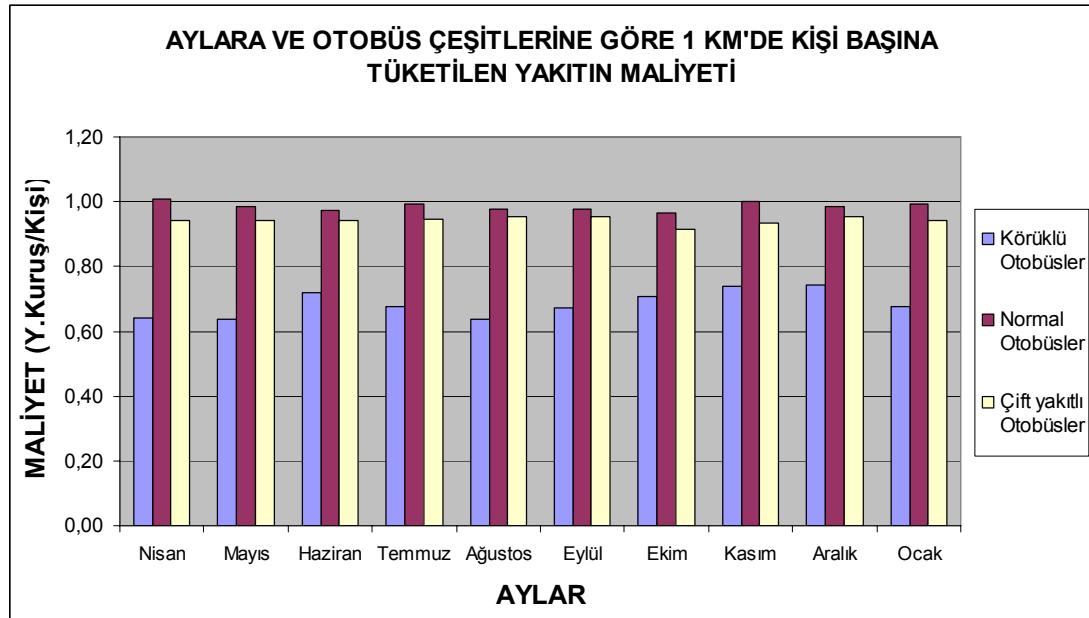
körüklü otobüslerin 150, normal ve çift yakıtlı otobüslerin ise 100 kişi taşıdığı düşünülürse 1 km’de şu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.13: Otobüslerin aylara göre 1 km’de kişi başına düşen yakıtın maliyeti(YK)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	0,64	0,64	0,72	0,68	0,64	0,67	0,71	0,74	0,74	0,68
Normal Otobüsler	1,01	0,98	0,97	0,99	0,98	0,98	0,97	1,00	0,98	0,99
Çift Yakıtlı Otobüsler	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,92	0,93	0,95	0,94

Tablo5.13’de görüldüğü gibi 1 km’de kişi başına düşen yakıtın maliyeti söz konusu olduğunda körüklü otobüslerin önemli bir avantajı olmaktadır. Diğer tip otobüslere göre çok daha fazla insan taşıyabildiği için kişi başına maliyette düşük olmaktadır.

Körüklü otobüsler hem kişi başına düşen karbon dioksit emisyonları açısından hemde kişi başına tüketilen yakıtın maliyeti açısından son derece yararlı taşıtlardır. Otobüslerin kilometre bazında otomobillere göre çok daha fazla yakıt tüketmesine ve yakıt maliyetinin çok daha fazla olmasına rağmen kişi başına maliyet göz önüne alındığında otomobillerle karşılaştırılmayacak kadar az maliyetli oldukları ortadadır.



Şekil 5.10: Otobüslerin aylara göre 1 km’de kişi başına düşen yakıtın maliyeti

Özellikle sabah ve akşam saatlerinde otobüslerin yolcu kapasitesinden daha fazla yolcu taşıdıkları bilindiğine göre bu saatlerde hem kişi başına düşen karbon dioksit hemde kişi başına düşen yakıt maliyeti daha da azalmaktadır. Toplu taşımacılığın özendirilmesi küresel ısınma sorunu açısından ve milli gelir açısından önemlidir.

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

Tablo 5.14:Hasanpaşa garajındaki hatlar ve çeşitli özellikleri

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-ÜMRANİYE	28.15	125	42	15
8	11C	USKUDAR-EMNİYET MAHALLESİ	17.35	90	23	30
9	11D	USKUDAR-INKILAP MAH.	34.4	120	42	40
10	11E	USKUDAR-ESATPAŞA	24	100	32	40
11	11K	USKUDAR-KAZİM 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-INKILAP MAH.	31.05	130	44	35
23	14F	KADIKÖY-KUPLUCE MAH.	23.4	100	33	49
24	14K	KADIKÖY-KAZİM 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-UMRANİYE	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 hergün 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 öncede belirtildiği gibi tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Hasanpaşa garajında otobüsler 40 değişik hatta çalışmakta ve bu hatların hepsinin uzunlukları ve sefer adedleri tam olarak bilinmektedir.

Örnek olarak hesaplaması gösterilecek hat 3A Kadıköy-Ünalan Mahallaesi hattıdır. Hattın uzunluğu 16,6 km, ortalama gidiş geliş süresi 60 dakika, hattaki durak sayısı 38 ve sefer adedi 70'dir.

Tablo 5.14'de sefer adedleri haftaiçi günlük sefer adedlerini temsil etmektedir. Bu hat için Cumartesi sefer adedi 64 Pazar günü sefer adedi ise 24'dür. İETT hasanpaşa garajı 100 günlük iş tevzii dosyalarından haftaiçi, 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. Bir aya bakıldığında iş tevzii dosyalarından 10 ay için 100 tane alınmıştır bu 1 ay için 10 günlük dosya demektir. Bu 10 günün 8 günü iş günü 1 günü Cumartesi ve 1 gününde pazardır. Çıkan sonuçlara göre hesaplama örneğinin verileceği 3A hattı için otobüslerin günlere göre nasıl çalıştıkları aralık ayı için tablo 5.15'de gösterilmiştir.

Tablo 5.15: 3A hattı için gün çeşitlerine göre otobüs çalışma listesi

	Haftaiçi	Cumartesi	Pazar
Körüklü Otobüsler	-	-	-
Normal Otobüsler	1	3	1
Çift yakıtlı Otobüsler	4	1	1

Yukarıdaki tabloya göre zaten sınırlı sayıda bulunan körüklü otobüsler aralık ayı boyunca 3A hattında hiç çalışmazken, normal otobüsler haftaiçi 1 adet, Cumartesi günü 3 adet ve Pazar günü 1 çalışmaktadırlar. Çift yakıtlı otobüsler ise haftaiçi 4 adet, Cumartesi günü 1 adet ve Pazar günü 1 çalışmaktadırlar. Pazar günü 24 adet sefer olduğu bilindiğine göre rahatlıkla bunun 12 adedinin çift yakıtlı otobüsler tarafından, diğer 12 adedinin de normal otobüsler tarafından yapıldığı söylenebilir. Yapılan hesaplamalarda bütün aylar için bütün hatlarda iş tevzii dosyalarından hangi hatta hangi çeşit otobüs kaç adet çalıştığı hesaplanmış. Bütün hatların haftaiçi 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 karbon dioksit emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması, 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü karbon dioksit emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması örneğindeki gibi bütün hatlar ve gün çeşitleri için yapılmıştır.

Tablo 5.16: 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması

3A	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 Otobüsler	53,09		0,53		0,86	0,68
Normal Otobüsler	46,84		0,47		0,86	0,68
Çift Yakıtlı Otobüsler	36,37	19,00	0,36	0,19	0,86	0,68

Tablo 5.16’da da görüldüğü gibi aralık ayında 100 km’de körüklü otobüsler ortalama 53 litre motorin, normal otobüsler ortalama 47 litre motorin ve çift yakıtlı otobüsler 36 litre motorinin yanı sıra ve 19 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 5.17: 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması

3A	YAKIT		MALİYET		MALİYET	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	kg/km	kg/km	YTL/l	YTL/m ³	YTL/kg	YTL/kg
Körüklü Otobüsler	0,46		2,10	1,00	2,44	1,47
Normal Otobüsler	0,40		2,10	1,00	2,44	1,47
Çift Yakıtlı Otobüsler	0,31	0,13	2,10	1,00	2,44	1,47

lt/km ve m³/km cinsinden yakıtı yoğunluğa bölündüğünde yakıtın km başına kilogram değeri bulunmaktadır. Bu değerler motorin için 0,31 kg olurken, doğalgaz için 0,13 kg’dır. Motorinin litresinin fiyatı 2,1 YTL ve doğalgazın m³’ünün fiyatı 1 YTL’dir. Bu değerler motorinin ve doğalgazın yoğunluklarına bölünürlerse motorin ve doğalgazın kg bazında maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Kg bazında motorinin maliyeti 2,44 YTL olurken doğalgazın değeri 1,47 litredir.

Tablo 5.18: 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması

3A	HAT UZUNLUK	SEFER ADEDİ	YAKIT		MALİYET	
			Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	km		kg	kg	YTL	YTL
Körüklü Otobüsler						
Normal Otobüsler	16,60	12,00	80,24		195,93	
Çift Yakıtlı Otobüsler	16,60	12,00	62,31	25,74	152,14	37,85

3A hattının uzunluğu 16,6 km iken normal ve çift yakıtlı otobüsler bu hatta 12 şer sefer yapmaktadırlar. Sefer adetleri ile hat uzunluğunun çarpımı sayesinde hangi tip otobüsün hangi gün kaç kilometre yol katettikleri belirlenmektedir. Ortaya çıkan kilometre değeri daha önceden bulunan kg/km değeri ile çarpılırsa kg olarak yakıt ve maliyet ortaya çıkmaktadır. Normal otobüsün maliyeti 196 YTL olmaktadır. Çift yakıtlı otobüslerin ise yakıt maliyeti motorin ve doğalgazın maliyetinin toplanması sonucu 189 YTL olmaktadır. Bu sonuçta görüldüğü gibi çift yakıtlı otobüsler maliyet açısından normal ve körüklü otobüslere göre daha avantajlıdır.

Tablo 5.19: 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması

3A	Net Kalorifik Değer		Karbon faktörü		Oxide Faktörü	
	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz	Motorin	Doğalgaz
	Tj/kiloton	Tj/kiloton	Tonkarbon/TJ	Tonkarbon/TJ		
Körüklü Otobüsler	43,33	48,50	20,20	15,30	0,99	0,995
Normal Otobüsler	43,33	48,50	20,20	15,30	0,99	0,995
Çift Yakıtlı Otobüsler	43,33	48,50	20,20	15,30	0,99	0,995

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 tonkarbon/terajoule birimindeki karbon emisyon faktörleri ile çarpılarak yakıtın içindeki karbon miktarı bulunur. Yanlış yakıtın içindeki bütün karbon yanma sırasında yanmanında verimsizliğinden dolayı tamamen karbondioksit dönüşmez. Bunun için yakıtın içindeki bulunan karbon miktarının oxide faktörü ile çarpılması gerekmektedir. Sonuçta CO₂ emisyonlarına dönüşebilecek olan karbon miktarı tonkarbon cinsinden bulunmaktadır.

