

**BUJİ ATEŞLEMELİ TEK SİLİNDİRLİ BİR MOTORDA DOĞALGAZIN  
ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI**

**Mehmet AYHAN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Bilim Uzmanlığı Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Eylül 2007**

**KABUL:**

Mehmet AYHAN tarafından hazırlanan " BUJİ ATEŞLEMELİ TEK SİLİNDİRLİ BİR MOTORDA DOĞALGAZIN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI " başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 20/09/2007

Başkan: Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa BOZ (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN (KBÜ)



**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 09/11/2007



Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mehmet AYHAN', written in a cursive style.

Mehmet AYHAN



## ÖZET

**Bilim Uzmanlığı Tezi**

### **BUJİ ATEŞLEMELİ TEK SİLİNDİRLİ BİR MOTORDA DOĞALGAZIN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI**

**Mehmet AYHAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN**

**Eylül 2007, 83 sayfa**

Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG), temiz ve ucuz bir yakıt olması nedeniyle buji ateşlemeli motorlarda kullanılmaktadır. Ancak motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan CNG kullanılırsa, motor gücünde bir miktar düşme olmaktadır. Bu çalışmada, buji ateşlemeli bir motorlarda CNG kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, içten yanmalı motorlarda CNG kullanımının benzine göre avantajları ve karşılaşılan problemler ele alınmıştır. Doğalgazın yüksek basınçta sıvı halde depolanması problemi olduğundan taşıtlarda yaygın olarak kullanılması bu problemin çözülmesine bağlıdır. Ancak, doğalgaz boru hattının geçtiği yerlerdeki sabit tesis benzin motorlarında uygulama kolaylığı nedeni ile doğalgazın kullanılabilir bir alternatif yakıt olduğu söylenebilir. Deneyler sonucunda orijinal sıkıştırma oranında CNG ile çalışmada, egzoz emisyonlarında azalma gözlenirken güç ve momentte bir düşüş ile özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Buji ile ateşlemeli motor, alternatif yakıt, CNG, egzoz emisyonu.

**Bilim Kodu** : 626.10.01



## **ABSTRACT**

**Master Science Thesis**

### **USING NATURAL GAS AS AN ALTERNATIVE FUEL IN A SINGLE SPARK IGNITION ENGINE**

**Mehmet AYHAN**

**Karabuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Perihan SEKMEN**

**September 2007, 83 Pages**

Compressed Natural Gas (CNG) is used in spark ignition engines as a clean and cheap fuel. If CNG is used without an engine modification, engine power decreases. In this study, the impact of using CNG on the performance and exhaust emissions of a spark ignition engine are investigated. The advantages of using CNG vs. gasoline and the resulting problems due to usage of CNG in internal combustion engines are also studied. The common usage of natural gas in vehicles highly depends on being able to store it in liquid form at high pressures which is a problem needing solution. However, due to existence of natural gas stations in the vicinity of main gas pipelines and its ease of use in gasoline engines, natural gas could still be considered as alternative fuel. In the experiments run at the original engine compression ratio, CNG decreases engine power and torque with an increase in specific fuel consumption. Nevertheless, using CNG, an improvement or decrease in exhaust gas emission is achieved.

**Keywords** : spark ignition engine, alternative fuel, CNG, exhaust emissions.

**Science code** : 626.10.01





## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Perihan SEKMEN'e, görüşleriyle çalışmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı hocalarıma, deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen hocalarım Yrd.Doç.Dr. Yakup SEKMEN, Yrd.Doç.Dr. Abdurrazzak AKTAŞ, Yrd.Doç.Dr. Ali Osman AYHAN, Araş.gör. Oğuzhan DOĞAN ve arkadaşlarım Hasan YURT, Veli ÜNSAL'a ve öğrenim hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR .....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI .....	5
BÖLÜM 3 CNG’NİN MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI .....	23
3.1 DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE CNG KULLANIMI .....	23
3.1.1 Dünyada Doğalgaz Rezervleri Ve Tüketimi .....	23
3.1.2 Türkiye’de Doğalgaz Kullanımı .....	27
3.1.3 Gelecekte Dünyada Enerji İhtiyacı .....	29
3.2 DOĞALGAZ YAKIT SİSTEMLERİ .....	30
3.2.1 Sıkıştırılmış Doğalgaz (CNG – Compressed Natural Gas) .....	30
3.2.2 Sıvılaştırılmış Doğalgaz (CNG – Liquefied Natural Gas) .....	31
3.3 CNG’nin FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ .....	32
3.3.1 Kimyasal Özellikleri .....	34
3.3.2. CNG’nin Tam ve Teorik Yanma Denklemleri .....	34
3.4 CNG’nin DİĞER YAKITLARLA KARŞILAŞTIRILMASI .....	35
3.5 CNG’nin AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI .....	37

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.5.1 CNG'nin Avantajları .....	37
3.5.1.1 Ekonomi .....	37
3.5.1.2 Güvenlik .....	38
3.5.1.3 Emisyonlar .....	39
3.5.2 CNG'nin Dezavantajları .....	40
BÖLÜM 4 TAŞITLARDA CNG KULLANIMI.....	43
4.1 TAŞITLARDA KULLANILAN CNG TEKNOLOJİLERİ .....	43
4.1.1 CNG Karbürasyon Sistemi (1. Nesil).....	43
4.1.2 Elektronik Kontrollü CNG Sistemleri (2. Nesil) .....	44
4.1.3 CNG Püskürtme Sistemleri (3. Nesil).....	45
4.1.4 CNG Karbüratör Sistemleri .....	48
4.1.5 Fakir Karışımli Doğalgaz Motoru.....	48
4.1.6 Stokiyometrik Karışımli Doğalgaz Motoru.....	49
4.2 CNG YAKIT DÖNÜŞÜM SİSTEMİNİN ELEMANLARI.....	49
4.2.1 Dolum Ucu .....	50
4.2.2 Selenoidli Dolum Ucu (Opsiyonel).....	51
4.2.3 Harici Dolum Ucu (Opsiyonel).....	51
4.2.4 Tank Valfi.....	52
4.2.5 Benzin Selenoid Valfi .....	52
4.2.6 Koruyucu Kapak .....	53
4.2.7 Vent Borular .....	53
4.2.8 Çelik Boru.....	54
4.2.9 Regülatör .....	54
4.2.10 Mikser.....	55
4.2.11 Elektrik Tesisatı .....	56
4.2.12 Gaz Ayar Vanası .....	56
4.2.13 Hortumlar .....	57
4.2.14 CNG Tankı.....	57
4.2.15 Seçici Anahtar .....	58

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5 DENEY DÜZENİĞİ VE YÖNTEMİ .....	61
5.1 DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR .....	63
5.1.1 Motor Deney Seti ve Dinamometresi.....	63
5.1.2 Egzoz Gaz Analizörü .....	63
5.1.3 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği.....	64
5.1.4 Ateşleme Avansı Ölçümünde Kullanılan Cihaz .....	65
5.1.5 Doğalgaz Dönüşüm Sistemi .....	65
5.2 DENEY YÖNTEMİ .....	66
5.3 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR .....	66
5.3.1 Motor Momenti ve Gücü.....	66
5.3.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	67
BÖLÜM 6 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	69
6.1 MOTOR PERFORMANSLARI .....	69
6.2 EGZOZ EMİSYONLARI.....	71
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	83



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Metan numarası değişikliğinin ve değişik tasarımların etkisi.....	8
2.2	Emisyonların $\lambda$ 'ya göre değişimi .....	9
2.3	Buji yerleşim düzeni.....	10
2.4	Doğalgaz ve benzinle çalışmada motor gücü.....	11
2.5	Doğalgaz ve benzinle çalışmada motor momenti .....	12
2.6	Doğalgaz motorunda modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar .....	16
2.7	1500, 2000 ve 3000 1/min'de doğalgazla çalışmada $\lambda=1$ iken MBT ateşleme zamanında elde edilen silindir basıncı, % olarak yanmış kütle miktarı yanma hızı eğrileri.....	19
2.8	1500 1/min'de $\lambda=1$ ve ateşleme avansı $15^\circ$ , $27^\circ$ ve $38^\circ$ iken doğalgazın yanma hızı, % yanmış kütle miktarı ve yanma hızı eğrilerinin karşılaştırılması.....	19
2.9	1500 ve 3000 1/min'de $\lambda=1$ iken doğalgazın farklı ateşleme avanslarında krank % yanmış kütle miktarı ve yanma hızı eğrilerinin karşılaştırılması.....	20
2.10	Doğalgaz ve benzin için $\lambda=1$ , 3000 1/min ve MBT ateşleme zamanı için silindir basıncı, % yanmış kütle miktarları, laminer ve türbülanslı yanma hızı eğrilerinin karşılaştırılması .....	21
2.11	Benzin ve doğalgazın 1500 ve 3000 1/min'de yanmış kütle miktarına göre türbülanslı yanma hızlarının karşılaştırılması.....	21
3.1	Büyük hacimli yakıt tüplerinin görünümü.....	41
4.1	Mekanik kontrollü CNG sistemi (1. Nesil) .....	44
4.2	Bir mikroişlemci kontrollü CNG sistemi (2. Nesil).....	45
4.3	Çok noktalı kuru gaz püskürtme sistemi (3. Nesil).....	47
4.4	CNG sistem elemanlarının taşıt üzerindeki yerleri .....	50
4.5	Dolum ucu .....	50
4.6	Selenoidli dolum ucu .....	51

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.7 Harici dolum ucu .....	51
4.8 Tank valfi.....	52
4.9 Benzin selonoid valfi.....	52
4.10 Koruyucu kapak .....	53
4.11 Vent borular. ....	53
4.12 Regülatör. ....	54
4.13 Çeşitli mikserler .....	55
4.14 Gaz ayar vanaları .....	56
4.15 CNG tankı.....	58
4.16 Seviye göstergeli yakıt seçici anahtar. ....	59
5.1 Deney tesisatının genel görünümü. ....	61
5.2 Deney tesisatının şematik görünüşü.....	62
5.3 Deney motoru (DATSU 200E).....	63
5.4 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı. ....	64
5.5 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği. ....	64
5.6 Kullanılan CNG sistemi. ....	65
6.1 CNG yakıtının motor momentine etkisi.....	69
6.2 CNG yakıtının motor gücüne etkisi .....	70
6.3 CNG yakıtının özgül yakıt tüketimine etkisi .....	71
6.4 CNG yakıtının karbonmonoksit (CO) emisyonuna etkisi. ....	72
6.5 CNG yakıtının hidrokarbon (HC) emisyonuna etkisi.....	72
6.6 CNG yakıtının karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonuna etkisi.....	73
6.7 CNG yakıtının azotoksit (NO <sub>x</sub> ) emisyonuna etkisi.....	74



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Endüstrileşmiş ülkelerde birincil enerji kaynakları tüketimi (1994), (milyon ton petrol eşdeğeri) .....	24
3.2 Dünya doğalgaz rezervleri ve tüketimi (milyar m <sup>3</sup> ) .....	25
3.3 Dünyada doğalgazla çalışan taşıtlar .....	26
3.4 Türkiye’de sektörel doğalgaz talebi ve oranları .....	28
3.5 Türkiye doğalgaz rezervleri (milyar m <sup>3</sup> ).....	29
3.6 Dünya enerji talebinde gelişmeler (milyon TEP).....	30
3.7 Doğalgaz özellikleri.....	33
3.8 Egzoz gazı emisyon değerleri.....	36
3.9 Alternatif yakıt kullanan taşıtların performanslarının karşılaştırılması.....	37
3.10 Doğalgaz, benzin ve dizel yakıtının özellikleri.....	39
3.11 Çift yakıtlı hafif hizmet taşıtlarının ortalama emisyonları .....	40
3.12 Çift yakıtlıya dönüştürülen IVECO 8220’ nin partikül emisyonları.....	40
3.13 Depolama sırasındaki bağıl sızıntı potansiyeli .....	41
3.14 Depolama sırasındaki bağıl dökülme potansiyeli .....	42
5.1 Deney motorunun teknik özellikleri. ....	62



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	:	Ateşleme avansı
AÖN	:	Alt ölü nokta
$b_e$	:	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
CNG	:	Sıkıştırılmış doğalgaz
CO	:	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	:	Karbondioksit
GKA	:	Gaz kelebeği açıklığı
HC	:	Hidrokarbon
HFK	:	Hava fazlalık katsayısı
H/Y	:	Hava/yakıt oranı
KMA	:	Krank mili açısı
LNG	:	Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	:	Sıvılaştırılmış petrol gazı
MAP	:	Manifold emme basıncı
$M_e$	:	Motor momenti (Nm)
MEGI	:	Çok noktalı elektronik püskürtme sistemi
MON	:	Motor oktan sayısı
n	:	Motor devri (1/min)
NO <sub>x</sub>	:	Azotoksit
NŞA	:	Normal şartlar altında
$P_e$	:	Motor gücü (kW)
RON	:	Araştırma oktan sayısı
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
ÜÖN	:	Üst ölü nokta
$\epsilon$	:	Sıkıştırma oranı



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde bütün dünyada mevcut enerji kaynaklarının tükenmesi ve üstelik bu kaynaklarla çalışmakta olan taşıt motorlarının egzoz ve gürültü emisyonları nedeni ile çevre kirliliğinin had safhalara ulaşması, insanları bu konularda yeni ve bu problemlere en iyi çözümler getirebilecek çareleri aramaya, dolayısı ile alternatif enerji kaynaklarına doğru itmiştir (Tekin ve Çavuşoğlu, 1997). Özellikle egzoz gazları emisyonunun zararlarının azaltılması için yapılan çalışmalar bunların başını çekmektedir. Bu sorunları çözerken alternatif yakıtın ayrıca ekonomik olması ve bu yakıt için tasarımı planlanan taşıt motorunun da mümkün olduğunca kolay ve ekonomik tasarımlı ve emisyonlarının da standartlara uygun olması istenmektedir.