Tablo 5.20: 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının Pazar günü CO₂ emisyonlarının ve maliyetlerinin hesaplanması

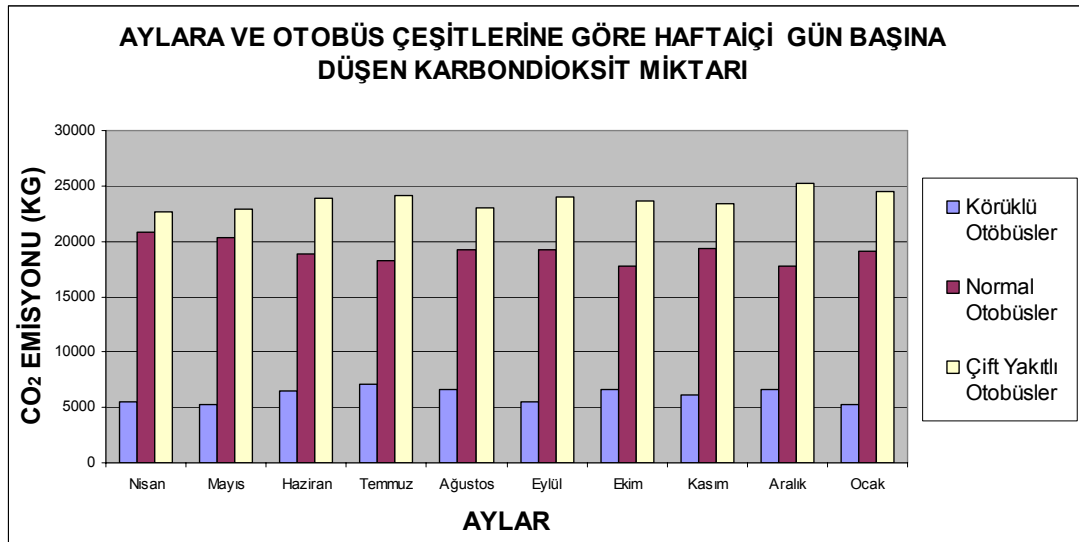
3A	CO ₂ Emisyonları		Toplam CO ₂ Emisyonları
	Motorin	Doğalgaz	
	kg	kg	kg
Körüklü Otobüsler	0,00		0,00
Normal Otobüsler	254,93		254,93
Çift yakıtlı Otobüsler	197,96	69,68	267,64

Tonkarbon cinsinden bulunan değer daha sonra kg cinsine çevrilmektedir. Karbonun moneküler ağırlığı 12, karbondioksitin moneküler ağırlığı 44 olduğuna göre kg olarak bulunmakta olan karbon değeri 44/12 değeri ile çarpılarak karbon dioksit emisyonları bulunabilir. 3A hattı Aralık ayı Pazar günü için yapılan hesaplamalarda normal otobüslerin karbon dioksit emisyonları 255 kg çıkarken, Çift yakıtlı otobüslerin karbon dioksit emisyonları 267,64 kg olmaktadır. Buradan da anlaşılabileceği gibi çift yakıtlı otobüsler karbon dioksit emisyonları açısından normal ve körüklü otobüsler baz alındığında daha fazla emisyon çıkarmaktadırlar. Tabiki 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 karbon dioksit emisyonlarının hesaplanmasında kullanılacak olan hesap yukarıda kullanılan hesaplama yöntemidir. Bu hesaplamalar Haftaiçi, Cumartesi ve Pazar günü olmak üzere 3 gün cinsine, her gün cinsinde bu otobüsler değişik 40 hatta çalışmalarına ve 10 ay bulunmasına dayanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak yukarıda yapılan hesaplama yönteminden 1200 tane yapılmıştır.

Tablo 5.21: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına CO₂ miktarı

Otobüs Çeşitleri	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	5532	5212	6533	7070	6604	5492	6634	6131	6584	5274
Normal Otobüsler	20799	20268	18799	18224	19190	19219	17696	19297	17767	19109
Çift Yakıtlı Otobüsler	22616	22849	23836	24175	23021	24052	23586	23356	25202	24481

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.



Şekil 5.11: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına CO₂ miktarı

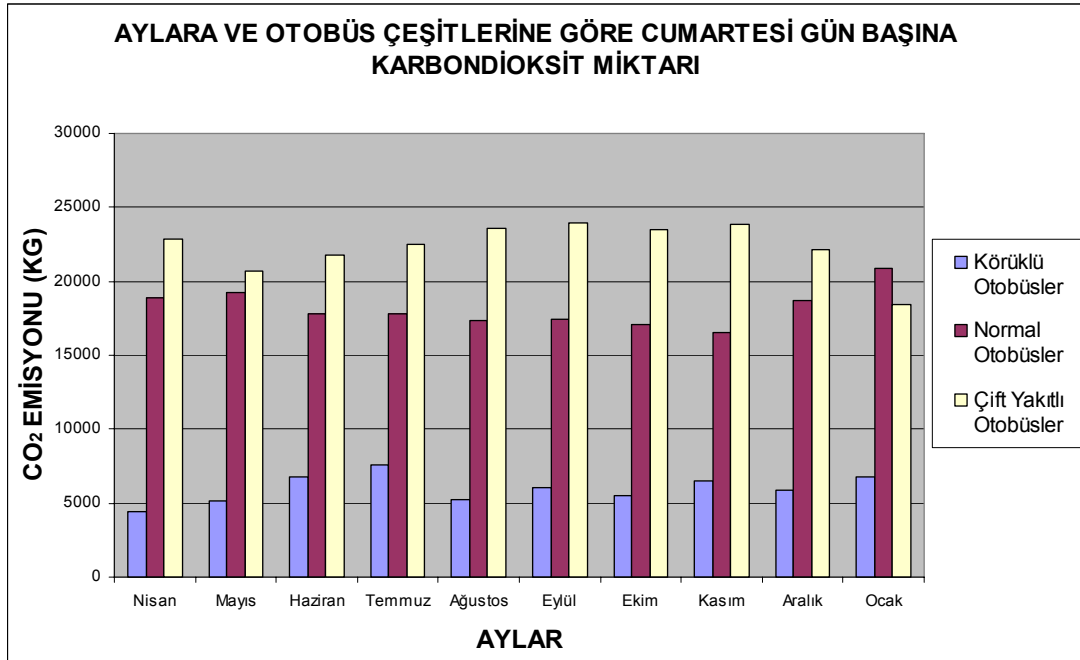
Şekil 5.11’de görüldüğü gibi körüklü otobüslerin karbon dioksit emisyonları diğer otobüslere göre çok daha azdır. Bunun sebebi bu tip otobüslerin sayılarının diğer tip otobüslere göre çok daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Körüklü otobüsler ortalama olarak haftaiçi gün başına 6 ton karbon dioksit çevreye salmaktadırlar. Bu otobüsler yakıt olarak sırf motorin kullandıklarına göre bu otobüsler 1 km yol aldıklarında 1,30 kg karbondioksit çıkardıklarına göre yaklaşık olarak toplam 4600 km yol almaktadırlar. Çift yakıtlı otobüsler hem çıkardıkları karbon dioksit miktarı bakımından hemde çalışan otobüs sayısı normal otobüslere ve körüklü otobüslere göre daha fazladır. Normal otobüsler ortalama olarak haftaiçi gün başına 19 ton karbon dioksit emisyonu oluşturmaktadırlar. Bu otobüslerde yakıt olarak sırf motorin kullandıklarına göre ve 1 km’de ortalama 1,28 kg karbon dioksit emisyonu çıkardıklarına göre yaklaşık olarak toplam 14500 km yol almaktadırlar.

Tablo 5.22: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre Cumartesi gün başına CO₂ miktarı (kg)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	4472	5177	6733	7599	5263	6051	5549	6540	5881	6760
Normal Otobüsler	18929	19222	17812	17843	17348	17434	17101	16492	18702	20852
Çift Yakıtlı Otobüsler	22847	20730	21791	22490	23615	23965	23510	23828	22137	18437

Çift yakıtlı otobüsler ise ortalama olarak haftaiçi gün başına 23,5 ton karbon dioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. 1 km’de 1,33 kg karbon dioksit emisyonu çıkardıklarına göre bu otobüsler haftaiçi gün başına 18000 km yol katetmektedirler.

Cumartesi gün başına ortaya çıkan karbon dioksit emisyonları hafta içi gün başına ortaya çıkan karbon dioksit emisyonlarına göre çok az miktarda azalmaktadır. Bunun sebebi Cumartesi günü sefer adedinin haftaiçine 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 haftaiçine göre daha fazla yol katettikleri söylenebilir. Cumartesi günleri körüklü otobüsler ortalama 6,5 ton karbondioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. Daha öncede bahsedildiği gibi 1 km’de körüklü otobüsler ortalama 1,28 kg karbon dioksit emisyonu çıkardıklarına göre körüklü otobüsler Cumartesi günleri 5000 km yol yapmışlardır denebilir. Fakat unutulmamalıdır ki bu 1.28 değeri ortalama bir değerdir ve aylara göre değişmektedir. Körüklü otobüslerin aylara göre yakıt tüketimleri oldukça değişkendir. Ortaya çıkan 5000 km sonucuda ortalama bir değer olmaktadır. Şekil 5.12’de görüldüğü gibi çift yakıtlı otobüsler cumartesi günleri hem körüklü otobüslere hemde normal otobüslere göre daha fazla karbon dioksit çıkarmaktadırlar.



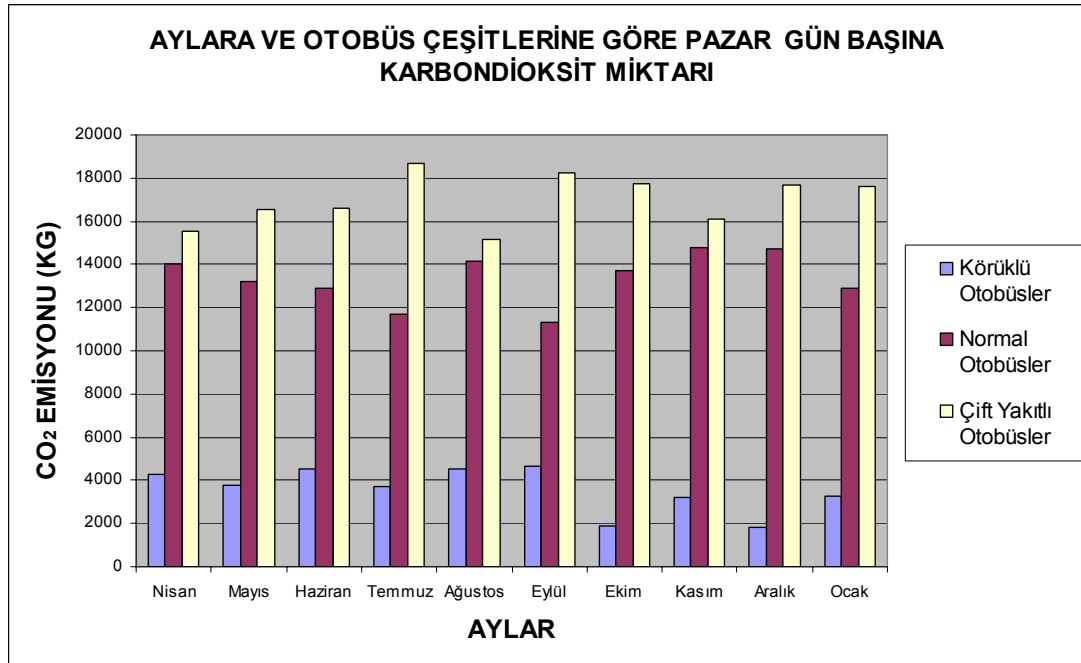
Şekil 5.12: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre Cumartesi gün başına CO₂ miktarı

Sefer adedleri düşsede hala normal otobüslere göre çift yakıtlı otobüsler fazla kullanılmaktadır. Ocak ayındaki değişimin sebebi ise ya normal otobüs sayısının çift yakıtlıdan o gün için daha fazla olması yada normal otobüs seferinin çift yakıtlıya göre o gün için daha fazla olması olabilir. Otobüsler numaralarına göre sabit hatlarda çalışmadıkları için normal otobüslerin o gün için daha uzun hatlarda kullanılıp daha

fazla yol kat ettikleride akla gelebilecek diğ er bir varsayımdır. Ç ift yakıtlı otobüsler Cumartesi gün baş ına ortalama olarak 22,5 ton karbondioksit emisyonu ç ıkarmaktadırlar. Bu rakamda yaklaşık olarak 17000 km'ye tekabül etmektedir. Normal otobüsler ise ortalama 17 ton karbon dioksit emisyonunu ç evreye salmakta, bu değ erde yaklaşık olarak 13000 km'ye denk gelmektedir.

Tablo 5.23: Aylara ve otobüs ç eşıtlrine göre pazar gün baş ına karbondioksit miktarı

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağ ustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	4276	3781	4521	3701	4504	4661	1868	3188	1817	3267
Normal Otobüsler	14019	13192	12868	11721	14161	11334	13679	14775	14715	12912
Ç ift Yakıtlı Otobüsler	15560	16557	16592	18675	15151	18236	17759	16098	17693	17631



Ş ekil 5.13: Aylara ve otobüs ç eşıtlrine göre pazar gün baş ına karbondioksit miktarı

Ş ekilden de anlaşılabileceğ i gibi Pazar günleri haftaiç ine ve Cumartesi gününe göre karbon dioksit emisyonlarında büyük bir düş üş gözlenmektedir. Bunun ana sebebi sefer adedlerinin pazar günü yolcu sayısının fazla olmayacağı düşünülerek büyük miktarlarda azaltılmasıdır. Körüklü otobüsler diğ er günlerde olduğ u gibi aylara göre dalgalı bir seyir izlemektedir. Bunu ana nedeni yakıt tüketimindeki dengesizliktir. Körüklü otobüsler ortalama 4000 kg karbon dioksit emisyonlarını Pazar günü ç evreye salmaktadırlar.

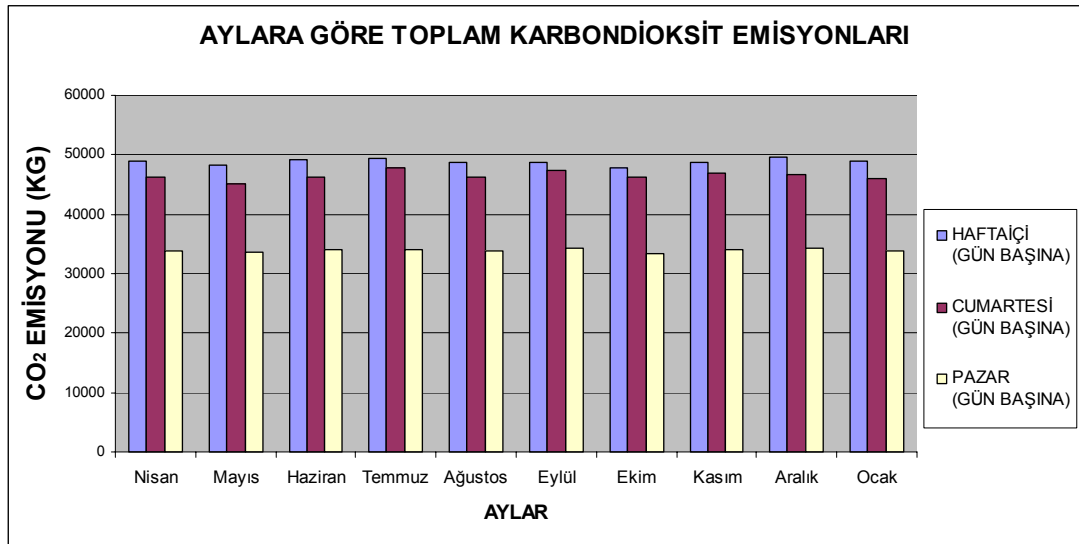
Bu hasanpaşa garajında bulunan körüklü otobüslerin yaklaşık olarak Pazar günleri 3000 km yol katettiklerini belirtmektedir. Çift yakıtlı otobüsler normal ve körüklü otobüslere göre hafta içinde ve Cumartesi gününde de olduğu gibi daha fazla karbon dioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. Pazar günleri karbon dioksit emisyonlarının düşmesinin bir başka sebebi de Pazar günleri çalışan toplam taşıt sayısının daha az olmasıdır. Çift yakıtlı otobüsler Pazar gün başına ortalama 17 ton karbondioksit emisyonu ortaya çıkartırlarken bu değer yaklaşık olarak 12500 km yol katettiklerini ortaya çıkarmaktadır. Normal otobüslere bakıldığında ise Pazar gün başına ortalama olarak 13 ton karbon dioksit emisyonu çevreye salmaktadırlar ve bu değer de yaklaşık olarak 10000 km'ye denk gelmektedir.

Tablo 5.24: Aylara göre toplam karbon dioksit emisyonları (Kg)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Haftaiçi	48947	48330	49169	49469	48815	48762	47915	48784	49554	48863
Cumartesi	46247	45128	46336	47932	46227	47451	46160	46861	46719	46049
Pazar	33855	33530	33981	34097	33816	34231	33306	34061	34224	33810

Otobüs çeşitlerine göre karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında her cins otobüs için bir değişim söz konusudur. Bunu sebebi aylara göre otobüslerin yakıt tüketimlerinin değişik olması ve aylara göre değişik kilometre değerleri yapabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Yalnız toplam karbon dioksit emisyonlarına bakıldığı zaman hafta içi, Cumartesi ve Pazar ayrı ayrı düşünülürse herhangi bir değişim gözükmemektedir.

Cumartesi ve Pazar günleri hasanpaşa garajındaki otobüslerden havaya katılan karbon dioksit miktarı hafta içine göre daha az olmaktadır. Bunu tek nedeni Cumartesi ve Pazar günü hafta içine göre sefer sayılarının düşmesidir. Bu düşüş Cumartesi günü az olmakla beraber Pazar günü hem cumartesine hemde pazara göre büyük bir düşüş göze çarpmaktadır.



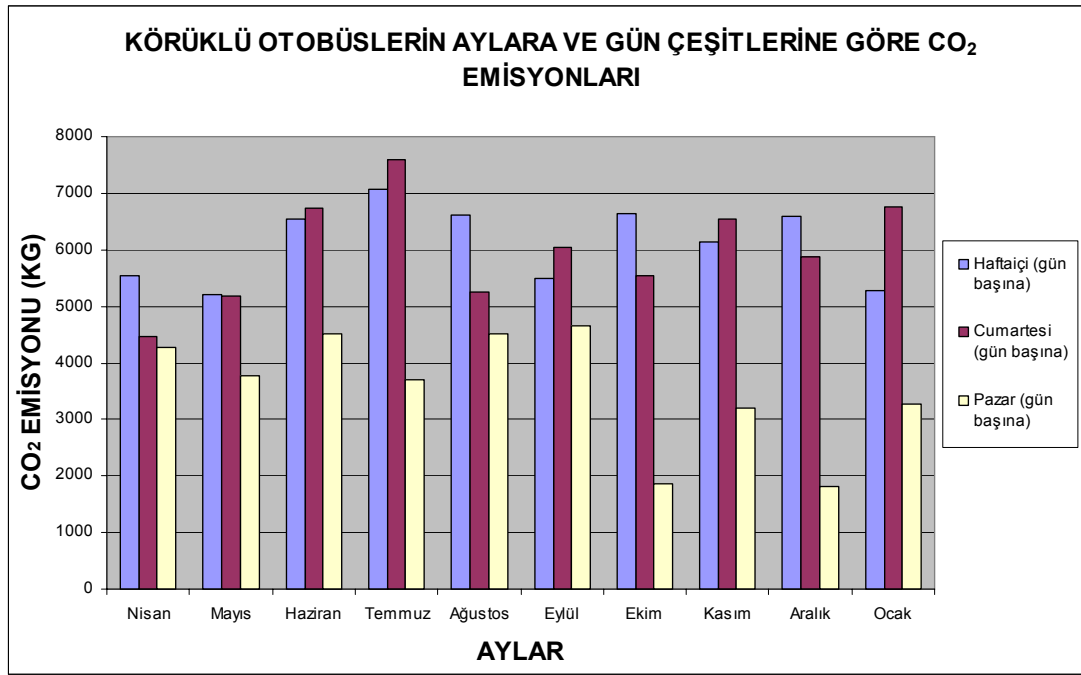
Şekil 5.14: Aylara göre toplam karbon dioksit emisyonları

Burada yapılan hesaplamalar yaklaşık 80 adet çift yakıtlı otobüs, 66 adet normal otobüse ve 20 adet körüklü otobüse göre yapılmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi haftaiçi ortalama 48,5 ton karbon dioksit emisyonu ortaya çıkarken bu değer yaklaşık olarak 16000 kg yakıt ve 37000 km'ye denk gelmektedir. Cumartesi günü ise ortalama değer 46,5 ton olmaktadır. Bu değer yaklaşık olarak 15500 kg yakıt ve 35000 km yola denk gelmektedir. Pazar günü ise ortalama değer 33,5 ton olmaktadır. Bu değer yaklaşık olarak 11000 kg yakıt ve 26500 km yola denk gelmektedir.

Tablo 5.25: Körüklü otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO₂ emisyonları (Kg)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Haftaiçi	5532	5212	6533	7070	6604	5492	6634	6131	6584	5274
Cumartesi	4472	5177	6733	7599	5263	6051	5549	6540	5881	6760
Pazar	4276	3781	4521	3701	4504	4661	1868	3188	1817	3267

Hasanpaşa garajında çalışan körüklü otobüslerin adedi 20 tane dir. Bu otobüslerin hepsi haftaiçinde ortalama 6 ton, Cumartesi ortalama 6,5 ton ve Pazar gününde ortalama 4 ton karbon dioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. Bu emisyonları ortaya çıkarmak için sırasıyla yaklaşık olarak 4600 km, 5000km ve 3000 km yol gidilmesi gerekmektedir. Körüklü otobüsler kişi başına düşen emisyonlar düşünüldüğü zaman diğer tip otobüslere göre daha avantajlı otobüslerdir. Taşıyabildikleri yolcu sayısı fazla olduğundan hem kişi başına karbon dioksit emisyonları düşük, hemde kişi başına yakıt maliyetleri azdır.

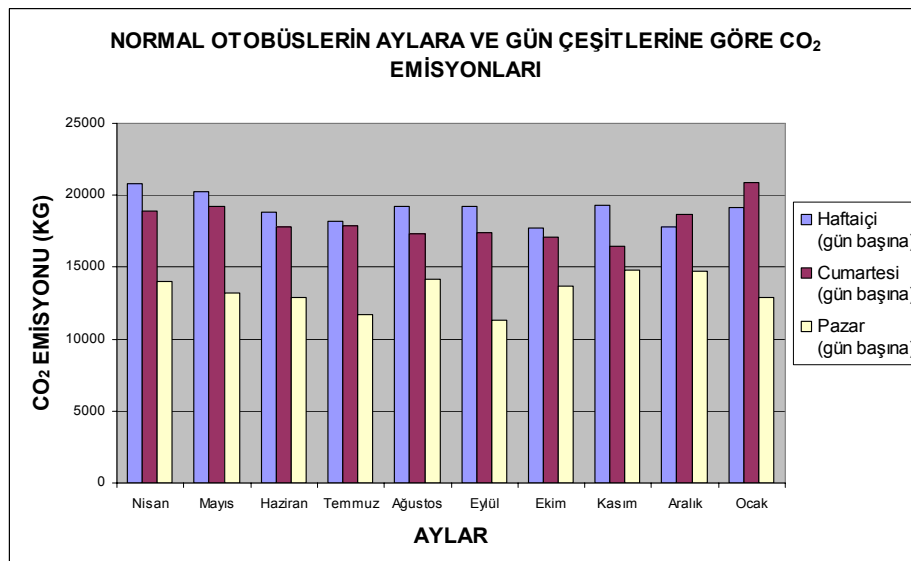


Şekil 5.15: Körüklü otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO₂ emisyonları (Kg)

Şekilden de anlaşılacağı gibi aylara ve günlere göre körüklü otobüslerin karbon dioksit emisyonları değişim göstermektedir. Bu değişimin ana sebebi körüklü otobüslerin yakıt tüketimlerinin aylara göre fazla değişim göstermesidir.