Bazı alternatif yakıtların (Doğalgaz ve LPG gibi) egzoz emisyonları çevre için daha iyi ve diğer yakıtlara göre daha ekonomik olduğu için bu tür yakıtların taşıt motorlarında kullanılma çareleri araştırılmış ve oldukça da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu çalışmalar ve bu tür yakıtların kullanılması bazı devletlerce çok önemsenmiş olup bunların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için bu konularda ilgililere oldukça önemli toleranslar, özendirici durumlar sunmuşlardır. Bunlara örnek olarak vergilerin daha düşük olması gösterilebilir (Pancar, 1994).

Soluduğumuz havadaki kirletici etkenlerin başında, sıvı ve katı yakıtların yanması sonucu oluşan kimyasal bileşenler gelmektedir. Bu bileşenler doğa tarafından da üretilmektedir. Ancak endüstri ve yerleşim bölgelerinde (taşıtların ürettiği kirletici bileşenler nedeniyle) insan tarafından üretilen kirletici bileşen miktarı, doğada üretilen miktarların kat kat üstündedir. İnsan tarafından yapılan kirletici üretiminde taşıtların payı gelişmiş ülkelerde yaklaşık olarak NO<sub>x</sub>'de %55, HC'de %40 ve partikülde %10 kadardır (Ergeneman ve Kutlar, 1998).

Bu rakamlar yurdumuz bütünü için tam geçerli olmamakla beraber, özellikle büyük şehirlerimizde benzer oranlar geçerlidir.

Yüzyılı aşkın bir süredir Otto ve Dizel ilkelerine göre çalışan motorlarda ana yakıt, petrol kökenli yakıtlardır. Kullanım kolaylığı, ısı değerinin yüksek olması ve kolay temin edilebilmesi gibi özellikleri nedeniyle, petrol yakıtları, motorların geçmişte ve bugün tek ve alternatifsiz yakıtı olmuştur. Günümüzde motorlar petrol yakıtları yakabilecek şekilde tasarlanarak dünya motor teknolojisine yerleşmiştir. Dünya üzerindeki petrol yakıtlarının, belirli bölgelerde toplanması ve izlenen politikalar 1970'li yıllarda başlayan petrol krizlerine yol açmıştır. Öte yandan petrolün fosil yakıt olması, tüketim sonucu petrol rezervlerinin gittikçe azalması ve petrol yakıtlarının yanmaları sonucu çevreyi kirletmeleri gibi nedenlere, petrole alternatif olabilecek motor yakıtlarının bulunması ve uygulamaya konulması zorunlu hale gelmiştir. Ancak bulunacak alternatif yakıtın, mevcut teknolojide önemli değişiklikler gerektirmeden kullanılması önem taşımaktadır. Motorlarda kullanılacak, petrole alternatif yakıtlardan biri de doğalgazdır.

Yapılan araştırmalar da motorda doğalgaz kullanımının iki grup ülkede yoğunlaştığı görülmüştür. Birinci grup ülkeler, büyük miktarda doğalgaz rezervlerine sahip, Avustralya, Tayland, Malezya, Kanada, Arjantin ve Yeni Zelanda gibi ülkelerdir. Bu ülkelerde doğalgazın tercihi en önemli etken ekonomik olmasıdır. İkinci gruba giren ABD, Hollanda, Belçika, Almanya, Avusturya ve İsviçre gibi ülkeler, çevreye verdikleri önemden dolayı temiz yanan bir yakıt olan doğalgazı tercih etmektedirler. Son yıllardaki gelişmeleri göz önüne alırsak ülkemizi de ikinci grup ülkeler arasında sayabiliriz (Hatipoğlu, 1996).

Yapılan tahminlere göre dünyada halen takriben 2.197.679 adet CNG (sıkıştırılmış doğalgaz) ile çalışan taşıt bulunmaktadır. Bu taşıtların çoğu petrole çalışabilecek şekilde çift yakıt donanımlı olup, tadilat görmüşlerdir. İtalya, Arjantin ve Pakistan'da yaklaşık 1.500.000 adet CNG ile çalışan taşıt vardır (Bora, 2002). Bunların yanında Avustralya, Kanada, ABD ve Arjantin'de deneme amaçlı filolar teşkil edilmiştir. Avrupa'da ise CNG otobüsleri İsveç, Hollanda, İtalya, Almanya ve Türkiye'de bulunmaktadır (Kroff, 1996).

İçten yanmalı motorlarda alternatif olarak alkol (etanol, metanol) doğalgaz, hidrojen gibi yakıtların kullanımı düşünülmektedir. Özellikle yüksek oktan sayısı nedeniyle alkoller

benzin motorları için elverişli yakıt kabul edilmiştir. Ancak alkollerin üretiminin kısıtlı olması ve enerji yoğunluğunun düşük olması, nedeniyle kullanım ve depolanması gibi ortaya çıkan sorunlar sonucu yaygın olarak kullanımı mümkün olmamıştır. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır (Ergeneman ve Soruşbay, 1990).

Sudan elektroliz yolu ile üretilen ve yenilenebilir bir yakıt olan hidrojen, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle karışım hazırlama yöntemine bağlı olarak benzine oranla motordan daha fazla güç elde etme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanımının getirdiği en önemli yarar, hava kirliliği açısından sağladığı üstünlüktür. Ancak depolama sorunları, üretim güçlüğü ve maliyeti gibi güçlüklerle çözüm getirildiğinde hidrojen geleceğin vazgeçilmez bir yakıtı olacaktır.

Geçiş döneminde ise özellikle hava kirliliğine olumlu etkisi ve bulunabilirlik açısından üstünlükleri bulunan doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı uygun çözüm olarak görülmektedir. Benzin ve dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yakıt ekonomisi yönünden avantajlı görülen doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı tüm dünyada yaygın biçimde artış göstermektedir. Bolluk, düşük maliyet ve temiz yanma karakteristikleri ve dağıtım sistemlerinin var oluşuna ek olarak daha düşük taşıt emisyonlarına imkan vermesi, doğalgazı son derece elverişli bir alternatif yakıt yapmaktadır (Gandhidasan et al, 1991). Doğalgaz ve metanol, enerji kaynağı olarak, gelecek 40–50 yıl için en cazip alternatif yakıt olarak görülmektedir. Güvenli olan ve temiz yanan doğalgaz, korozif değil. Yandığında formaldehit emisyonunda vermez (Öncül, 1990).

Şehir içi ulaşımda kullanılan otobüsler, yoğun yerleşim merkezlerinde hava kirliliğine neden oldukları için doğalgaz uygulamasının başlangıç noktaları olmaktadır. Ayrıca bu taşıtların yakıt ikmaline uygun bir bölge içinde kullanılıyor olmaları da farklı yakıt kullanımının getirdiği sakıncaları minimuma indirmektedir.

Gerek otto gerekse dizel çevrimine göre çalışan motorlarda gaz yakıtların kullanımı motor ve yakıt özelliklerinin uyum göstermesiyle mümkündür. Otto motorlarına doğalgazın kullanımı daha kolay olmasına karşılık dizel motorlarda tasarım bazı değişikliklerine gereksinim olmaktadır.

Doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı ile egzoz emisyonunun azaltılması ve yakıt ekonomisi yönünden avantaj sağlamasının yanında, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde de azalmalar elde edilmektedir (Karabektaş, 1996). Yapılan araştırmalarda benzin ve dizel yakıtı ile çalışan motorlara oranla doğalgazlı motorların yağlama yağlarının kirlenme süresi daha uzun olmakta ve motorların aşınması azalarak ömürleri daha uzun olmaktadır.

Bu çalışmada, tek silindirli, buji ateşlemeli bir motor CNG ile çalıştırılarak, orijinal sıkıştırma oranında benzinli çalışma ve CNG ile çalışmanın motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Cho and He (2005) birçok ülkedeki motor emisyonları düzenlemelerini karşılamak için doğalgazın gelecek vadeden bir alternatif yakıt olduğunu açıklamışlardır. Doğalgaz motorları değişik yanma ve atık özellikleri olan zayıf yanma ve stokiometrik şartlarda çalışabilir. Çalışma şartı sınırları, yakıt ekonomisi, emisyonlar, gösterilen ortalama efektif basınçta çevrimden-çevrime değişmeler ve stokiometrik doğalgaz motorlarının düzenli yanması için taktikler işlemlerdir. Stokiometrik doğalgaz motorları da kısaca gözden geçirilmiştir. Doğalgaz motorlarının çıkış gücünü, benzer benzin ve dizel motorlarına yaklaşık seviyede tutmak için, yükseltilmiş basınç kullanılmalıdır. Gelecekteki emisyon standartlarını karşılamak için metan oksidasyon ve düşük NO<sub>x</sub> sistemi için yüksek aktiviteli katalist veya hassas hava/yakıt kontrolü olan üç yönlü katalist geliştirilmesini açıklamışlardır.

Aslam et al (2005) 1,5 litrelik dört silindirli Proton Magma uyarlanmış buji ateşlemeli bir otomobil motorunu dinamometre ile çalıştırılarak elde edilen test sonuçlarını sunmaktadır. Benzin ve sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) kullanarak normal şartlar altında, performans, yakıt kullanımı ve egzoz artığı ölçümleri kayıt etmişlerdir. Motor benzin motorundan bilgisayar entegreli iki yakıtlı sisteme çevrilmiş ve elektronik kontrollü selenoid tahrikli supap sistemi vasıtası ile benzin veya CNG için ayrı ayrı çalıştırmışlardır. Tüm işlemlerin kontrolü için bilgisayar destekli veri toplama ve kontrol sistemi kullanmışlardır. Benzin ve CNG'li çalışmada performans ve emisyonlar için kıyaslamalı analizler yapmışlardır. Deneyler sonucunda, CNG'nin, benzinle kıyaslandığında, daha düşük fren ortalama efektif basınç ve fren özel yakıt tüketimleri, daha yüksek verim ve daha düşük CO, CO<sub>2</sub> ve HC ve daha fazla NO<sub>x</sub> gösterdiğini açıklamışlardır.