Tablo 5.26: Normal otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO₂ emisyonları (Kg)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Haftaiçi	20799	20268	18799	18224	19190	19219	17696	19297	17767	19109
Cumartesi	18929	19222	17812	17843	17348	17434	17101	16492	18702	20852
Pazar	14019	13192	12868	11721	14161	11334	13679	14775	14715	12912



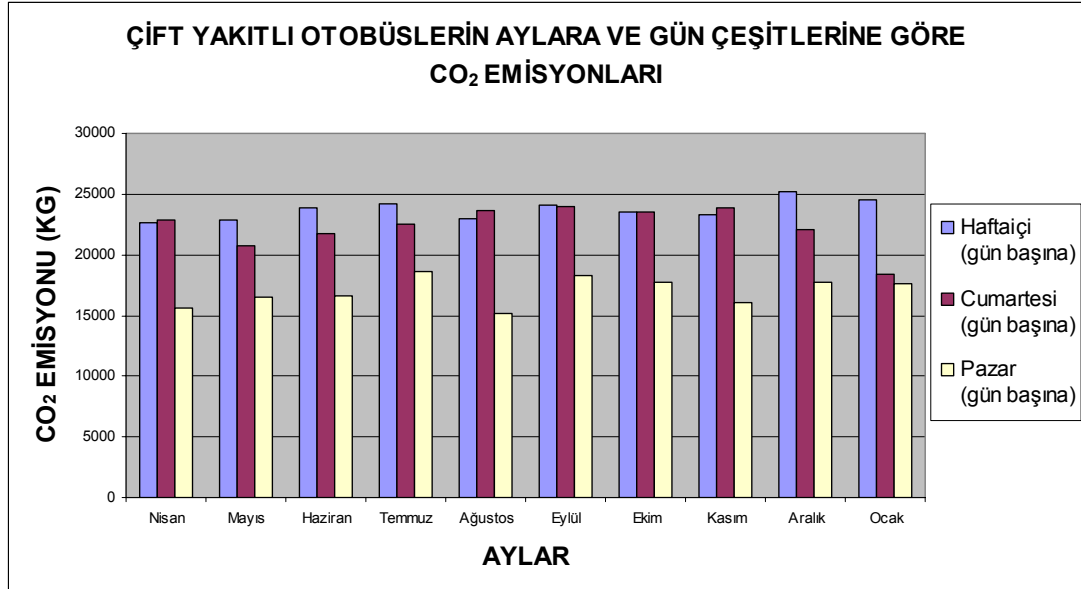
Şekil 5.16: Normal otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO₂ emisyonları

Hasanpaşa garajında çalışan normal otobüsler 66 tanedirler. Bu otobüslerin hepsi hafta içinde ortalama 19 ton, Cumartesi 17 ton, Pazar günü ise 13 ton karbon dioksit emisyonu üretmektedirler. Normal otobüsler hafta içinde Cumartesi ve Pazar gününe göre daha fazla emisyon çıkarmaktadırlar. Bunu sebebi sefer sayılarının düşmesi ve normal otobüslerin yaptıkları kilometre değerinin azalmasıdır. Yukarıdaki şekle bakıldığı zaman pazar günleri diğer günlere göre daha az otobüsün kullanıldığı aklımıza gelebilecek diğer bir husustur.

Tablo 5.27: Çift Yakıtlı otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO₂ emisyonları (Kg)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Hafta içi	22616	22849	23836	24175	23021	24052	23586	23356	25202	24481
Cumartesi	22847	20730	21791	22490	23615	23965	23510	23828	22137	18437
Pazar	15560	16557	16592	18675	15151	18236	17759	16098	17693	17631

Hasanpaşa garajında çalışan çift yakıtlı otobüsler 100 tanedirler fakat bunların yaklaşık olarak bir günde 80 tanesi sefere çıkmaktadır. Bu otobüslerin hepsi hafta içinde ortalama 19 ton, Cumartesi 17 ton, Pazar günü ise 13 ton karbon dioksit emisyonu üretmektedirler. Çift yakıtlı otobüsler hafta içinde Cumartesi ve Pazar gününe göre daha fazla emisyon çıkarmaktadırlar. Bunu sebebi sefer sayılarının düşmesi ve çift yakıtlı otobüslerin yaptıkları kilometre değerinin azalmasıdır. Aşağıdaki şekle bakıldığı zaman pazar günleri diğer günlere göre daha az otobüsün kullanıldığı söylenebilir.



Şekil 5.17: Çift Yakıtlı otobüslerin aylara ve gün çeşitlerine göre CO₂ emisyonları

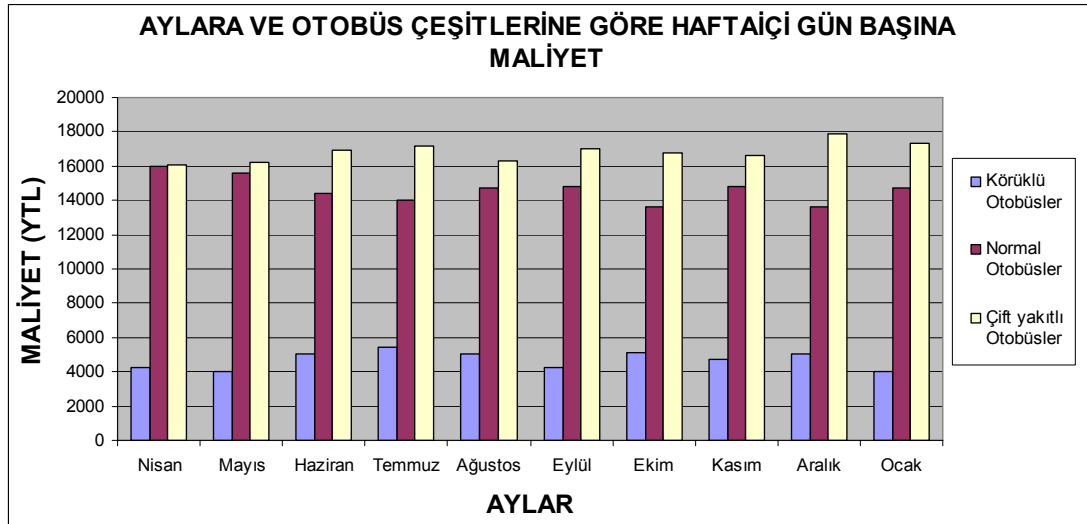
5.2.4 Hasanpaşa Garajında Çalışan Otobüslerin Yakıt Maliyeti

Maliyet olarak yakıtın maliyeti kastedilmektedir. Hasanpaşa garajında çalışan otobüslerin toplam maliyetleri daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi bulunmuştur. Hesaplamalar 80 tane çift yakıtlı otobüs, 66 tane normal otobüs ve 20 tane körüklü otobüs çalışıyor gibi düşünülerek yapılmıştır. Haftaiçi gün başına düşen yakıtın maliyetine bakıldığında çift yakıtlı otobüslerin diğer çeşit otobüslere göre daha maliyetli otobüsler olduğu söylenebilir.

Tablo 5.28:Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına maliyet (YTL)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	4251	4006	5021	5434	5075	4221	5098	4712	5060	4053
Normal Otobüsler	15985	15577	14448	14006	14749	14771	13600	14830	13655	14686
Çift Yakıtlı Otobüsler	16039	16204	16904	17128	16263	16991	16761	16621	17891	17361

Çift yakıtlı otobüslerin sayısı olarak fazla olmasından dolayı yaptığı kilometrede daha fazladır. Bu nedenden dolayı yakıt maliyeti olarak en fazla bu tip otobüsler öndedirler. Aslında bu otobüsler doğalgazın getirdiği avantajdan da yararlanarak en maliyetsiz otobüsler olmaktadır. Doğalgaz diğer bir otobüs yakıtı olan motorine göre çok daha ucuz bir yakıttır.



Şekil 5.18: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre haftaiçi gün başına maliyet

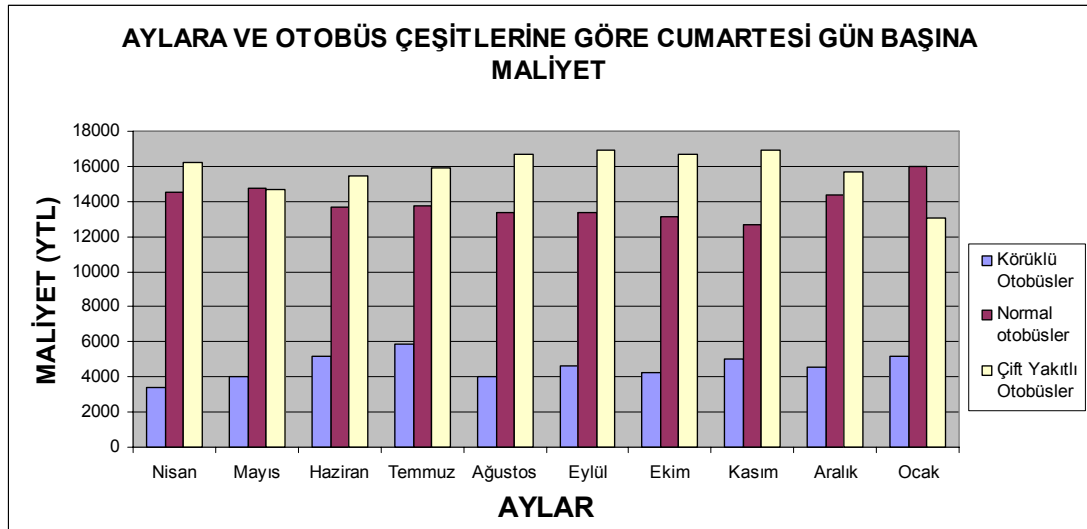
Körüklü otobüsler sayılarında azlığından dolayı haftaiçi gün başına çift yakıtlı ve normal otobüslere göre daha az yakıt tüketmekte ve yakıt maliyetleri daha az olmaktadır. Körüklü otobüsler ortalama hafta içi gün başına 4000 YTL'lik yakıt

tüketmektedirler. Bu rakam çift yakıtlı otobüslerde aylara göre ortalama 15000 YTL olurken, çift yakıtlı otobüslerde 17000 YTL olmaktadır.

Tablo 5.29:Aylara ve otobüs çeşitlerine göre Cumartesi gün başına maliyet (YTL)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	3437	3979	5175	5840	4045	4651	4265	5027	4520	5195
Normal Otobüsler	14548	14773	13689	13713	13333	13399	13143	12675	14373	16026
Çift Yakıtlı Otobüsler	16202	14701	15453	15934	16683	16930	16707	16957	15715	13075

Cumartesi günleri haftaiçine göre otobüslerin yakıt maliyetleri düşmektedir. Bu sefer sayısının azalmasından kaynaklanmaktadır. Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüsler haftaiçinde 1840 adet, Cumartesi günleri 1703 adet ve Pazar günleride 1182 adet sefer yapmaktadırlar. Körüklü otobüslerin ortalamasına bakıldığında hafataiçi gün başına göre bir azalma olmamaktadır. Hatta bir artış kaydedilmiş denebilir. Körüklü otobüsler cumartesi gün başına 5000 YTL’lik (5 Milyar) yakıt tüketmektedirler.



Şekil 5.19: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre cumartesi gün başına maliyet

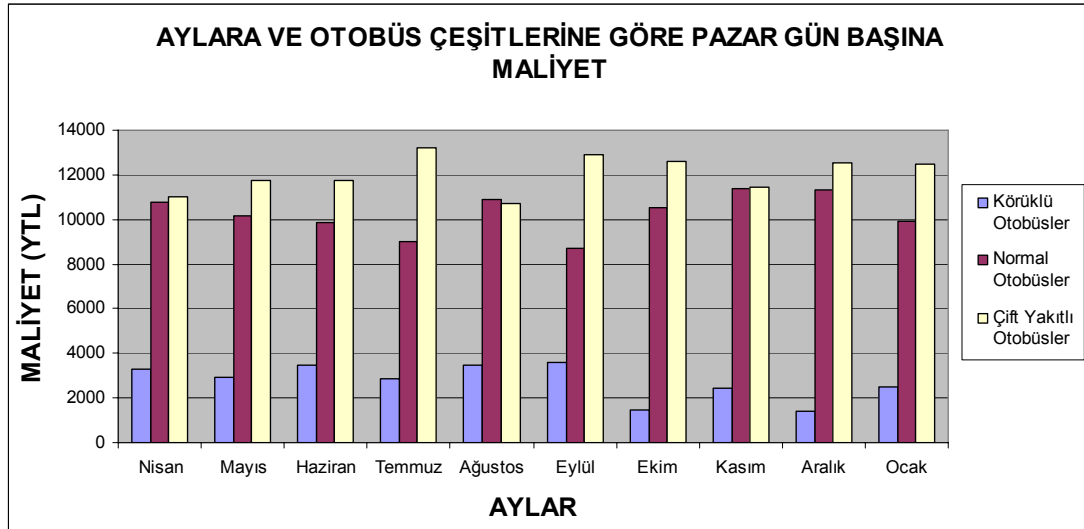
Normal otobüsler çift yakıtlı otobüslerden daha az, körüklü otobüslere göre daha fazla yakıt tüketmişlerdir. Dolayısıyla maliyetler de çift yakıtlı otobüslerden daha az, körüklü otobüslere göre daha fazladır. Normal otobüsler cumartesi gün başına ortalama 14000 YTL’lik yakıt tüketirlerken, çift yakıtlı otobüsler cumartesi gün başına ortalama 16000 YTL’lik yakıt tüketmektedirler.

Pazar günleri sefer sayılarının çok büyük oranlarda düşmesinden dolayı bütün otobüs çeşitlerinde yakıt maliyetleri büyük oranlarda düşmektedir.

Tablo 5.30:Aylara ve otobüs çeşitlerine göre pazar gün başına maliyet (YTL)

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Körüklü Otobüsler	3286	2906	3475	2845	3461	3582	1436	2450	1396	2511
Normal Otobüsler	10774	10139	9890	9008	10884	8711	10513	11355	11309	9924
Çift Yakıtlı Otobüsler	11035	11742	11766	13231	10703	12883	12620	11456	12560	12503

Pazar gün başına körüklü otobüsler ortalama 3000 YTL’lik yakıt tüketmektedirler. Körüklü otobüslerin yolcu taşıma kapasiteleri diğer otobüslere göre çok daha fazladır. Kişi başına yakıt maliyeti düşünüldüğünde körüklü otobüsler normal ve çift yakıtlı otobüslere göre çok daha karlı otobüslerdir. Otomobiller göze alındığında otomobilin kapasitesinin 4 kişi olduğu düşünülürse bütün otobüs çeşitleri otomobillere göre kişi başına düşen yakıt maliyetleri olarak daha az olmaktadır.



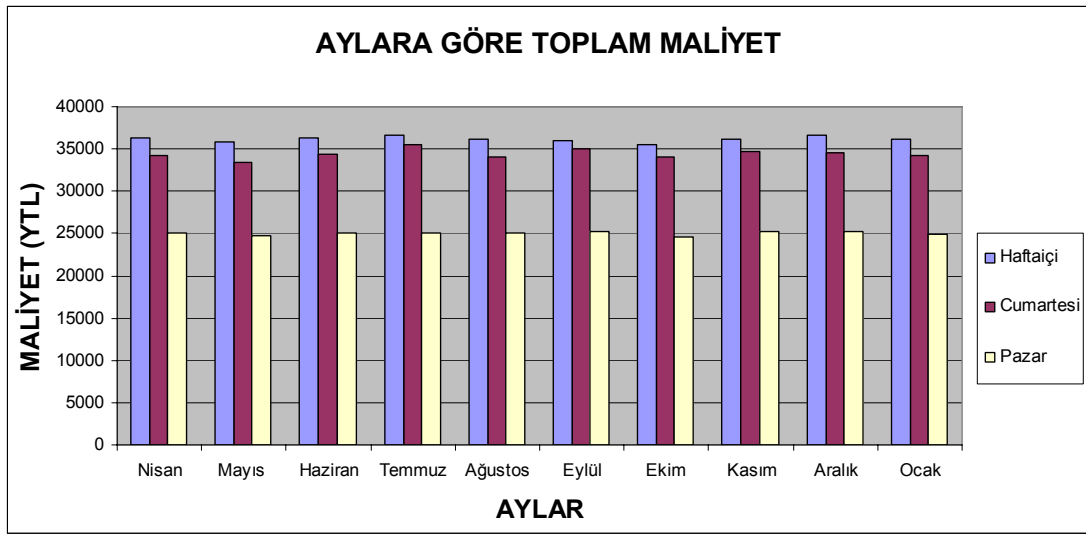
Şekil 5.20: Aylara ve otobüs çeşitlerine göre pazar gün başına maliyet

Körüklü otobüslerin yakıt maliyetlerinin bu derece aylara göre düzensiz çıkmasının nedeni körüklü otobüslerde yakıt tüketimlerinin düzensizliğinden ve otobüslerin aylara göre katettiği yolun değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Pazar günü toplam 1182 adet sefer düzenlenmiştir. Normal otobüsler ortalama 10000 YTL’lik yakıt tüketirlerken, çift yakıtlı otobüsler ortalama 11500 YTL’lik yakıt tüketmektedirler. Gün çeşitlerine göre toplam maliyete bakıldığında haftaiçi maliyetlerin haftasonu maliyetlere göre daha fazla çıkmaktadırlar.

Tablo 5.31: Aylara göre toplam maliyet

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Haftaiçi	36275	35787	36373	36568	36087	35982	35459	36163	36606	36100
Cumartesi	34186	33452	34317	35487	34061	34980	34115	34658	34608	34296
Pazar	25095	24786	25130	25084	25048	25176	24569	25261	25265	24938

Hasanpaşa garajında bulunan bütün otobüsler haftaiçlerinde ortalama olarak 36000 YTL’lik yakıt tüketirken, Cumartesi gün başına düşen maliyet 34000 YTL’dir. Pazar günü 25000 YTL’lik yakıt tüketilmektedir. Aylara göre bu maliyetlerin düşmesinin tek sebebi sefer sayılarının haftaiçi, cumartesi ve pazar olarak düşmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.21: Aylara göre toplam maliyet

6. YAKIT TÜKETİMİNİN VE KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ MATLAB PROGRAMI VASITASIYLA HESAPLANMASI

Araç ağırlığının, güzergah ve taşıtın teknik özellikleri seyir esnasında değiştirilemeyeceğine göre, hız zaman değişimi ve güzargahın 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.

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

6.1 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.[29]

$$B_e = N_e \cdot t \cdot b_e \quad (6.1)$$

Güç gereksinimi: Taşıt hareketine ters yönde etki eden kuvvetlerin, taşıt eksenine 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.

$$F_r = f_r \cdot G \cdot \cos\alpha \quad (6.2)$$

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

$$F_r = f_r \cdot G \quad (6.3)$$

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.

$$F_L = C_w A \frac{\rho}{2} V^2 \quad (6.4)$$

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.

$$F_{st} = G \cdot \sin\alpha \quad (6.5)$$

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

$$F_B = \lambda \cdot m \cdot a \quad (6.6)$$

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.[30]

$$\sum F = F_R + F_L + F_{ST} + F_B \quad (6.7)$$

$$N_e = \frac{\sum F \times V}{\eta_m} \quad (6.8)$$

Gerçek koşullarda seyir şartları anlık değişimler gösterebileceği gibi, motordan çekilen güce ve motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değeride 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.[29]

$$t = \frac{S}{V} \quad (6.9)$$

Tablo 6.1: Ikarus 260.25 taşıtının teknik özellikleri[29]

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

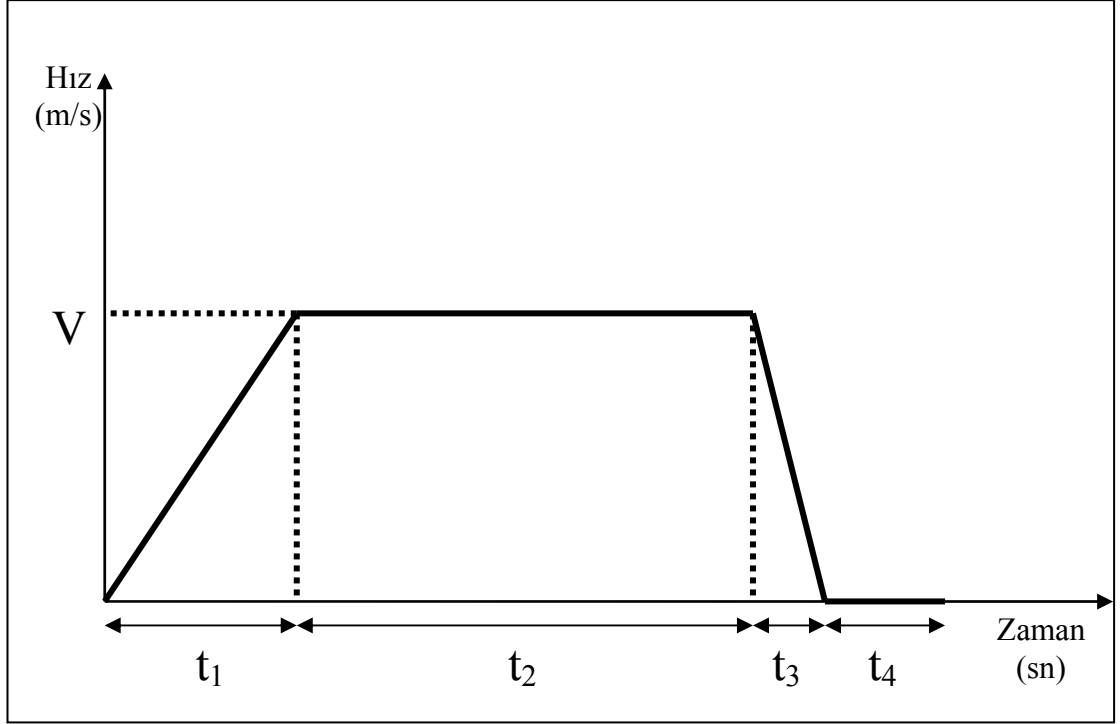
varmış gibi düşünölüp daha sonra çıkan sonuçlardan doğalgaz ve motorin kullanımının karbon dioksit emisyonları üzerine etkisini incelemektir. Hesaplamada kullanılacak olan taşıtın özellikleri tablo 6.1’de gösterilmiştir.

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.[29]

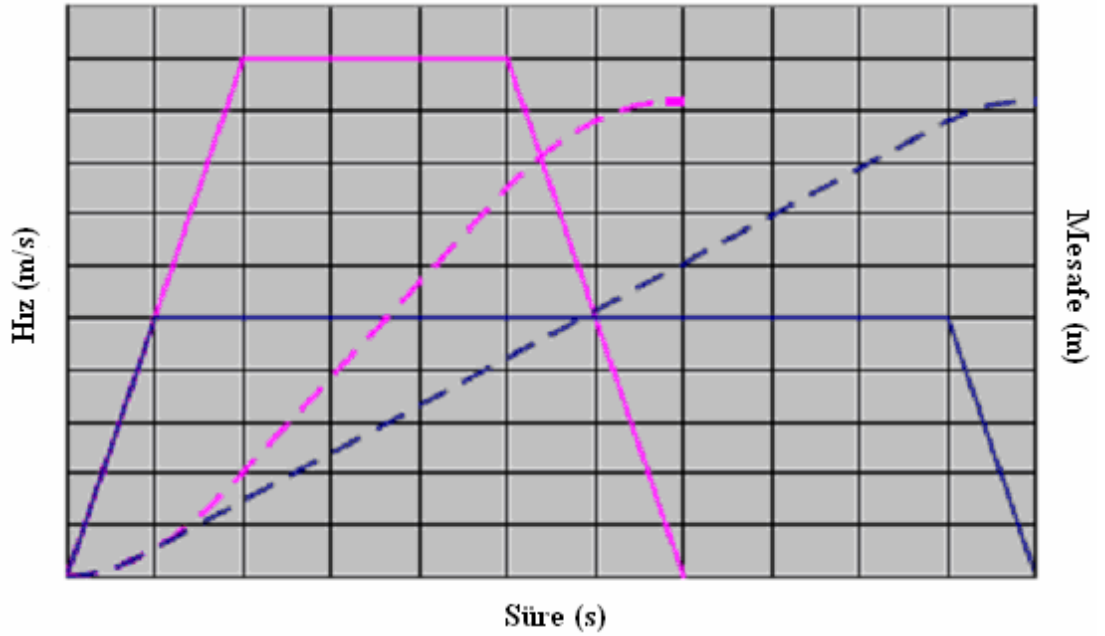
6.2 Yakıt Tüketim Modelinin Yazılması

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 6.1’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 6.1 Çeşitli değerleri belli olmayan seyir çevrimi



Şekil 6.2 Hızlanma, yavaşlama ivmeleri 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 3A Kadıköy-Ünalan Mahallesi hattı olarak seçilmiştir. 3A Kadıköy-Ünalan mahallesi hattının özellikleri tablo 6.2’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2: Kadıköy Ünalın Mahallesi hattının özellikleri.