Çetinkaya (2003) tarafından doğalgazlıya dönüştürülen buji ile ateşlemeli bir motor ile pilot dizel yakıtlı doğalgazlıya dönüştürülen bir dizel motorunda, doğalgazın motorların performansına etkisi değerlendirmiştir. Murat 124 marka 4 silindirli buji ile ateşlemeli

bir motor doğalgazlıya; Süper Star 7710 marka, dört zamanlı, 1 silindirli direkt püskürtmeli sıkıştırma ile ateşlemeli bir motor da çift yakıtlıya (pilot dizel enjeksiyonu ve doğalgaz) dönüştürmüştür. Deneysel çalışmalar, doğalgazın hem buji ile ateşlemeli hem de sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda önemli değişiklikleri gerektirmeksizin ve dikkate değer performans kaybına yol açmaksızın kullanılabileceğini göstermiştir. Doğalgaza dönüşüm için regülatör, gaz karıştırıcı ve yüksek basınca dayanıklı doğalgaz tüpü kullanmıştır. Benzin motorunun doğalgazla çalıştırılmasının moment ve güç değerlerini bir miktar azalttığı, ancak özgül enerji maliyetinin düşük olması nedeniyle, hem benzin motorunda, hem de dizel motorundaki çift yakıtlı kullanımında, benzinli ve dizel çalışmalarına göre daha ekonomik olduğu tespit etmişlerdir. HC, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları benzinle ve doğalgazla çalışmada ayrı ayrı ölçülmüş ve değerlendirmiştir. Doğalgazla çalışmada ölçülen bütün emisyon değerleri, benzinle çalışmada ölçülen değerlerin altında kalmıştır. Özellikle CO, HC emisyonlarında önemli ölçüde azalma tespit etmiştir. Sıkıştırılmış doğalgazın (CNG), gelecekte taşıtların enerji ihtiyacını daha büyük oranda karşılayabilecek olan çevreci ve önemli bir alternatif yakıt olduğunu belirtmiştir.

Roethlisberger and Favrat (2003) tarafından yaptıkları nümerik simülasyonda, CFD programı KIVA-3V'i kullanarak yapılan nümerik simülasyonlarına bağlı olarak konvansiyonel yanma odasındaki ateşleme noktasını küçük bir yanma odası öncesi bölüme kaydırmanın etki ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Buji elektrotları ve ateşlemenin yapılmasının beklendiği krank açısı periyodu arasındaki boşluk yerindeki yanma odası öncesi akış özellikleri, konvansiyonel yanma odasındaki ilgili şartlarla karşılaştırmışlardır. Yanma odası öncesinin geometrik yapısının etkisi, nozul orifis çapı, sıra ve eğimi ve hacim ve iç şekil değişiklikleri yolu ile değerlendirmişlerdir. Sonuçların, hız şiddetinin temel olarak yanma odası öncesi şekline bağlı olduğunu ve genel olarak direkt ateşlemeli düzenek ile aynı oranda olduğunu tespit etmişlerdir. Ek olarak, türbülans şiddeti geometrik yapı ile oldukça fazla değişmekte olduğunu ve birçok durumda yanma odası öncesinde daha yüksek seviyeye ulaştığını anlamışlardır. Yanmamış karışımın yanma odası öncesi kalıntı gazıyla parçalı olarak çözünmesi eşdeğer yakıt-hava oranının biraz düşmesine neden olmuştur. Bununla beraber, dönme hareketi oluşturan nozul orifisleri veya yaklaşık olarak sabit kesite sahip yanma odası öncesi şekli, yanabilme sınırına çok yakın veya üzerinde yakıt yoğunlaşmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Yanma odası öncesi şarj ve

dolayısı ile ana yanma odası ateşleme için kalan kullanılabilir enerji miktarı, yanma odası öncesi hacmi ve nozul orifislerindeki basınç düşmesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir.

Roethlisberger and Favrat (2002) yaptıkları çalışmada bir ortak üretim içten yanmalı ve ön yanma odası ateşlemeli bir motorun çalıştırılmasını araştırmışlardır. Amaçları, egzoz gazlarının özellikle egzoz sonrası değişiklik yapılmadan CO emisyonlarını azaltmadaki potansiyeli incelemektir. Araştırmalarını küçük ebatlı bir gaz motorunda (150 kW) ve soğutulmuş ön yanma odası geliştirilmesini ve silindir başlarının değiştirilmesini gerektirmiştir. Direkt ateşlemeli sıradan fakir yanma şekli sınırlarını tartışmışlar ve ön yanma odası geometrik yapısını belirlemişlerdir. Ana yanma odasında gaz jetleri üreterek ön yanma odası kullanımının güçlü bir şekilde yanma enerjisini artırmış ve hızlandırmış olduğunu görmüşlerdir. NO<sub>x</sub> emisyonları için, ön yanma odası kullanımının CO ve toplam hidrokarbon (HC) emisyonlarını önemli bir ölçüde azalttığını belirlemişlerdir. Daha fazla türbülans üreten bir piston kullanımı, düşük seviye NO<sub>x</sub> emisyonlarına CO ve HC emisyonlarını etkilemeden biraz fazla yakıt çevrim verimine olanak sağladığını tespit etmişlerdir.

Das et al (2000) düşük güçlü buji ateşlemeli motorlarda hidrojen gibi temiz yanıcı yakıt kullanma potansiyelini değerlendirmiştir. Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG), alternatif yakıt olarak içten yanmalı motorlarda daha önce kullanılmış olduğundan, hidrojen yakıt kullanımının CNG ile karşılaştırılmasını ele almıştır. Motoru, elektronik olarak kontrol edilen, Hindistan Teknoloji Enstitüsü'nde (Delhi) Motorlar ve Sıradışı Yakıtlar Laboratuvarında geliştirilmiş solenoid tahrikli enjeksiyon sistemini kullanarak hidrojen ve sıkıştırılmış doğalgaz için ayrı ayrı çalıştırmıştır. Gazlı her iki yakıt için, motor sisteminin performans ve yanma özelliklerinin karşılaştırılmalı analizini yapmıştır.

Wu and Mathews (1996) tarafından yapılan bir proje çalışmasında yedi adet taşıtın emisyon davranışları LPG, doğalgaz ve benzin kullanılarak incelenmişler, LPG ve doğal gaz ile çalışmada daha düşük egzoz emisyonu elde edilmiştir.

Schiffgens et al (1994) stokiometrik ve fakir karışimli otto çevrimli doğalgaz motorunda bazı tasarım değişikliklerinin ve metan sayısı değişikliğinin (LPG veya CNG ilavesi) uyum parametrelerini kullanıp optimize etmişlerdir. Otto çevrimli gaz motorlarının kontrolü için metan sayısı değiştirme fikrini benimsemişlerdir. Şekil 2.1'de metan numarası değişikliğinin

ve değişik tasarımların etkileri görülmektedir. Yeni geliştirilmiş gaz motorlarının istenen temiz hava kalitesine uygunluk gösterdiğini görmüşlerdir. Test sonuçlarında otto çevrimli gaz motorlarının emisyon limitlerine uygunluğu yanında yüksek verimlerini de devam ettireceklerini belirtmişlerdir.

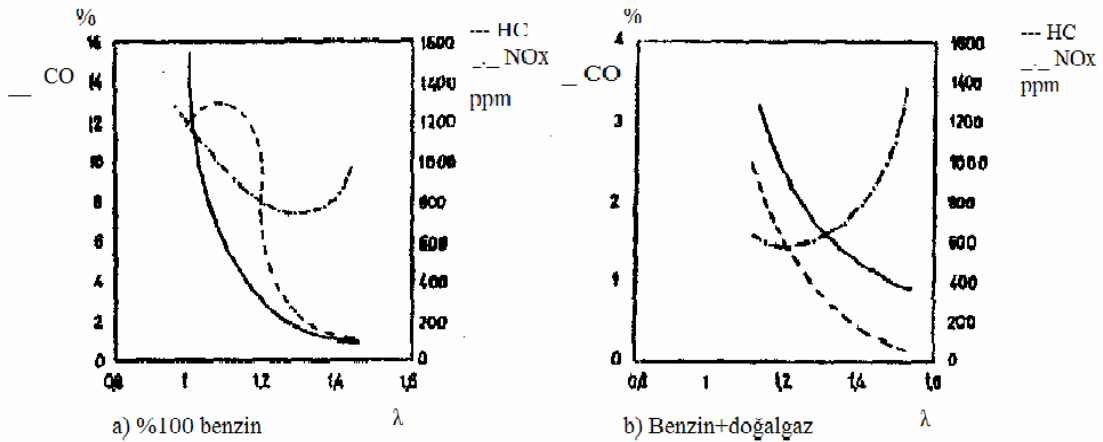
Deęişim	Etki					
	Stokiyometrik			Fakir		
	Vuruntu eğilimi	$\eta_e$	NO <sub>x</sub>	Vuruntu eğilimi	$\eta_e$	NO <sub>x</sub>
Ateşlemeyi geciktirme	++	--	o	++	-	++
Hava/yakıt oranının fakirleştirilmesi	/	/	/	+	o	+
Yük düşürme	+	--	o	+	-	+
Egzoz gaz resirkülasyonu	++	o	+	++	o	++
Karışım sıcaklığının düşürülmesi	++	+	o	++	+	++
Soğ. suyu sıcaklığının düşürülmesi	+	o	o	+	o	+
Hızın düşürülmesi	++	+	o	+	+	+
Kompresyon oranının düşürülmesi	++	--	o	++	-	++

++ çok faydalı      + faydalı      o etkisiz      - negatif      -- çok negatif

Şekil 2.1 Metan numarası değişikliğinin ve değişik tasarımların etkisi (Schiffgens et al, 1994).

Albay (1993) yaptığı çalışmada, doğalgazı benzin içerisine belli oranlarda katarak kullanmış ve çıkan sonuçları benzinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Çalışmada silindir çapı 90 mm, stroku 80 mm olan Farymann marka motor kullanmış olup, çalışma esnasında motor devri 2000 l/min ve ateşleme avansını ise 10° olarak ayarlamıştır. Benzin kullanıldığında ise karışım maksimum  $\lambda=1,44$ 'e kadar fakirleştirilebilmiş ve değerlendirmeleri benzin+doğalgazda  $\lambda=1,44$  ve daha büyük değerler için yapmıştır.

%100 benzin kullanıldığında,  $\lambda=1,44$ 'deki  $N_e=2,2$  kW,  $P_{me}=4,06$  bar olmuştur. Benzine %20 doğalgaz eklendiğinde ve karışım daha fakirleştirildiğinde ( $\lambda=1,46$ ) güç  $N_e=2,73$  kW'a yükselmiş,  $P_{me}=4,06$  bardan 5,04 bara çıkmış, özgül yakıt tüketimi  $b_e=520$  g/kWh'den 412 g/kWh'a indiğini tespit etmişlerdir. Benzin ve benzin+doğalgazda aynı hava fazlalık katsayılarında çalışıldığında, benzin+doğalgazın benzine göre daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir. %100 benzinle  $\lambda=1,14$ 'de  $N_e=3,79$  kW,  $P_{me}=5,87$  bar,  $b_e=405$  g/kWh, aynı  $\lambda$  ile benzin+doğalgaz kullanıldığında ise,  $N_e=4,11$  kW,  $P_{me}=6,16$  bar ve  $b_e=382$  g/kWh belirlemiştir. %100 benzinde  $\lambda=1,44$ 'de  $NO_x$  emisyonu 100 ppm iken, aynı  $\lambda$ 'da benzin+doğalgaz kullanıldığında 90 ppm'e düştüğünü ifade etmiştir. %100 benzinde  $\lambda=1,14$  iken,  $NO_x=1100$  ppm, aynı  $\lambda$ 'da benzin+doğalgaz kullanıldığında 850 ppm olarak belirlemiştir. HC emisyonu, karışım fakirleştirildiğinde benzinlide, zenginleştirildiğinde ise benzin+doğalgazlıda daha avantajlı olduğunu belirlemiştir. CO emisyonu açısından ise pek fark görülmemiştir. Verim bakımından ise benzin+doğalgaz daha avantajlı bulunmuştur. Verim, %100 benzinde  $\lambda=1,44$  iken %16, benzin+doğalgazda ise %20 kadar;  $\lambda=1,14$  iken, %100 benzinlide %20, benzin+doğalgazda %22 kadar olduğunu tespit etmiştir. Buradan da verim bakımından, benzin+doğalgazın azda olsa avantajlı olduğunu gösterilmiştir. Yaptığı çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Albay, 1993).

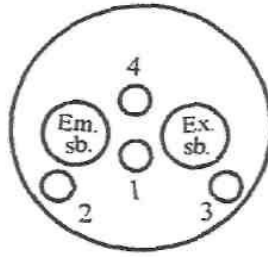


Şekil 2.2 Emisyonların  $\lambda$ 'ya göre değişimi (Albay, 1993).

Bayhan (1992) motorlu taşıtlarda yakıt olarak doğalgazın kullanılmasıyla egzoz emisyonlarının azaltılması konusunu teorik olarak incelemiştir. Taşıtlarda doğalgaz kullanımıyla, dizel motorlarda  $NO_x$  ve HC emisyonlarında, benzin motorlarında ise CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edileceğini belirtmiştir. Ayrıca, benzinli taşıtta doğalgaz kullanımı sonucunda, güç ve momentte düşme olmakla beraber, motor veriminde

bir artma ve bunun sonucu olarak özgül yakıt tüketiminde düşmelerin olduğu belirtilmektedir.

Meyer et al (1992) tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda, buji sayısı ve buji yerlerini değiştirerek çeşitli deneyler yapmışlardır. Deneyler sonunda buji sayısı ve yerinin, NO<sub>x</sub>, HC, CO emisyonları yanma süresi, ateşleme gecikmesi, maksimum silindir basıncı ve maksimum silindir sıcaklığında büyük etkisi olduğu görülmüştür. Düşük emisyon meydana getirmek için, fakir karışım ön yanma odasıyla birlikte, stokiyometrik yanma ve üç yollu katalistle dıştan oksidasyonun kullanılabileceği belirtilmiştir. Bujilerin deney sırasındaki yerleşim biçimi Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



<u>Düzenleme</u>	<u>Buji sayısı</u>	<u>Buji yerleşimi</u>
A	1	1
B	4	1,2,3,4
C	1	2

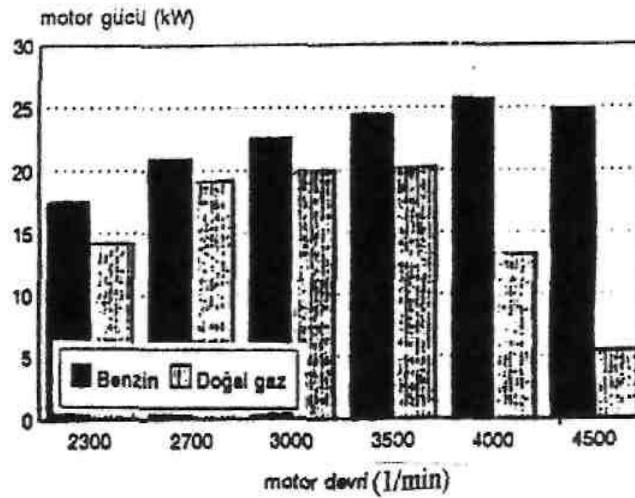
Şekil 2.3 Buji yerleşim düzeni (Meyer et al, 1992).

Çok buji düzenlemesinin Şekil 2.3 (B) performansta daha geniş avantaja sahip olduğu görülmüştür. Uygulama sonucunda bütün hava fazlalık katsayılarında daha büyük güç ve daha büyük termal verim elde etmişlerdir. Yanmama oranı düştüğünde, daha düşük hava fazlalık katsayısında, HC üretimi daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, daha hızlı yanma sonucunda, aynı derecede düşük hava fazlalık katsayısında, diğer düzenlemelerden daha yüksek NO<sub>x</sub> üretimi gerçekleşmiştir. Peripheral C buji yerleştirmesi,  $\lambda=0,8-1$  arasının haricinde, normalin üzerinde emisyon üretmekte olduğu sonucunu ve daha az performans gösterdiği halde, daha düşük NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarını elde etmişlerdir. Merkeze yerleştirilmiş A bujisi düzenlemesi, diğer düzenlemelerle mukayese edildiğinde, yeterli performans ve düşük emisyon ürünlerinde en iyi sonucu vermiş olduğu belirtilmiştir. Farklı buji düzenlemeleri, farklı yanma oranlarıyla birleştirildiğinde her bir

hava fazlalık katsayısı için optimal bir yanma oranı olduğu, bu optimal yanma oranının, NO<sub>x</sub> ürünleri ve performans karakteristiklerini yeterince karşılayabildiği ifade edilmiştir. Mevcut dizel motorlarından doğalgaza dönüştürülmüş motorlarda tek merkeze yerleştirilmiş bujili düzenlemenin, optimuma yakın yanma oranında en uygun düzenleme olduğunu belirtmişlerdir (Meyer et al, 1992).

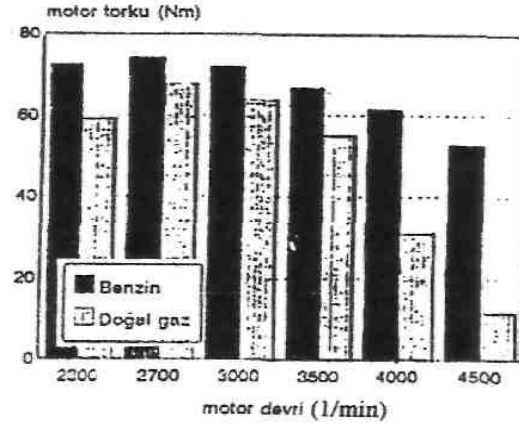
Çolak (1991) tek silindri buji ile ateşlemeli bir motorda (Lombardini LA 205) hiç bir değişiklik yapmadan %100 doğalgaz kullanımının motor karakterleri üzerine etkisini benzinle karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deney setine, içinde %100 doğalgaz bulunan tüp ve gaz sayacı bağlayarak, motorun moment, güç ve özgül yakıt tüketimini hesaplamış, bu değerleri %100 benzin kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda, moment değerinde %33, güç değerinde %33 azalma, özgül yakıt tüketimi değerinde ise %35 artış olduğunu belirtmiştir. Sonuç olarak küçük güçlü içten yanmalı motorlarda %100 doğalgazın verimli olarak kullanılabilmesi için, motorun sıkıştırma oranının artırılmasının ve motorun özelliklerine uygun bir gaz karıştırıcısının gerekli olduğunu belirtmiştir.

Yücesu (1991) yaptığı çalışmada Anadol marka 1197 cm<sup>3</sup> toplam silindir hacmindeki buji ile ateşlemeli bir motoru doğalgazla çalıştırabilmek için gerekli olan gaz karıştırıcıyı tasarlamış ve denemelerde kullanmıştır. Sadece 4500 1/min'de maksimum güce göre %3,3'lük bir azalma tespit edilmiştir. Doğalgazla çalışmada ise 3500 1/min'e kadar artış gözlenmiş fakat bu devirden sonra güçte hızlı bir düşüş meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 2.4 Doğalgaz ve benzinle çalışmada motor gücü (Yücesu, 1991).

Deneme sonucunda, doğalgazın 3500 1/min'den sonra motorda çeşitli düzenlemeler (yanma odası geometrisinin değiştirilmesi, emme manifoldunun yeniden düzenlenmesi v.b.) yapılmadan verimli olmayacağı sonucuna varmıştır. Motor momenti ise, doğalgazla çalışmada 2700 1/min'de artış, bu devirden sonra ise azalma olduğunu belirtmiştir. Benzin ile çalışmada da motor momenti 2700 1/min'den sonra düşüş göstermiş fakat doğalgazla çalışmada meydana gelen düşüş daha fazla olmuştur. Şekil 2.4 ve 2.5'de, motor gücü ve motor momentine ait grafikler gösterilmiştir (Yücesu, 1991).



Şekil 2.5 Doğalgaz ve benzinle çalışmada motor momentini (Yücesu, 1991).

Fowler et al, (1991), doğalgaz yakıtlı içten yanmalı motorlarda  $NO_x$  emisyonunu düşürmek için bir çalışma yapmışlardır. Standart üç yollu konvertörler (TWC) içten yanmalı motorlarda doğalgaz kullanıldığında ve hava/yakıt oranı tam kontrol edildiğinde %95  $NO_x$  emisyonunda azalma olabilmektedir. Yanmada asidik nem yoğunlaşmasında CO ve metan emisyonlarında %50 ve %98 azalma gözlemişlerdir. Doğalgazla çalışan motorlarda nitrojen oksideri ve amonyak konsantrasyonu ölçümleri TWC'nin nitrojen reaksiyonundaki  $NO_x$  üzerinde yaklaşık %100 etkili olduğunu göstermiştir. Doğalgazla çalışan birleşmiş ısı ve güç motorlarına TWC ilavesinin, sera etkisi yapan emisyonları minimuma indirmesi, partiküler  $SO_x$  emisyonunu ihmal edilebilir miktarda azaltması ve düşük  $NO_x$  emisyonu ile ideale yakın emisyonlara getirildiğini tespit etmişlerdir.

Ronney et al (1991) doğalgaz, 89 oktan kurşunsuz benzin, 2,2-dimetil bütan (22 DMB) ve MTBE (metil tertü-butil eter)'in, stokiyometrik ve fakir yakıt-hava karışımlarında, 4 silindri otomobil motorundaki vuruntu karakteristikleri üzerine çalışmışlardır. Her bir yakıt için, farklı giriş sıcaklığında vuruntu sınırları çok farklı bulunmuştur. Fakat aynı giriş sıcaklığındaki vuruntu sınırları, fakir karışımlarda, stokiyometrik karışımdan daha yüksek



bulunmuştur. Benzin ve 22 DMB'nin ITKL (The Intake Temperature at the Knock Limit)'sinde fakir karışım halinde artış, MTBE ve doğalgazın ITKL'sindeki artıştan daha yüksektir. 22 DMB'nin fakir karışımlar için ITKL MTBE ve hemen hemen onun kadar yüksek olan doğalgazdan daha yüksek değer göstermesi şaşırtıcıdır. Bu sonuçları kendi kendine ateşleme kimyasının ayrıntılı sayısal modeliyle karşılaştırmışlar ve bütün modellemelerde model ve deney sonuçları arasında iyi bir uyum olduğunu tespit etmişlerdir.

Gou et al (1990) orijinali benzinli olarak tasarlanmış buji ile ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak doğalgaz kullanımının yanma karakteristiklerinde meydana getirdiği gelişmeleri araştırmışlardır. Doğalgazın gerekli fiziksel karakteristikleri orijinal güçten %10-20'lik güç kaybına neden olabilmektedir. Doğalgaz ve benzin karışımı kullanılarak tek silindirli motorun performansını geliştirmişlerdir. Metan-hava karışımının alev hızı, benzin-hava karışımının alev hızından daha hızlı olduğu kabul etmişler ve metan-hava-benzin karışımının ise daha iyi yanma karakteristiklerine sahip olduğu belirlemişlerdir.

Onurbaş (1990) çeşitli gaz yakıtları yakacak bir karıştırıcı geliştirmiş, karıştırıcı ile doğalgaz, biogaz ve LPG'yi, tek silindirli buji ile ateşlemeli motorda sabit devirlerde denemiştir. Biogaz ve doğalgaz ile yapılan çalışmada elde edilen güç ve moment eğrilerinin, benzin kullanımı ile elde edilen değerlerin sürekli altında kaldığını belirlemiştir. Özgül yakıt tüketiminde ise doğalgazla çalışmada benzine göre %7-33 arasında bir azalma görülmüştür. Araştırmacı, doğalgaz, biogaz ve LPG'nin, aynı benzin motoru üzerinde önemli bir değişiklik yapılmadan, karbüratör yerine takılacak uygun bir karıştırıcı aracılığı ile alternatif yakıt olarak kullanılabilceğini belirtmiştir.

Klimstra (1990) fakir karışimli doğalgaz motorlarını, özgül yakıt tüketimi, güç kapasitesi ve emisyonlar bakımından incelemiş, NO<sub>x</sub> emisyonu sınırlamalarının azalmasında şaft verimi ve silindir yüklerinin etkisi olduğunu, CO ve HC emisyonlarının düşürülmesinin de mümkün olduğunu belirtmiştir. Özgül güç kapasitesinde ve şaft verimindeki her gelişmenin, NO<sub>x</sub> emisyonunda düşmeye sebep olduğunu, fakir karışimli motorlarda NO<sub>x</sub> üretimindeki düşüşün, hava/yakıt oranının artışı, düzenli yanma ve emniyetli ateşlemenin elde edilmesiyle sağlandığını belirtmiştir. Bu durumda, ön yanma odasının olumlu sonuçlar vereceği, ancak çok fakir karışımlarda HC emisyonlarının artmasına karşı dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir. Performansla ilgili olarak, gelecekte fakir karışimli motorların fren

ortalama efektif basıncının (BMEP) 12 barı fazlaca geçmeyeceği, NO<sub>x</sub> emisyonunu düşük tutmanın zor olduğu, BMEP'in 12 bardan fazla olmasının şaft verimini artıracak, fakir karışimli motorların şaft veriminin yaklaşık olarak maksimum %40 ile sınırlandırıldığını, uygun şaft veriminde ve BMEP'in yaklaşık 12 bar değerinde, NO<sub>x</sub> miktarının %75 olması gerektiği, uygun bir tasarım ile CO emisyonunun %150 geçmeyeceği ve HC emisyonlarının yakıt girişinin %'inden daha az olarak sınırlandırılabilceği, bundan sonraki araştırmalarda, istenmeyen bütün bileşiklerin emisyonlarını düşürmek için özel tasarımlar yapılabileceği belirtilmiştir.