Hattın Adı	3A Kadıköy-Ünalın Mahallesi
Hattın Uzunluğu	16600 (metre)
Hattın Süresi	60 (dakika) , 3600 (saniye)
Hattaki Durak Sayısı	38
Hattaki toplam Duraklama	76
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)

Kadıköy-Ünalın mahallesi hattı tablo 6.2’de de görüldüğü üzere 16600 metreden oluşmakta ve hattın belediye otobüsleri tarafından ortalama 1 saatte tamamlandığı saplanmıştır. Hattaki toplam durak sayısı 38’dir. Hesaplamalar yapılırken bugünkü trafik şartlarını biraz da olsa yansıtabilmesi için her durak arasında 1 kez mutlaka otobüsün durduğu kabul edilmiştir. Hattaki toplam duraklama sayısı 76 olmaktadır. Bunun anlamı bu hat üzerinde çalışan otobüs yukarıda şekil 6.1 ile gösterilen seyir çevrimini hattı tamamlayıncaya kadar 76 kere tekrarlamaktadır. Duraklamanın nedeni otobüsün önüne çıkabilecek olan bir kırmızı ışık olabileceği gibi o andaki trafikteki bir sıkışmada olabilir. Kadıköy Ünalın mahallesi 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;

$$Z = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (6.10)$$

Aynı zamanda

$$Z = \text{Hattın Süresi} / \text{Hattaki Toplam Duraklama} \quad (6.11)$$

$Z = 3600/76 = 47,368$ saniye bulunur.

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = Z - t_4 \quad (\text{saniye}) \quad (6.12)$$

$T = 37,368$ saniye bulunur.

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

$$t_2 = T - t_1 - t_3 \quad (\text{saniye}) \quad (6.13)$$

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

$$t_1 = \frac{V}{a_1} \quad (\text{saniye}) \quad (6.14)$$

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

$$t_3 = \frac{V}{a_2} \quad (\text{saniye}) \quad (6.15)$$

6.14 ve 6.15 denklemleri 6.13 denkleminde yerine konulursa

$$t_2 = T - \frac{V}{a_1} - \frac{V}{a_2} \quad (6.16)$$

denklemini bulunur. Seyir çevriminin altında kalan alan bütün hat uzunluğunun toplam duraklamaya bölünmesi ile bulunmaktadır ve bu alan 3A Kadıköy-Ünalan Mahallesi Hattının uzunluğunun 76'da biridir.

Alan = Hattın Uzunluğu / Hattaki Toplam Duraklama

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

$$\frac{t_1 \times V}{2} + t_2 \times V + \frac{t_3 \times V}{2} = Alan \quad (6.17)$$

Daha önceden Formülleri çıkarılan t_1, t_2 ve t_3 değerleri 6.14, 6.1 ve 6.16 denklemleri 6.17 denkleminde yerine konulursa;

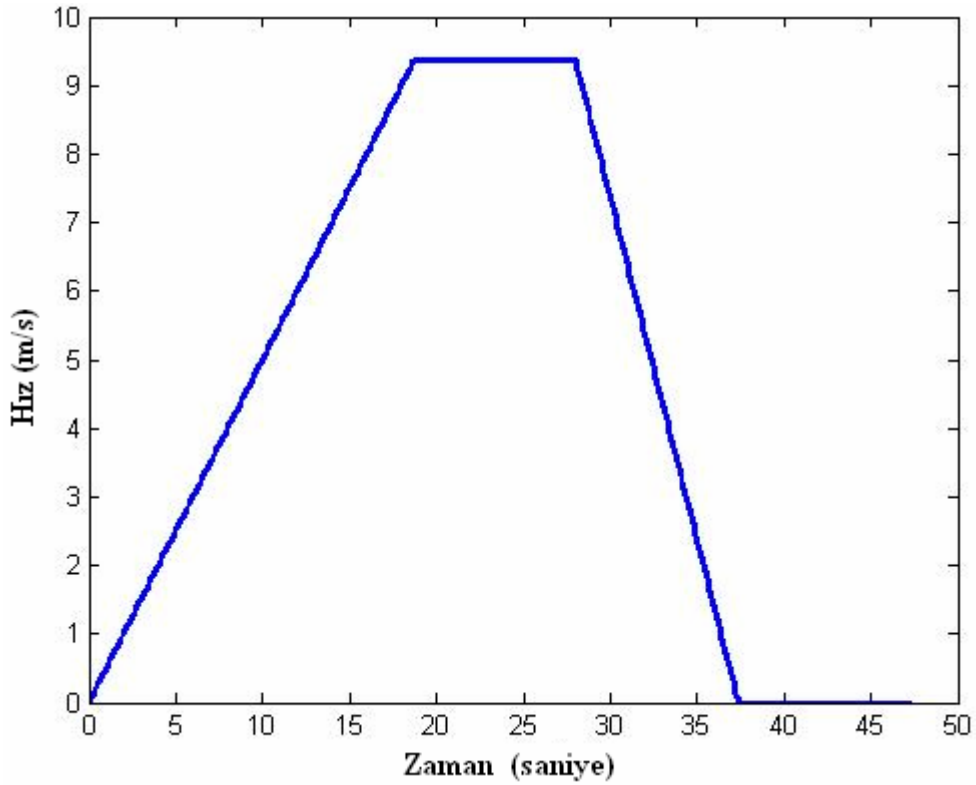
$$\frac{V^2}{2a_1} + (T - \frac{V}{a_1} - \frac{V}{a_2}) \times V + \frac{V^2}{2a_2} = Alan \quad (6.18)$$

denklemini bulunur. Eğer bu denklem yapılacak matematiksel işlemlerle düzeltilirse 6.19 ve 6.20 denklemleri elde edilir.

$$TV - \frac{V^2}{2a_1} - \frac{V^2}{2a_2} = Alan \quad (6.19)$$

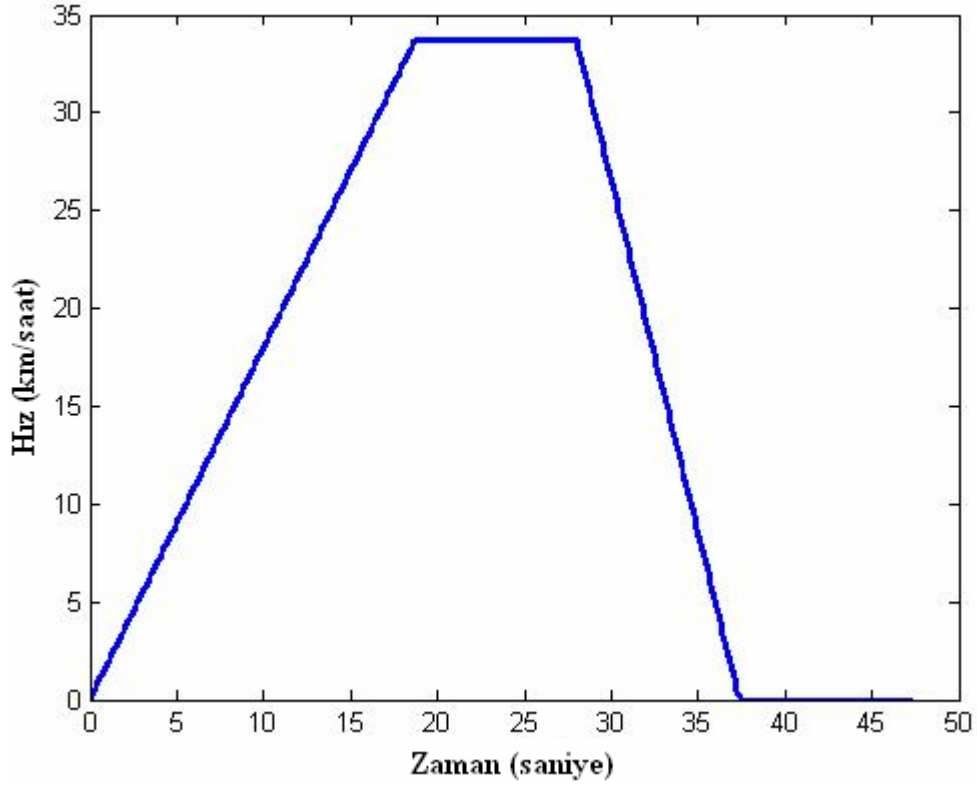
$$TV - \frac{V^2}{2a_1} - \frac{V^2}{2a_2} - Alan = 0 \quad (6.20)$$

6.20 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 6.3: Modelin bulduğu seyir çevrimi (m/s olarak)

$0-t_1$ arası hızın $V=t \times a_1$ olduğu, t_1-t_2 arasında hızın modelden çıkan maksimum hıza eşit olduğu t_2-t_3 arası hızın maksimum hızdan $V=t \times a_2$ hızıyla düştüğü ve t_3-t_4 arasında hızın 0 olduğu bilindiğine göre model 3A kadıköy-Ünalan Mahallesi için seyir çevrimini değerleride yerine koyarak çizmektedir.



Şekil 6.4: 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 t_1 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 6.3’de gösterildiği gibidir.

Tablo 6.3: 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.

$$n_m = \frac{V \times i_k \times 60}{2 \times \pi \times R} \quad (6.21)$$

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. 6.7 ile gösterilen formül hareket direncini hesaplayan formüldür. Yakıt tüketim modelinde yokuş direncinin olmadığı düşünülmüştür. Buna göre; hareket dirençleri yokuş, ivmelenme ve rüzgar direncinden oluşmaktadır.

$$F = C_w A \frac{\rho}{2} V^2 + \lambda m a + f_r \cdot G \quad (6.22)$$

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.

$$N_e = \frac{\sum F \times V}{\eta_m} \quad (6.23)$$

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

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 silindirinin 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.

$$P_{me} = \frac{N_e \times 60 \times a}{V_h \times n_m \times z} \quad (6.24)$$

Yakıt tüketim modeli her bir noktadaki ortalama efektif basınçları da 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.

$$B_e = N_e \cdot t \cdot b_e \quad (6.25)$$

Noktaların hepsinden çıkan yakıt tüketim değerleri toplanarak çevrim başına düşen yakıt tüketimi bulunmuştur. Hat boyunca bu çevrimden 76 kere tekrarlandığına göre hat boyunca toplam yakıt tüketimi çıkan sonucun 76 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

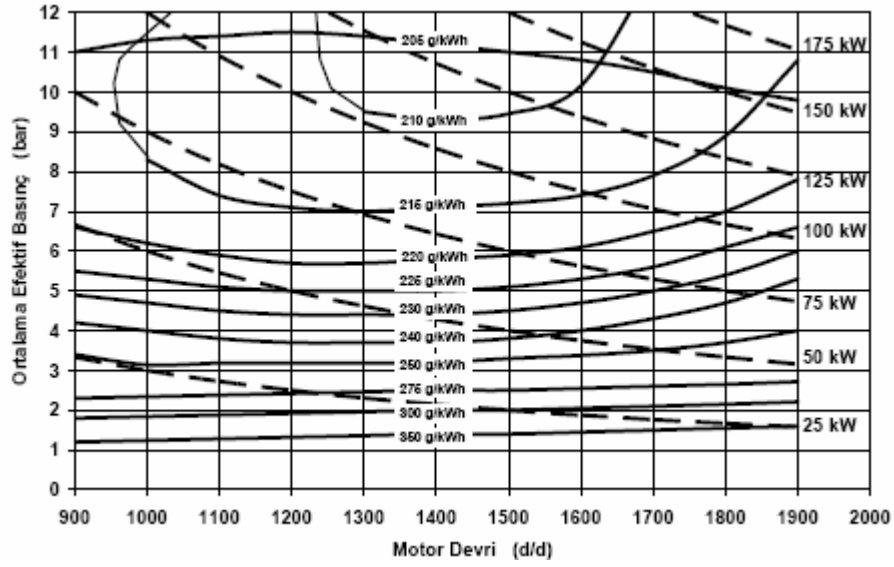
Çıkış gücü : 155 (kW) / 2100 (d/d)