Rele and Seppen (1990) normal emişli 4 değişik, doğalgazla çalışan fakir karışım yakan dizel motorunda yaptıkları araştırmada, motor performanslarını ve egzoz gaz emisyonlarını incelemiştir. Deneyde kullanılan iki motorun emme manifoldundan türbülanslı, yüksek alev hızlı ve diğer iki motorun türbülanssız yanma odasına sahip olduğu, türbülanssız yanma odasında, yanma süresinin uzadığını ve bunun da motor performansını olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. HC emisyonlarının tam yüklerde hafif yüklerden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle kısmi yüklerde HC emisyonlarının minimum seviyede tutulabilmesi için hava-yakıt oranının doğru ayarlanması, emme ve egzoz supaplarının kurslarının düşük tutulması gerektiği ve bunun için de özel kam mili geliştirildiği belirtilmiştir. Tam yüklerde NO<sub>x</sub> miktarının en fazla olduğu, fakir karışimli çalışmada ise NO<sub>x</sub> miktarının yanan karışımın sıcaklığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Christopher (1989) doğalgazın motorlu taşıtlarda kullanılmasıyla ilgili olarak yaptığı çalışmada, doğalgazın temiz bir yakıt olduğunu belirtmiştir. Doğalgaz ile çalışan motorların genellikle yüksek olan NO<sub>x</sub> emisyonlarının, üç yollu katalist kullanılarak ve hava/yakıt oranı doğru ayarlanarak, fakir yanma ya da hızlı yanma motorlarında alev sıcaklıkları düşürülerek azaltılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca, hava/yakıt oranının doğru olarak ayarlanmasının güç çıkışı ve verimi artırmasının yanı sıra, egzoz emisyonlarının düşürülmesinde de oldukça önemli olduğunu, fakir çalışmada doğalgazın yanması için kıvılcım enerjisinin yüksek olması gerektiğini, ateşleme zamanı, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarında oldukça önemli etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir.

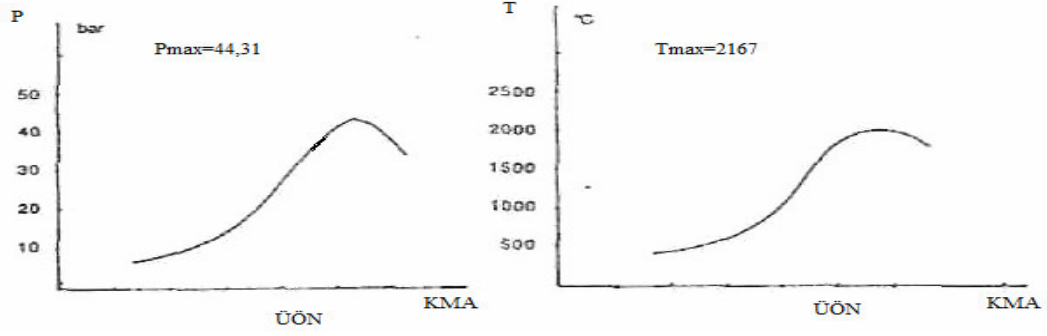
Weaver (1989) doğalgaz ile çalışmada yanma hızını geliştirmek için alev hızını artıran yanma odası geliştirmiştir. Yanma odası tasarımının, vurutunun azaltılması ve verimin yükselmesinde oldukça önemli olduğu doğalgazın yanma hızının benzine oranla daha az

olması nedeniyle, verimin artırılması için yanma hızının artırılması gerektiği, fakir karışımla çalışan ve yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda alev hızının motor performansında oldukça büyük etkiye sahip olduğu geliştirdiği yanma odalarının hava/yakıt karışımında türbülans meydana getirerek alev hızının artmasını sağladığı ifade edilmiştir.

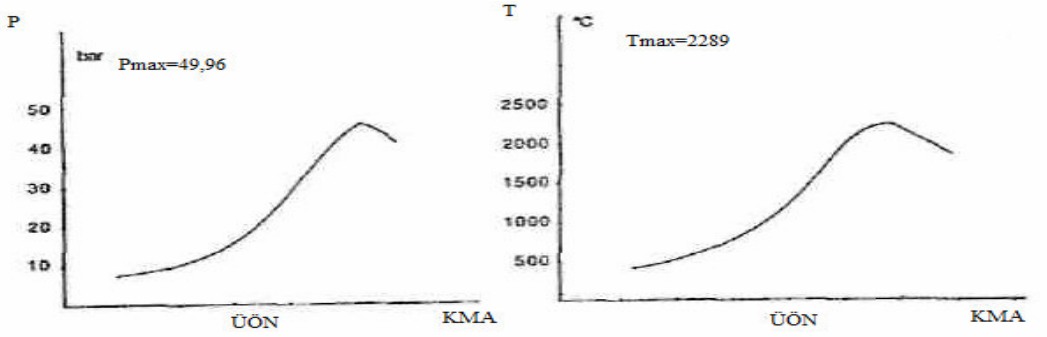
Davies and Saulatisky (1989) 3 dizel traktör motorunda CNG (sıkıştırılmış doğalgaz) kullanımı ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Motorlardan ikisi çift yakıt, diğeri ise %100 doğalgaz ile çalıştırılmıştır. CNG buji ile ateşlemeli motorlarda da başarı ile kullanılmıştır fakat dizelerde daha çok düşük hızlı sabit tesis motorlarında kullanılmıştır. John Dere traktör motorunda 2100 1/min'den 1600 1/min'ne doğru dizel yakıtı ile çalışmada %16 moment artışı olurken çift yakıtla çalışmada %11 güç kaybı tespit etmişlerdir. Verimdeki azalma ise %20 ile %100 yük değişimi arasında %6-17 oranında olduğu belirtilmiştir. Çift yakıtla çalışmada egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtı ile çalışmadan 40-50 °C daha fazla tespit edilmiştir.

Goetz et al (1988) yaptıkları çalışmada altı dizel motorunun (3 dizel, 1 propan, 1 LPG, 1 metanol ve 1 doğalgaz) performanslarını, egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimlerini karşılaştırmışlardır. Bütün sonuçlar DDA (GM DDA 6V-71) motoru esas alınarak hesaplamışlardır. Test sonuçlarına göre MAN metanol motorunun en yüksek moment eğrisini verdiğini tespit etmişlerdir. İveco doğalgaz motorunun ürettiği moment 1600 1/min'e kadar sürekli artmış daha sonra düşüş göstermiştir. Başlangıçta DDA motorunun %88'i kadar moment üreten İveco doğalgaz motoru 2100 1/min'de DDA'nın %115'i kadar moment üretmiştir. Motor momentine karşı İveco dizel motorunun en iyi yakıt verimine sahip olduğu belirtilmiştir. DDA motorunun %31 dolayındaki verimi 1 kabul edilirse, İveco dizel motorunun verimi, DDA'nın 1,16 katı, İveco doğalgaz motorunun verimi ise 0,95 katı olarak belirtilmiştir. Partikül emisyonlarında ise alternatif yakıt kullanan motorların hepsinde önemli azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir. Yakıt fiyatları göz önüne alındığında LPG ve doğalgazın önemli avantaj sağladığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

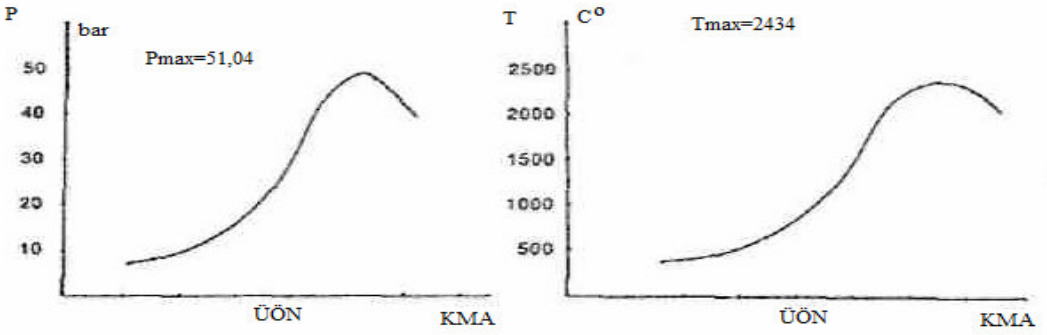
Özaktaş (1988) yaptığı çalışmada, matematiksel bir model kurarak, otto çevrimi ile çalışan ve tasarım özellikleri bilinen bir benzin motorunun, çevrim analizini teorik olarak incelemiş ve sonuçların gerçek motor değerlerine uygun olduğunu göstermiştir.



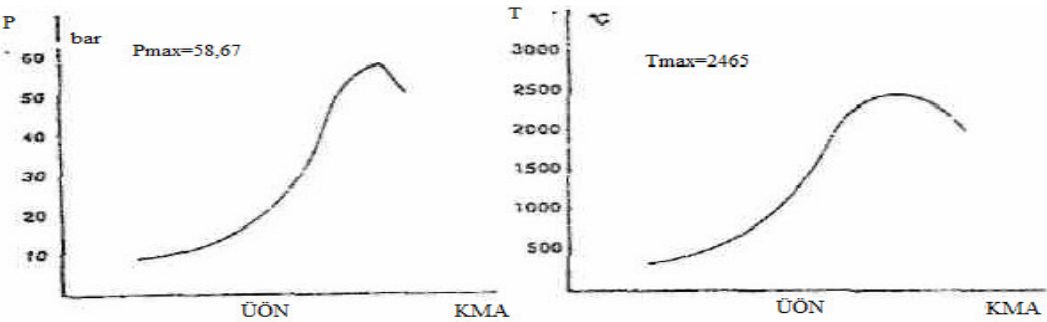
a) Doğalgaz motorunda fakir karışımda basınç ve sıcaklığın KMA'na göre değişimi.



b) Doğalgaz motorunda stokiyometrik karışımda basınç ve sıcaklığın KMA'na göre değişimi.



c) Doğalgaz motorunda zengin karışımda basınç ve sıcaklığın KMA'na göre değişimi.



d) Doğalgaz motorunda zengin karışımda basınç ve sıcaklığın KMA'na göre değişimi.

Şekil 2.6 Doğalgaz motorunda modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar (Özaktaş, 1988).

Matematiksel simülasyon modeli ile, elemansal analizi bilinen doğalgazın bu motorda kullanılması halindeki çevrim analizi incelenerek karşılaştırmalarını yapmıştır. Çeşitli hava fazlalık katsayısı ve motor hızı değerlerinde, basınç ve sıcaklığın çevrim boyunca değişimi ile güç ve özgül yakıt tüketimi bulunmuş, benzin motoru için yapılan bu işlemler, doğalgaz motoru içinde tekrarlanmıştır. Her iki motor için bulunan değerler birbirleriyle karşılaştırılarak doğalgaz motorunun üstünlükleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Weide et al (1988) yaptıkları araştırmada, motorlar için çeşitli gaz yakıt karıştırıcıları geliştirmişlerdir. Geliştirilen karıştırıcılar, esas olarak; bir gaz karıştırıcı, gaz yakıtın basıncını düzenleyen bir regülatör ve basınç ölçücü ünitelerden meydana gelmektedir. Yapılan karıştırıcıların sabit çevre şartlarında, bütün motor hızı ve yükleri için sabit hava/yakıt oranı sağladığı belirtilmiştir. Hava/yakıt oranının sabitliği ve egzoz emisyonlarının kontrolü için  $\lambda$  sensörü, elektronik kontrol ünitesi ve katalist kullanılmıştır. Bu kontrol sisteminin, hava/yakıt oranını, stokiyometrik çalışma noktasının da bulunduğu iki nokta arasında tuttuğu ve bu sınırlar içerisinde egzoz emisyon değerlerinin optimum olduğu belirtilmiştir.

Deluchi et al (1988) yaptıkları çalışmada metanollü taşıtlarla doğalgazlı taşıtları emisyon, performans, emniyet, maliyet gibi kriterler açısından karşılaştırmasını yapmışlardır. İleri metanollü taşıtların hava/yakıt oranı, sıkıştırma oranı ve diğer faktörlere bağlı olarak benzinli taşıtlarla mukayesesinde %10-20 daha fazla güçlü olduğunu belirtmişlerdir. Yakın zaman için doğalgazın da en az metanol kadar iyi bir yakıt olduğunu söylemişler ve bu nedenle doğalgazın uzun zaman uygulanabilir bir yakıt olduğunu belirtmişlerdir.

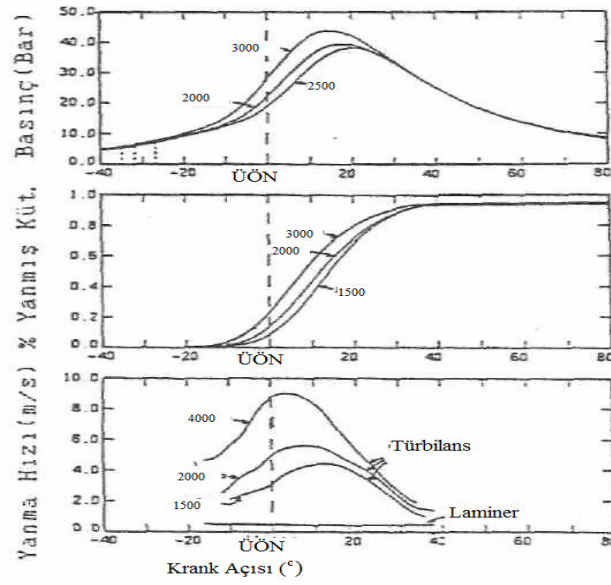
Fleming and Wierzba (1985) tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda doğalgaz kullanımının motor performansına, egzoz emisyonlarına ve termik verime etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sırasında sıkıştırma oranı hava fazlalık katsayısı ve ateşleme zamanı değiştirilerek bunların motor karakteristiklerine olan etkileri ve optimum çalışma noktaları tespit edilmiştir. Doğalgaz kullanımının motorlarda ilk harekete geçişte büyük kolaylık sağladığı, doğalgazın fiyat yönünden benzine göre avantajlı olduğu belirtilmiştir. Doğalgazın yanma hızının benzine göre daha düşük olduğu, yanma hızının artırılması için özel yanma odası geliştirildiği, bu yanma odasının türbülansı artırarak yanmayı hızlandırdığı belirtilmiştir. Araştırmada, doğalgaz ve benzin için, standart sıkıştırma oranı

8,4/1'de en iyi moment 2140 1/min'de elde edilmiştir. Bu devirde ortalama efektif basınç 440 kPa olarak ölçmüşlerdir. Hava fazlalık katsayısı zengin limitten fakir limite değiştirilerek, en iyi moment için minimum ateşleme zamanı, her bir hava fazlalık katsayısı için ayarlanmışlardır. Doğalgaz için minimum ateşleme zamanının, hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, 2° ile 6° arasında büyüdüğü belirtilmiştir. Doğalgaz kullanımında termik veriminin iyileştirilmesi için, yanma hızının artırılmasının ve bunun için de yanma odası geometrisinin değiştirilmesinin gerektiği ifade edilmiştir. İndike termik verimler, doğalgaz ve benzin için karşılaştırılmış, hava fazlalık katsayısının 0,8 ile 1,1 arasında olduğu motor çalışmalarında benzerlik olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz için sıkıştırma oranı 8,4/1'den 18,5/1'e kadar değiştirilmiş ve 15,5/1 iken indike termik verim en yüksek değere ulaştığını belirlemişlerdir.

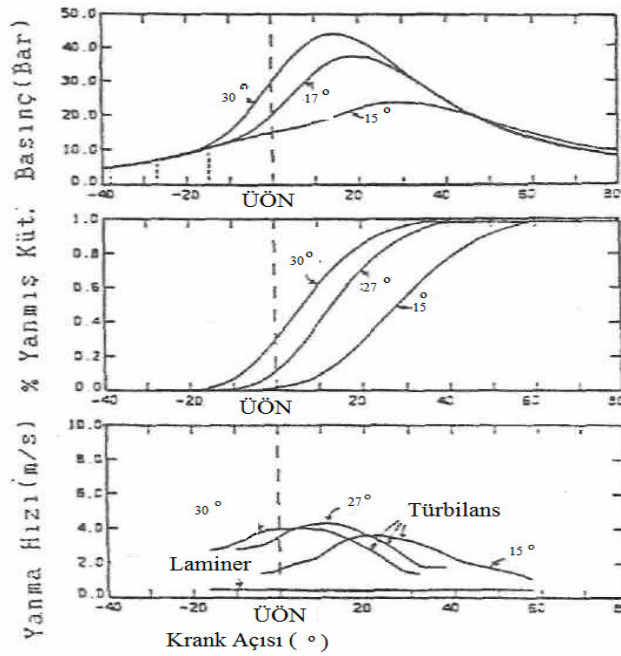
Jones and Evans (1985) 4 silindirli Toyota marka buji ile ateşlemeli motorda benzin ve doğalgazın laminer ve türbülanslı yanma hızlarını karşılaştırmışlardır. Doğalgaz ile çalışmada benzine oranla %15'lik güç kaybı ölçülmüştür. Güç kaybının büyük bir kısmını, (%10) emme şarj hacmini işgal eden gaz yakıt oluşturmuştur. Geriye kalan %5'lik güç kaybı ise doğalgazın düşük yanma hızından meydana gelmektedir. Düşük yanma hızı yanma süresini artırarak, güç ve verim kaybına neden olmaktadır. Şekil 2.7'de 1500, 2000 ve 3000 1/min hızlarında doğalgaz ile çalışmada elde edilen silindir basıncı, % yanmış kütle miktarı ve yanma hızı eğrileri gösterilmektedir, ölçümler en iyi momentin elde edildiği MBT ateşleme zamanını esas alarak yapılmıştır.

Bütün çalışmalarda elde edilen yanan son kütle miktarı % 94'tür. Elde edilemeyen % 100 yanmanın sebebi kompresyon kaybı, tam olmayan yanma ve 4 silindir arasındaki eşit olmayan yakıt dağılımından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Şekil 2.8'de doğalgazın ilerlemiş avans derecelerine karşılık silindir basınç değişimleri, % yanmış kütle miktarları ve yanma hızları karşılaştırılmıştır. MBT ateşleme zamanına en uygun gelen yanmış kütle eğrisi 27°'de elde edilmiştir. Türbülanslı yanma hızı MBT ateşleme zamanında en büyük olduğu görülmüştür. Şekil 2.9'da ateşleme avansının fonksiyonu olarak ateşlemeden sonra krank açısına karşılık gelen yanan kütle miktarı eğrileri gösterilmiştir. Emme şarj kütle miktarının %1'inin yandığı bölge tutuşma gecikmesi bölgesi olarak tanımlanmıştır. Emme şarj kütle miktarının %1'i ile %90'ının yandığı bölge ise kontrollü yanma bölgesi olarak tanımlanmıştır. Kontrollü yanma süresi MBT ateşleme zamanında minimum olduğu tespit edilmiştir. Ateşleme noktası, MBT ateşleme zamanının her iki

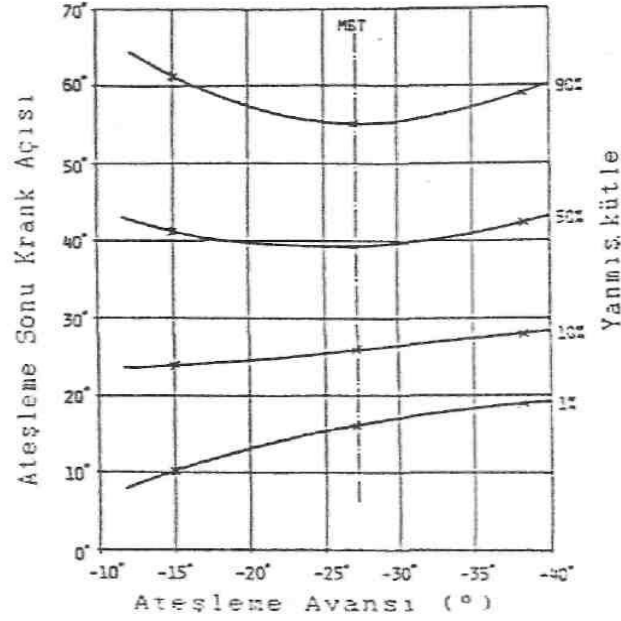
tarafına kaydırıldığında da kontrollü yanma süresi uzamış, bu da motor veriminin azalmasına neden olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.7 1500, 2000 ve 3000 1/min'de doğalgazla çalışmada  $\lambda=1$  iken MBT ateşleme zamanında elde edilen silindir basıncı, % olarak yanmış kütle miktarı ve yanma hızı eğrileri (Jones and Evans, 1985).



Şekil 2.8 1500 1/min'de  $\lambda=1$  ve ateşleme avansı 15°, 27° ve 38° iken doğalgazın yanma hızı, % yanmış kütle miktarı ve yanma hızı eğrilerinin karşılaştırılması (Jones and Evans, 1985).

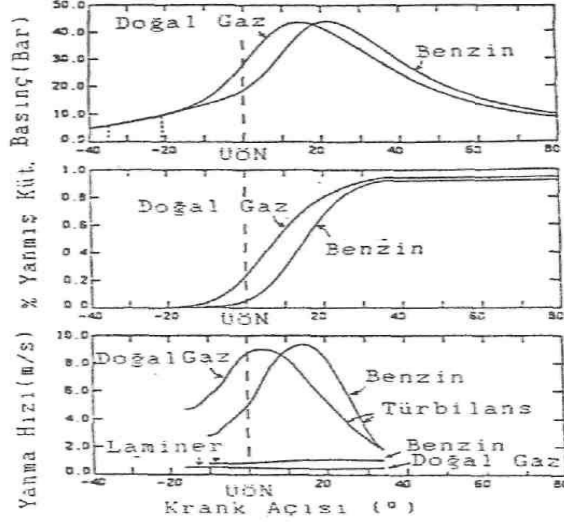


Şekil 2.9 1500 ve 3000 1/min'de  $\lambda = 1$  iken doğalgazın farklı ateşleme avanslarında krank derecelerine karşılık gelen yanmış kütle miktarı eğrileri (Jones and Evans, 1985).

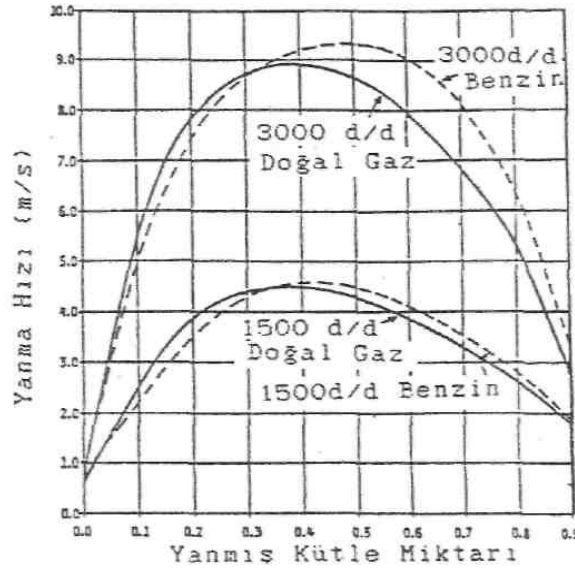
3000 1/min'de doğalgaz ve benzinin silindir basınçları, % yanmış kütle miktarları ve yanma hızlarını ölçmüşler, MBT ateşleme zamanı kontrolü doğalgaz için kullanmışlardır. Benzindeki avans miktarı ise vuruntu ile sınırlandırılmış olup MBT ateşleme zamanına yakındır, iki yakıtın silindir basınç yükseklikleri aynıdır fakat doğalgazın basınç eğrisi ÜÖN'ye daha yakındır ve önemli bir kısmı ÜÖN'den önce meydana gelmektedir. ÜÖN'den önce meydana gelen yüksek basınç çalışma sırasında olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Şekil 2.10'da ise doğalgaz ve benzin için  $\lambda=1$ , 3000 1/min ve MBT ateşleme zamanı için silindir basıncı, % yanmış kütle miktarları, laminar ve türbülanslı yanma hızı eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Şekil 2.11'de ise benzin ve doğalgazın türbülanslı yanma hızı eğrileri 1500 ve 3000 1/min için verilmiştir. Benzin ve doğalgazın türbülanslı yanma hızlarının birbirine oldukça benzerlik göstermektedir. Doğalgazın laminar yanma hızının benzinden %50 ile %60 oranında daha az olduğu belirtilmiştir (Jones and Evans, 1985).