Tork : 819 Nm / 1600 (d/d)

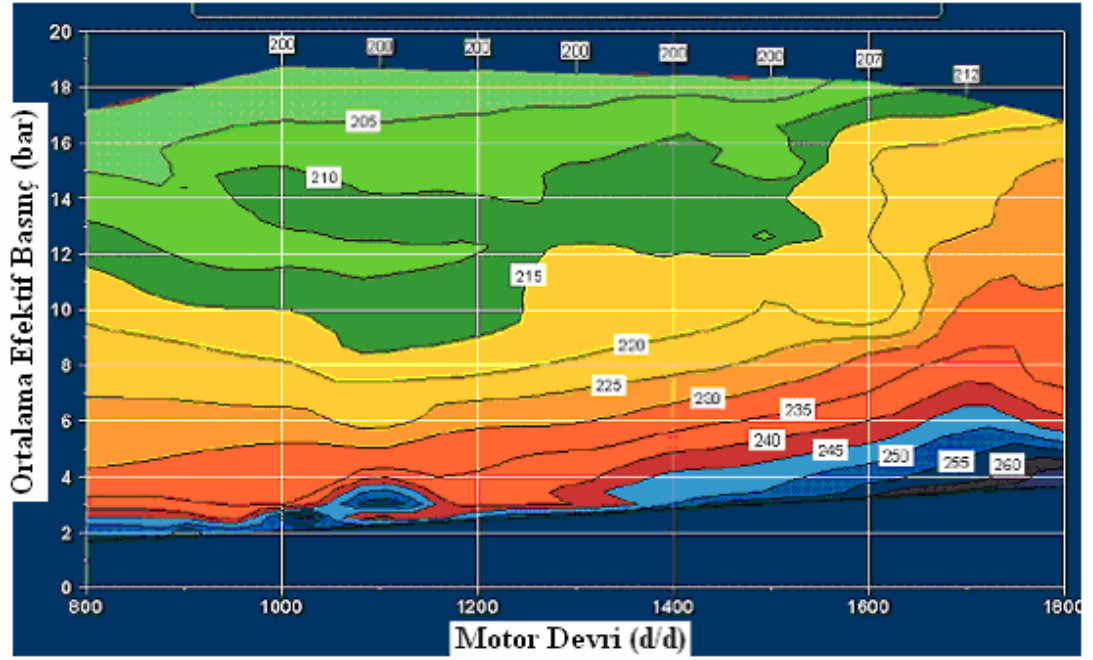
Püskürtme sırası : 1-5-3-6-2-4

Soğutma : Su soğutmalı

Şekil 6.5’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 6.5: Raba Man Motorunun yakıt tüketim eğrisi[29]



Şekil 6.6: Nonox Doğalgaz Motorunun yakıt tüketim eğrisi[31]

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 6.5 ve Şekil 6.6’da görülmekte olan motor yakıt tüketim eğrilerinin küçük karelere bölünerek yakıt tüketim modeline girilmesiyle daha önce hesaplanan herbir 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 taşıt üzerine gelen dirençlerin sadece yuvarlanma direnci ve rüzgar direnci olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda çevrimin birinci bölümündekinden tek farkı budur. Yine herbir 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 praogramı vasıtasıyla yakıt tüketimi modelinden motorlar için sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlara göre diesel tahrikli motor ile doğalgaz buji ateşlemeli motorun karşılaştırılması yapılmıştır.

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

Tablo 6.4: 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	16,6	6,52	45,6 (litre/100 km)	20,71	15,92
Nonox Doğalgaz Motoru	16,6	6,98	61 (m ³ /100 km)	18,89	10,26

Yapılan karşılaştırmaya göre iki motorda 16,6 km yol aldıklarında yani 3A Kadıköy – Ünanalan Mahallesi güzargahını daha önceden belirtilen çevrimi takip ederek katettiğinde tükettikleri yakıt miktarı tablo 6.4’de de görüldüğü gibi sırasıyla 6,52 ve 6,98 kg olmaktadır. Bu değerler 100 km’de 45,6 litre ve 61 m³’e denk gelmektedir. Çıkardıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında diesel tahrikli otobüsün 20,71 kg, nonox doğalgaz motorunun ise 18,89 kg karbon dioksit çıkardıkları hesaplanmıştır. Bu değerler göre doğalgazlı motor diesel tahrikli raba man motoruna

göre yaklaşık %10 oranında daha az karbon dioksit emisyonu oluşturdıkları bellidir. Aynı hat üzerinde raba man diesel motoru 15,92 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmiş, nonox doğalgaz motoru ise 10,26 Ytl'ye denk gelen yakıt tüketmektedir. Bu sonuçlara göre doğalgaz motoru diesel motoruna göre yaklaşık olarak %35 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 6.5: Çeşitli tip motorların 1 km'de karbon dioksit ve maliyet karşılaştırmaları

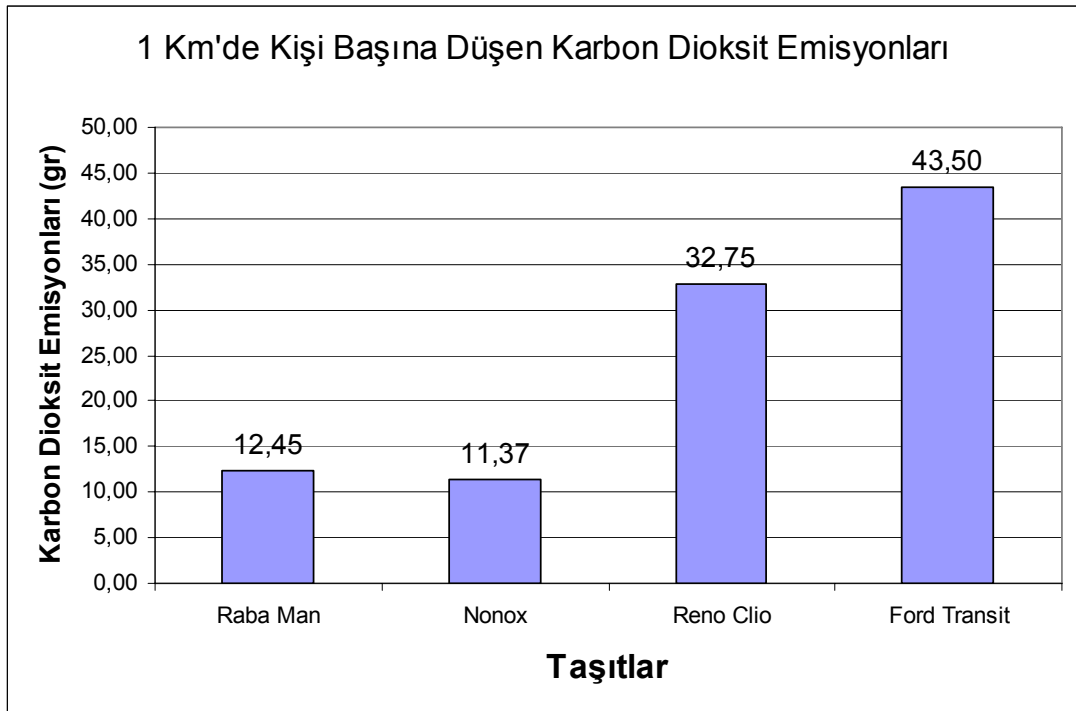
Motor Cinsi	Yapılan Yol (km)	Tüketilen Yakıt (gram)	Tüketilen Yakıt	CO ₂ Emisyonları (gram)	Maliyet (YTL)
Raba Man Diesel Motoru	1	392	45,6 (litre/100 km)	1245	0,957
Nonox Doğalgaz Motoru	1	420	61 (m ³ /100 km)	1137	0,617
Reno Clio 1.5 DCİ	1	41	4,8 (litre/100 km)	131	0,100
Ford Connecto 1.8 DCİ	1	55	6,5 (litre/100 km)	174	0,134

Tablo 6.6: Çeşitli motorların 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	12,45	9,53	0,96	54
Nonox Doğalgaz Motoru	1	11,37	0	0,62	0
Reno Clio 1.5 DCİ	1	32,75	187	2,5	305
Ford Connecto 1.8 DCİ	1	43,5	283	3,36	443

Tablo 6.5’de Raba man diesel motoru, nonox doğalgaz motoru, reno clio diesel motoru ve ford connecto diesel motorları 1 km yaptıklarındaki maliyet ve karbon dioksit karşılaştırılması yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre sırasıyla motorlar 392, 420, 41, 55 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 karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında sırasıyla 1245, 1137, 131 ve 174 gram olarak hesaplanmıştır. Yakıtın oluşturacağı maliyet düşünüldüğünde sırasıyla 0,957, 0,617, 0,1 ve 0,134 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 100 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 4 kişi taşıdığı düşünüülerek yapılan karşılaştırma tablo 6.5’de verilmiştir.

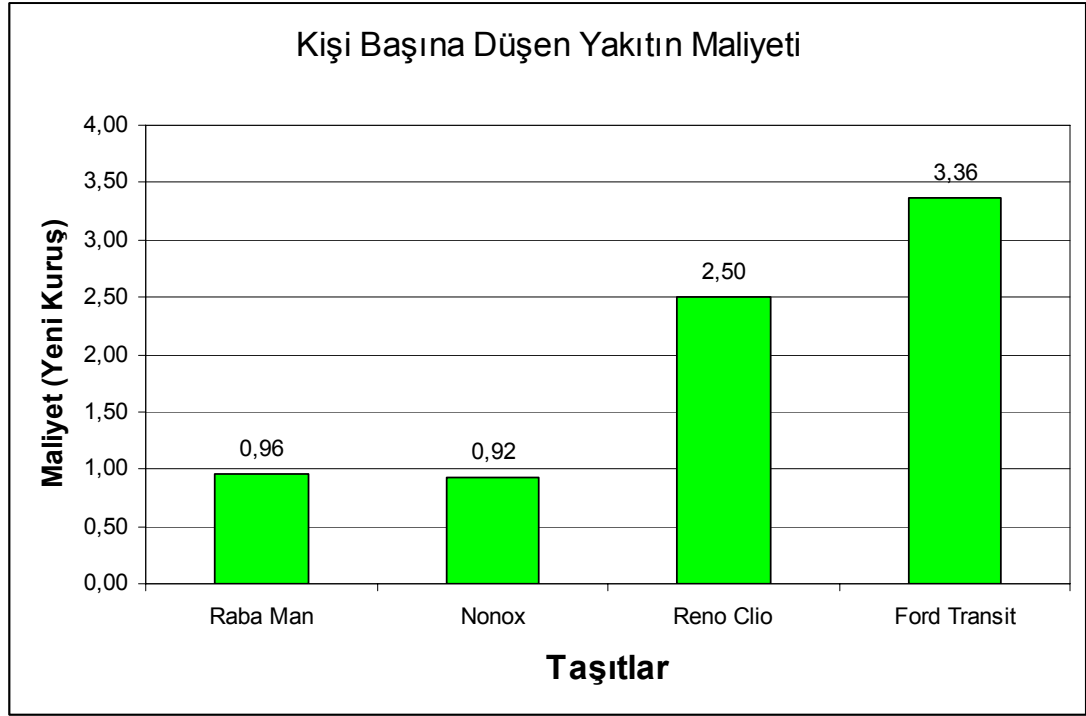


Şekil 6.7: Kişi başına düşen karbon dioksit emisyonları

Tablo 6.5’de de görüldüğü gibi 1 km’de sırasıyla 12,45, 11,37, 32,75 ve 43,5 gram karbon dioksit oluşturmaktadırlar. Nonox Doğalgaz motoruna göre kişi başına düşen

karbondioksit emisyonları raba man motoru %9,5, Reno clio diesel motoru %187 ve Ford Connecto motoru %283 daha fazladır.