Şekil 2.10 Doğalgaz ve benzin için  $\lambda=1$ , 3000 1/min ve MBT ateşleme zamanı için silindir basıncı, % yanmış kütle miktarları, laminer ve türbülanslı yanma hızı eğrilerinin karşılaştırılması (Jones and Evans, 1985).



Şekil 2.11 Benzin ve doğalgazın 1500 ve 3000 1/min'de yanmış kütle miktarına göre türbülanslı yanma hızlarının karşılaştırılması (Jones and Evans, 1985).

Karim and Wierzba (1983) yaptıkları çalışmada, metan ve propanın buji ile ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanımını karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Bu uygulamada, gaz yakıtların karıştırıcı tarafından homojen olarak uygun oranda hava ile karıştırılması ve silindirler arasında yakıt dağılımı değişiminin çok az olması istenmektedir. Araştırmadan çıkarılan diğer sonuçlar şöyle özetlenebilir: Gaz yakıtlar

benzine göre daha soğuk çalışmaya imkan verirler. Gaz yakıtlar silindire alınırken gaz halinde olduklarından emme havasının kapasitesini azaltırlar. Bu da motorun gücünün düşmesine sebep olur. Bundan başka ateşleme avansı yeniden ayarlanmazsa, doğalgazın düşük yanma hızından dolayı daha düşük yanma sonu silindir basıncı ortaya çıkar. Bu da motor momentinin azalmasına neden olur. Volümetrik verimin ve güç çıkışının artması için, soğutma sisteminin yeniden ayarlanması gerekir. Gaz yakıtlı çalışmada, benzin ile çalışmada kullanılan termostatın açılma sıcaklığından 10 ya da 15°C daha düşük sıcaklıkta açılan termostat kullanılmalıdır. Gaz yakıtlarda ateşleme, kendiliğinden ateşleme ve vuruntu sınırlarını; sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı ve emilen karışımın sıcaklığına bağlı olarak karşılaştırmıştır. Metan ile yapılan bu çalışmada, emilen karışımın sıcaklığı 34°C iken sıkıştırma oranı 16:1 olduğunda, 72°C iken sıkıştırma oranı 14:1 olduğunda, 106°C iken sıkıştırma oranı 13:1 olduğunda, 138°C iken sıkıştırma oranı 12,5:1 olduğunda ve 154°C iken sıkıştırma oranı 10,5:1 olduğunda vuruntu başladığı belirlenmiştir. Emilen karışımın sıcaklığı 106°C iken sıkıştırma oranı 16:1 olduğunda, 138°C iken sıkıştırma oranı 15:1 olduğunda ve 154°C iken sıkıştırma oranı 14,5:1 olduğunda, karışımın kendiliğinden ateşlendiği görülmüştür. Emilen karışımın sıcaklığı 138°C olduğu zaman sıkıştırma oranı 16:1'e yükseldiğinde, 154°C olduğunda ise sıkıştırma oranı 15,5:1'e yükseldiğinde, karışım kendiliğinden ateşlendikten sonra vuruntu başladığı belirlenmiştir. Hava fazlalık katsayısı 0,6 ile 1,3 sınırının dışına çıktığında, bujiden kıvılcım çaktığı halde yanmadığı belirtilmiştir.

## BÖLÜM 3

### CNG'NİN MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI

#### 3.1 DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE CNG KULLANIMI

Dünyada ve Türkiye'de CNG kullanımının gelişimi, genel durumu ve kullanım oranları aşağıda belirtilmiştir.

##### 3.1.1 Dünyada Doğalgaz Rezervleri ve Tüketimi

Doğalgazın dünyada yaygın kullanımı özellikle 1973 yılındaki petrol krizinden sonra gerçekleştirilmiştir. Doğalgaz yerli kaynaklara yönelim ve enerjiyi daha verimli kullanım yönündeki çalışmalar sırasında, petrolün yerini alabilecek en önemli enerji kaynağı olarak görülmüştür. Bu nedenle birçok ülkede hükümetler doğalgazın kullanımını teşvik etmiş ve yoğun bir şekilde doğalgaz yatırımlarına yönelmişlerdir.

Doğalgaz ABD'de 50 milyon, İngiltere'de 17 milyon, İtalya'da 12 milyon, Almanya'da ise yaklaşık 10 milyon abone tarafından, konutlarda pişirme, sıcak su eldesi ve ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır (Karabektaş, 1996).

Doğalgaz enerji tüketimi içinde %23'lük bir payla petrol ve kömürden sonra üçüncü sırayı almaktadır (Çizelge 3.1). Ancak doğalgazın yaygın olarak kullanılması henüz yenidir. Yayılma hızı özellikle endüstrileşmiş ülkelerde çok yüksektir (Berkem, 1984).

Doğalgaz dünya rezervleri 1994 yılı verilerine göre 147 trilyon m<sup>3</sup>'tür. Dünya doğalgaz tüketimi ise yıllık 2 trilyon m<sup>3</sup>'tür. Bu değerlere göre bugünkü tüketim oranı ile doğalgazın 70 yıl yetebileceği tahmin edilmektedir.

Petrolün dünyada en çok tüketilen enerji kaynağı olmasına karşılık, yaklaşık 40 yıllık bir rezerv ömrünün kalmış olması önümüzdeki yıllar içerisinde doğalgaza yönelimin daha da artacağını göstermektedir (Karabektaş, 1996).

Çizelge 3.1 Endüstrileşmiş ülkelerde birincil enerji kaynakları tüketimi (1994), (milyon ton petrol eşdeğeri) (Berkem, 1984).

	<b>Katı Yakıt</b>	<b>Petrol</b>	<b>Doğalgaz</b>	<b>Elektrik</b>	<b>Toplam</b>
Dünya	2.150	3.100	1.800	1.050	8.100
ABD	490	790	510	210	2.000
BDT	240	270	520	90	1.120
Japonya	80	250	50	80	460
AB	240	600	260	280	1.380
Almanya	100	140	60	45	345
İngiltere	50	85	60	20	215
Fransa	15	90	30	95	230
İtalya	12,7	92,9	41	18,7	165,3
İspanya	20	50	6	20	96

Bilinen doğalgaz rezervlerinin %38,6'sı BDT'de, %30,6'sı Ortadoğu ülkelerinde %10,4'ü ABD ve Kanada'da, %9,3'ü Uzakdoğu ülkelerinde, %6,8'i Afrika'da, %4,2'si batı Avrupa'da bulunmaktadır (Çizelge 3.2).

Dünyada en büyük doğalgaz üreticisi %36'lık payla BDT'dir. Kalan üretimin %27'si ABD %5'i Kanada, %4'ü Hollanda, %2'si İngiltere, Cezayir, Meksika ve Endonezya tarafından yapılmaktadır.

Dünyada en fazla doğalgaz tüketimi %31,7 ile A.B.D. ve Kanada'ya aittir. Bu ülkeleri %31,3 ile B.D.T. ve Doğu Avrupa, %14,7 ile Batı Avrupa, %9,5 ile Uzak Doğu %6,1 ile Ortadoğu ve %2,2 ile Afrika izlemektedir.

Görüldüğü gibi dünya doğalgaz rezervlerinin %30'una sahip Ortadoğu ülkelerinin dünya üretimindeki payları henüz çok düşüktür. Öte yandan Batı Avrupa'da yoğun olarak gaz kullanılan ülkelerin çoğu doğalgazı ithal etmektedirler.

Çizelge 3.2 Dünya doğalgaz rezervleri ve tüketimi (milyar m<sup>3</sup>) (Acaroğlu, 2003).

	<b>Rezervler</b>	<b>Tüketim</b>
<b>BATI AVRUPA</b>	6.300	320
İtalya	350	50
Fransa	30	34
Almanya	220	74
Hollanda	1.850	41
İngiltere	650	72
Norveç	2.700	2
<b>DOĞU AVRUPA</b>	56.800	680
BDT	56000	614
<b>AFRİKA</b>	10.000	40
<b>ORTADOĞU</b>	45.000	132
<b>AMERİKA</b>	15.300	785
ABD	4.200	608
Kanada	3.000	80
<b>UZAKDOĞU</b>	13.600	206
Japonya	30	58
Endonezya	3.500	25
Avustralya	2.400	25
Çin	1.700	20
<b>Toplam</b>	<b>147.000</b>	<b>2.170</b>

Petrol, dünyanın enerji gereksinimini karşılayan en önemli kaynak olmasını sürdürmesine rağmen, enerji kaynakları payı düşmektedir. 1980 yılında toplam enerji tüketiminin, %46'sı petrole dayalıyken, 1993'de bu oran %39'a düşmüştür. Doğalgaz tüketimi, 1980'lerde %19 oranındayken, 1993 yılında %22'ye yükselmiştir (Karabektaş, 1996).

Çizelge 3.3 Dünyada doğalgazla çalışan taşıtlar (Bora, 2002).

Ülke	Taşıt Sayısı	Dolum İstasyonu
Arjantin	721.830	969
İtalya	380.000	369
Pakistan	280.000	333
Brezilya	232.973	284
USA	102.430	1.250
Hindistan	84.150	116
Venezüella	40.962	170
Mısır	39.895	62
Çin	36.000	70
Ukrayna	35.000	87
Rusya	31.000	208
Kanada	20.505	222
Japonya	12.539	181
Yeni Zelanda	12.000	100
Almanya	10.000	146
Kolombiya	9.126	32
Fransa	4.550	105
İsveç	1.550	25
<b>Toplam</b>	<b>2.097.578</b>	<b>5.183</b>

Çizelge 3.3’de dünyadaki doğalgazlı taşıt ve dolun istasyonu sayıları görölmektedir.

Birçok batı ülkesinde doğalgazın taşıtlarda kullanımı ile ilgili çalışmalar ve araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Bunlara bir örnek vermek istersek dünyada en fazla kara nakil taşıtı kullanılan ABD’yi incelemek gerekmektedir. Dünyada mevcut 520 milyon otomobil ve kamyonun 190 milyonu bu ülkededir. ABD’deki hava kirliliğinin ortalama %50 sinin bu taşıtların egzozlarından ötürü ortaya çıktığı belirlenmiştir.

ABD’de 1990 yılındaki Temiz Hava Yasası ve 1992 yılında kabul edilen Enerji Kanunu ile de alternatif yakıtlar için çalışmalar başlatılmıştır. Bu iki kanun ile başlatılan çalışmalar

bugün 30 eyalette devam etmektedir ve bu yüzyılın sonuna kadar 5 milyon aracın doğalgazla çalışması planlanmaktadır. Bugün ABD'de son bir yılda konuda sadece standartları yaratmak için yapılan harcamaların tutarı 5 milyon doları geçmiştir. Ülkemizde de Ankara ve İstanbul'da taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinin egzoz gazlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için birtakım projeler geliştirilmekte ve doğalgaza dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanılmasına başlanmıştır (Acaroğlu, 2003).

### **3.1.2 Türkiye’de Doğalgaz Kullanımı**

Ülkemizde doğalgaz kullanımı 1976 yılına kadar uzanabilmekle beraber ısıl gelişimi 1987 yılında BDT’nden yapılan doğalgaz ithalatı ile başlamıştır. 1987 yılında yapılan doğalgaz ithalatı 432 milyon m<sup>3</sup> iken bugün bu rakamlar 5,5–6 milyar m<sup>3</sup> seviyesine ulaşmış bulunmaktadır.