Kişi başına düşen maliyete bakıldığında ise sırasıyla 0,96, 0,62, 2,5 3,36 yeni kuruş olmaktadır. Nonox Doğalgaz motoruna göre kişi başına düşen yakıt maliyet Raba Man motoru %54, Reno clio diesel motoru %305 ve Ford Connecto motoru %443 daha fazladır.



Şekil 6.8: Kişi başına düşen yakıtın maliyeti

7. SONUÇLAR

Fosil kökenli konvansiyel yakıtların giderek alarm verici seviye tükenmektedir. Üstelik bu yakıtların kullanılması çıkardıkları hem zehirli gazlar hem de sera etkisi olan gazlar nedeniyle dünyadaki yaşamı tehdit etmektedirler. Bu yüzden içten yanmalı motorlar için alternatif yakıtların kullanılması daha da önem kazanmaktadır. Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüsler için sıkıştırılmış doğalgaz en potansiyelli alternatif yakıt olarak görülmektedir.

Doğalgaz çeşitli gazların bileşiminden meydana gelmiştir. Ana yapıyı oluşturan metan toplam hacmin %85-99'unu oluşturur. Geri kalan kısım diğer hidrokarbonlar, karbondioksit, azot helium gibi asalgazlar; hidrojen sülfid ve su taneciklerinden meydana gelmiştir.

Doğalgaz içten yanmalı motorlar için çok uygun bir yakıttır. Tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan vurutuya dayanıklıdır. Saf metanın oktan sayısı 130'dur. Yüksek oktan sayısı sayesinde 15:1'lik sıkıştırma oranlarına kadar kullanılabilir. Normal koşullarda gaz halinde bulunduğundan hava ile her oranda kolayca karışır. Benzine oranla daha fakir karışımlarla kullanılabilir.

Karbon dioksit emisyonları yakıt tüketimine ve yakıtın tipine bağlıdır. Yakıt tüketimini azaltma yolları karbon dioksit emisyonlarının da azaltmaya yöneliktir. Bunlar trafiğe yeni çıkan taşıtların yakıt tüketimlerinin azaltılması, trafik akışının düzenlenmesi, toplu taşımacılığın özendirilmesi, hafif malzeme kullanımı ve sera gazı emisyonları daha düşük olan alternatif yakıtların kullanılmasıdır. Bu alternatif yakıtların en potansiyellilerinden bir tanesi de doğalgazdır.

Doğalgaz şehiriçi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerde 2 değişik şekilde kullanılabilirler. Sırf doğalgazlı buji ateşlemeli motorlar ve çift yakıtlı motorlar olarak kullanılabilirler. Buji ateşlemeli doğalgaz motoru karbon dioksit emisyonları açısından daha iyi sonuç vermektedir.

1 kg yakıt tüketildiğinde oluşan karbon dioksit emisyonları göz önüne alındığında doğalgaz diğer yakıt LPG, motorin ve benzine göre daha az karbon dioksit

çıkarmaktadırlar. 1 kg yakıt tüketildiğinde oluşan maliyet göz önüne alındığında doğalgaz diğer yakıtlar LPG, motorin ve benzine göre daha az maliyetlidirler.

1 megajoule'e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşan karbon dioksit emisyonları göz önüne alındığında doğalgaz diğer yakıt LPG, motorin ve benzine göre daha az karbon dioksit çıkarmaktadırlar. 1 megajoule'e denk gelen yakıt tüketildiğinde oluşan maliyet göz önüne alındığında doğalgaz diğer yakıtlar LPG, motorin ve benzine göre daha az maliyetlidirler.

Hasanpaşa garajında çalışan otobüslerin otobüs cinslerine göre 1 km'de çıkardıkları karbon dioksit emisyonlarına bakıldığında çift yakıtlı otobüsler daha fazla emisyon üretmektedirler. Bunun sebebi İstanbul trafiğinde otobüslerin kısmi yüklerde fazlaca çalışması ve motorların uzun ömürlerinden dolayı iyice verimsizleşmesidir.

Hasanpaşa garajında çalışan otobüslerin otobüs cinslerine göre 1 km'de tükettikleri yakıta bakıldığında doğalgazın avantajı ortaya çıkmakta ve çift yakıtlı otobüsler, körüklü ve normal otobüslere göre daha az maliyetli olmaktadır. Kişi başına düşen emisyonlar göz önüne alındığında ise körüklü otobüsler daha fazla insan taşıyabildikleri için 1 km'de kişi başına çok daha az karbon dioksit emisyonu çıkarmaktadırlar. Her 3 tür otobüste otomobil cinsi taşıtlara göre kişi başı emisyonlar ve maliyet düşünüldüğünde çok avantajlıdır.

Aylara göre çift yakıtlı otobüslerin karbon dioksit emisyonları diğer tip otobüslere göre daha fazla çıkmaktadır. Bunun sebebi çift yakıtlı otobüslerin sayısının ve sefer adedinin diğer otobüslere göre daha fazla olmasıdır.

Aylara göre çift yakıtlı otobüslerin yakıt maliyetleri diğer tip otobüslere göre daha fazla çıkmaktadır. Bunun sebebi çift yakıtlı otobüslerin sayısının ve sefer adedinin diğer otobüslere göre daha fazla olmasıdır.

Doğalgazlı bir motorun ve diesel bir motorun özellikleri belli bir otobüste, aynı şartlarda ve aynı seyir çevriminde çalıştırılması ile oluşan karbon dioksit emisyonları ve harcadıkları yakıtın maliyeti bir bilgisayar programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Çıkan sonuçlara göre 16,6 km'lik bir hat üzerinde doğalgazlı motor 6,98 kg yakıt tüketmiştir. Bu değer 100 km'de 61 metreküpe tekabül etmektedir. Doğalgaz motorunun çıkardığı karbon dioksit emisyonu 16,6 km'de 18,89 kg olurken kullandığı yakıtın maliyeti 10,26 Ytl'dir.

Çıkan sonuçlara göre 16,6 km'lik bir hat üzerinde diesel motor 6,98 kg yakıt tüketmiştir. Bu değer 100 km'de 45,6 litreye tekabül etmektedir. Bu motorunun çıkardığı karbon dioksit emisyonu 16,6 km'de 20,71 kg olurken kullandığı yakıtın maliyeti 15,92 Ytl'dir.

Aynı hat üzerinde doğalgaz motoru diesel motoruna göre %10 daha az karbon dioksit emisyonu oluştururken, %35 daha az maliyetlidir.

Kişi başına düşen emisyonlara ve maliyete bakıldığında doğalgaz motoru, diesel motoruna ve otomobil cinsi taşıtlara göre daha az karbon dioksit emisyonu çıkartırlarken, aynı zamanda kişi başına daha az maliyetlidirler.

Gaz yakıtlar için ünite hacimde depolanan enerji sıvı yakıtlara göre daha azdır buda depoyu yeniden doldurma problemi yaratabilir. Fakat İETT otobüsleri genellikle kısa mesafelerde çalıştıkları için depoyu yeniden doldurma gibi bir problemleri olmayacaktır.

İstanbul'da doğalgazla çalışan belediye otobüslerinin kullanımı hem yakıt maliyeti açısından hemde karbon dioksit emisyonları açısından önemli bir avantaj getirebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Soruşbay, C.** 2005. Karayolu ulaşımından kaynaklanan karbon dioksit emisyonlarının çevreye etkisi ve kontrolü, TMMOB Makina mühendisleri Odası 9. Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu 27-28 mayıs
- [2] **Tunç, İ., Türüt, S., ve Akbostancı E.** 2006. CO₂ vs CO₂ reponsibility: An input-output aproach for turkish economy, Energy policy, Elsevier, Ortadoğu teknik üniversitesi ekonomi bölümü,
- [3] **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, International journal of hydrogen energy, 25, 783-793
- [4] **Nylund, N.O., Erkkila, K., Lappi, M., Ikonen, M.,** 2004 Transit bus emission study: Comparison of emmissions from diesel and natural buses, Research report, VTT Process
- [5] **Kutlar, A., Ergeneman, M., Arslan H.,** 1998, Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler, Birsen yayınevi, İstanbul
- [6] **Houghton, T.J. ve diğerleri,** 1997. An introduction to simple climate models used in the Ipcc second assesment report,
- [7] **EPA** 2006.<http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/content/climate.html>
- [8] **Muslu, Y.,** 2000. Ekoloji ve Çevre Sorunları, Aktif Yayınevi, İstanbul,
- [9] **Keskin, B.,** Küresel ısınma, 2005 ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü
- [10] **Çavdar, S.,** İklim değişikliği, 2005 Ankara üniversitesi ziraat fakültesi peyzaj mimarlığı bölümü
- [11] **Türkeş, M.,** 2002. İklim Değişikliği: Türkiye – iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi ilişkileri ve iklim değişikliği politikaları, Bilim ve Teknoloji stratejileri teknoloji öngörü projesi, Devlet meteroloji işleri genel müdürlüğü
- [12] **Kadioğlu, S., Dokumacı O.,** 2005. İklim değişikliği ve Türkiye, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi genel Müdürlüğü.

- [13] **Karakaya, E., Özçağ, M.**, 2003. Türkiye açısından kyoto protokolünün değerlendirilmesi ve ayırıştırma yöntemi ile CO₂ emisyonları belirleyicilerinin analizi, 7. Odtü ekonomi konferansı, Eylül 6-9.
- [14] **Bağcı, S., Türkeş, M.**, 2000. İklim değişikliği özel ihtisas komisyonu raporu, Sekizinci kalkınma komisyon raporu, Ankara
- [15] **Yalçınkaya, V.**, 2004. Motorların doğalgaz'a dönüşümü, doğalgazlı motorların performansı, emisyon değerleri ve dolum istasyonlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Çadırcı, S.**, 2004. Doğalgaz yanma mekanizmasının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Turhan, H.**, 2003. Doğalgazlı taşıtların geliştirilmesi ve benzinli taşıtlarla karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **United Nations**, 2003. Guidelines for conservation of diesel buses to compressed natural bus, economic and social commission for asia and the pacific, Newyork
- [19] **HABAŞ**, 2006. www.habas.com.tr
- [20] **TÜBİTAK**, 2006. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>
- [21] **Ishida, A., Nishimura, A., Uranishi, M., Kihara, R.**, 2000. The development of the Ecos-DDF natural gas engine for medium duty trucks: exhaust emission reduction against base diesel engine, JSAE, review, 22, 237-243
- [22] **Sorusbay, C., Ergeneman, M., Gökten, A.G.**, 1999. Exhaust emission and fuel consumption of CNG/Diesel Fueled city buses calculated using a sample driving cycle, Energy sources, 21, 257-268
- [23] **IPCC Guidelines**, 1996 IPCC Guidelines for natural gas inventories: reporting instructions, Volume 1
- [24] **IPCC Guidelines**, 1996 IPCC Guidelines for natural gas inventories: reference manuel, Volume 3
- [25] **RENAULT**, 2006. www.renault.com.tr
- [26] **İETT**, 2006. www.iett.gov.tr
- [27] **İBB**, 2006. www.istanbul-ulasim.com.tr
- [28] **İDO**, 2006. www.ido.com.tr

- [29] **Muammer, Ö., Yavaşlıol, İ.**, 2002. Seyir hızı ve seçilen vites kademesinin yakıt tüketimi üzerine etkisi, Second international sarıgerme energy end use efficiency workshop and exhibition, 08-12 Nisan
- [30] **Güney, A.**, 1996. Taşıtlarda güç aktarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi ders notları,
- [31] **NONOX**, 2006 Natural gas engines for heavy duty engines, Katalog
- [32] **İnan, A.**, 2004 Matlab ve programlama, Papatya yayıncılık eğitim, İstanbul

EK A

```
%%%%%%%%%%YAKIT TÜKETİM MODELİ%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%ÖRNEK HAT 3A KADİKÖY-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; rolandibasinc=1; rolandidevir=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

Anıl Diler, 1981 yılında Kastamonu’da doğdu. İlk öğrenimini tamamladıktan sonra, 1992 yılında başladığı Kadıköy Anadolu Lisesi’nden 2000 yılında mezun oldu. 2000 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü’ne başlayan Diler, 2004 yılında Enerji Makinaları Dalı’ndan mezun olarak, aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Otomotiv Programı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.