Toplam doğalgaz tüketiminin %45’i elektrik, %40’ı sanayi ve %12’si ise konut sektöründe kullanılmıştır. Buna göre doğalgazın Türkiye’de birincil enerji tüketimindeki payı %7,6’ya ulaşmıştır. Bugünkü toplam tüketimimiz bile, Avrupa Ülkelerinin 1970 yılı tüketim değerleri seviyesinin çok altındadır. Bu durum, ülkemizin doğalgaz kullanımında gelişmiş ülkelere oranla ne kadar geri kaldığını göstermektedir (Karabektaş, 1996).

Gerek mevcut hat ve halen yapılmakta olan Karedeniz ile Bursa – Çan hattı, gerekse yapımı planlanan Güney ve Ege iletim hattı taleplerinin yanı sıra, gelecekte Türkiye’nin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak üzere yapımı planlanan elektrik santrallerinin talepleri de dikkate alındığında (Çizelge 3.4) 2010 yılında Türkiye’de doğalgaz talebinin 30 milyar m<sup>3</sup>’e ulaşması beklenmektedir (Altaş, 2003).

Ancak mevcut anlaşmalara göre; şu anda 6 milyar m<sup>3</sup> BDT’den ve 2 milyar m<sup>3</sup> Cezayir’de olmak üzere 8 milyar m<sup>3</sup> arz kaynağı vardır. Bu yalnızca ana hat talebini bile karşılamakta güçlük çekebileceği anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.4 Türkiye’de sektörel doğalgaz talebi ve oranları (Altaş, 2003).

Yıllar	Konut		Sanayi		Santral		Toplam	
	Milyon m <sup>3</sup>	%	Milyon m <sup>3</sup>	%	Milyon m <sup>3</sup>	%	Milyon m <sup>3</sup>	%
1992	372	8,1	1.637	35,5	2.603	56,4	4.612	100
1995	1.009	11,9	3.416	40,2	4.076	47,9	8.501	100
2000	2.692	13,5	9.623	48,1	7.673	38,4	19.988	100
2005	3.423	13,2	12.161	47,0	10.295	39,8	25.879	100
2010	3.781	12,4	12.636	41,3	14.177	46,3	30.594	100

Doğalgaz arz miktarının artırılabilmesi için, kısa vadede mevcut arz kaynaklarımızdan (BDT, Cezayir) alım miktarını artırmaya yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. BDT ile mevcut alıma ek olarak yıllık 4,5 milyar m<sup>3</sup> ek alım ve Cezayir ile de 2 milyar m<sup>3</sup> ek alım konusunda anlaşma yapılmıştır. Orta vadede doğalgaz arz kaynağını artırma ve alternatif ülke sayısını artırmak amacıyla Katar, Nijerya, Umman gibi ülkelerden doğalgaz ithali tasarlanmaktadır.

Doğalgaz kaynaklarını artırma çalışmaları da uzun vadede Türkmenistan ve Orta Asya ülkelerinden boru hattı ile Türkiye’ye ve Türkiye üzerinden Avrupa’ya doğalgaz arzını sağlama düşüncesi vardır. Bu projelerin gerçekleşmesi durumunda Türkiye enerji kaynaklarını, Orta Asya ülkelerinden Avrupa’ya aktarılan bir köprü olabilecektir.

Ülkemiz doğalgaz kaynakları yönünden zengin değildir. Hamitabat, Kumrular, Dodan, Çamurlu, Umurca sahalarında bulunan doğalgazın toplam üretilebilir rezervi, 14 milyar m<sup>3</sup> civarındadır. (Çizelge 3.5) 1976 yılında 15 milyon m<sup>3</sup> olan doğalgaz üretiminde 1984 yılına kadar belirgin bir artış olmamıştır. Büyük şehirlerimizde yaşanan hava kirliliği ile mücadelede en etkin yollardan biri olan doğalgaz kullanımı, Ankara, İstanbul ve Bursa’da hızla yaygınlaşmaktadır. Ana hat güzergahında bulunan İzmit’te dağıtım çalışmaları başlamış, Eskişehir il merkezi içinde konuya ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir.



Çizelge 3.5 Türkiye doğalgaz rezervleri (milyar m<sup>3</sup>) (Sözbir, 1991).

Saha Adı	İspatlanmış Rezerv	Üretilebilir Rezerv	Yapılan Üretim	Kalan Üretim Rezervi
Hamitabat	27.749	12.742	952	11.790
Kumrular	82	65	18	47
Umurca	566	453	2	451
Çamurlu	963	844	72	772
Toplam	29.360	14.104	1.044	13.060

Şehirdeki hava kirliliğine sebep olan kaynaklardan motorlu taşıtlar içinde çalışmalar devam etmektedir. 1990 yılında BOTAŞ ve Ankara Büyükşehir Belediyesi desteğiyle ODTÜ’de mevcut belediye otobüsleri de doğalgaz kullanımı için çift yakıt sistemi geliştirilmiştir. Benzer bir çalışma da İstanbul’da belediye otobüslerinin doğalgaza dönüşümü için başlatılmış, ilk etapta 100 otobüsün dönüşümü yapılmıştır (Sözbir, 1991).

Türkiye’de AB ülkelerine göre değil CNG kullanan ülkelere göre bir karşılaştırma yapılarak CNG kullanan taşıt parkını değerlendirebiliriz. Bugünkü miktar toplam 2500 adet kadardır. İstasyon artışlarına bağlı olarak CNG kullanan taşıt miktarı artmaktadır. Türkiye, taşıtlara LPG otogaz kiti montajında yüzde 25 oranını yakalamıştır. CNG kiti montajında da büyük bir başarı elde edecektir. Ham petrol rezervlerinin 2015 yılından itibaren azalma yoluna girmesi ve doğalgaz rezervlerinin ise 150 yıllık geleceği olması CNG kullanan taşıtların sayısını artıracaktır (Acaroğlu, 2003).

### 3.1.3 Gelecekte Dünyada Enerji İhtiyacı

Önümüzdeki 20 yıllık dönemde, dünyada yıllık ortalama %3 oranında bir ekonomik büyüme sağlanacağı ve dünya nüfusunun %1,5 artacağı tahmin edilmektedir. Bu varsayımlar ışığında, enerji talebinin 2010 yılına kadar %2 oranında bir hızla artacağı beklenmektedir.

Kaynak bazında en hızlı üretim artışı yenilenebilir enerji kaynaklarından beklenmektedir. Jeotermal, güneş ve rüzgar gibi kaynaklardan sağlanan enerjide %7,5, hidrolik enerji üretiminde %2,9 artış beklenmektedir. Fosil yakıtlar içinde ise talebi en hızlı artan kaynak

ise yıllık %2,5 artışla doğalgaz olacaktır. (Çizelge 3.6) Dünya elektrik enerjisi talebinin, %2,8 oranında bir hızla gelişeceği, elektrik üretiminde ise; doğalgaz payının hızla yükseleceği tahmin edilmektedir. 1990 yılında %13 olan değer, 2000 yılında %16, 2010 yılında %22'ye yükseleceği beklenmektedir (Karabektaş, 1996).

Çizelge 3.6 Dünya enerji talebinde gelişmeler (milyon TEP) (Yeşil, 1982).

Yıllar	OECD			DÜNYA		
	1990	2000	2010	1990	2000	2010
Kömür	1.036	1.142	1.263	2.286	2.647	3.283
Petrol	1.723	1.936	2.037	3.061	3.558	4.248
Doğalgaz	785	991	1.277	1.678	1.974	2.785
Nükleer	425	496	515	524	608	690
Hidrolik	98	128	134	184	252	329
Diğer	21	53	88	34	91	143
<b>Toplam</b>	<b>4.089</b>	<b>4.738</b>	<b>5.314</b>	<b>7.768</b>	<b>9.129</b>	<b>11.478</b>

### 3.2 DOĞALGAZ YAKIT SİSTEMLERİ

Doğalgazı taşıtlarda yakıt olarak depolamak ve kullanmak için iki yöntem bulunmaktadır.

#### 3.2.1 Sıkıştırılmış Doğalgaz (CNG – Compressed Natural Gas)

İnsanoğlu tarafından binlerce yıldan buyana bilinmesine rağmen doğalgazın yaygın olarak kullanımı 1960 yıllarından sonradır. Doğalgazın çeşitli yollarla yeryüzüne çıkarak, yıldırımların etkisi ile tutuşması, çağlar boyu insanların özel ilgisini çekmiştir. Belgelerden, Eski Mısır'da ve Kuzey Amerika'da bu tip yanan ebedi kaynaklardan bahsedilmektedir (Hatipoğlu, 1996).

Ham petrolle birlikte veya ayrı olarak yer altında gözenekli ortamlarda bulunan hidrokarbon ve hidrokarbon olamayan gazların doğal olarak oluşmuş karışımı doğalgaz olarak tanımlanır. Doğalgazın esas maddesi metandır (URL 6 2007).

Doğalgaz kokusuz, renksiz ve havadan daha hafif bir gazdır. Metan, etan, propan, azot ve az miktarda karbondioksit gazlarının bileşiminden oluşmuştur. Yeryüzündeki değişik doğalgaz yataklarından elde edilen doğalgaz içindeki bileşiklerin oranları birbirlerine göre çok farklı olabilmektedir. Temiz bir yakıttır. Kolay yanar, tam yandığından mavi bir alev çıkarır.

Kokusuz olması nedeniyle sızıntısı fark edilemeyeceğinden olarak kokulandırılmaktadır. Havadan hafif olması ise havagazı ve LPG gazlarına göre sızıntı hallerinde birikme tehlikesi açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır (URL 6 2007).

Doğalgazın enerji yoğunluğu düşüktür. Enerji yoğunluğunun yükseltilmesi amacıyla doğalgaz sıkıştırılır veya sıvılaştırılır. Doğalgaz taşıtlarda 200 bar'da kullanılmaktadır. Bu nedenle sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) olarak anılmaktadır.

Doğalgazın ısıl değeri 47MJ/kg, 1 kg doğalgaz 1,33 litre benzine veya 1,22 litre motorine eşittir. Diğer bir karşılaştırmaya göre 1 m<sup>3</sup> doğalgaz 1,1 litre benzine, 1,0 litre motorine eşit olmaktadır (URL 2 2007).

Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) taşıtlarda yüksek basınç sıkıştırılmış gaz tüplerinde depolanır. Depolama basıncı, 200–250 bar kadardır ve 250 barda atmosfer basınç ve sıcaklığındaki doğalgaza oranla yaklaşık 1/200 hacim kaplar (Çetinkaya, 2003).

### **3.2.2 Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG – Liquefied Natural Gas)**

Doğalgaz atmosferik basınçta yaklaşık olarak -125°C sıcaklığına kadar soğutulduğunda sıvı hale geçer ve sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) olarak adlandırılır. LNG su yoğunluğunun yarısından daha düşük bir yoğunluğa sahiptir. LNG doğal haliyle kokusuz, renksiz, korozif olmayan ve zehirleyici bir özelliği bulunmayan bir sıvıdır. Buharlaştırıldıktan sonra kolayca fark edilmesi için içerisine kokulandırıcılar eklenerek kullanıma sunulur. Hava ile karıştırıldığında yanma limitleri hacimce %5 ile %15 arasındadır.

LNG, atmosfer basınç ve sıcaklığındaki doğalgaza oranla 1/600 hacim kapladığından, sıvı olarak taşıtların döşeme altında, düşük basınç fakat kaynayan soğuk sıvı (boiling cryogen)

olarak atmosfer basıncında -160°C sıcaklıkta çift duvarlı, vakum yalıtımlı tüplerde depolanır (URL 4 2007).

Daha yüksek depolama yoğunluğuna ek olarak, motor yakıtı olarak CNG ile aynı avantajlara sahiptir.

### **3.3 CNG'nin FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Doğalgaz renksiz kokusuz bir gazdır, yanarken duman çıkarmaz. Normal şartlar altında gaz halinde olan doğalgazın kaynama sıcaklığının -162 °C olması nedeni ile daha düşük sıcaklıklarda sıkıştırılması basınç altında mümkündür (Alibaş ve Çolak, 1992).

Doğalgaz kullanıma sunulmadan önce ağır hidrokarbonları elenir, hidrojen sülfür, karbondioksit, azot, helyum ve su buharı gibi bileşenleri giderilir. Elde edilen gaz hemen hemen saf metan gazıdır.

Yoğunluğu havaya göre daha düşük olduğundan ağırlığı havanın yaklaşık yarısı kadardır. Bu nedenle sızan gaz atmosferde hızla yükselerek, hızlı bir şekilde seyrelir.

Doğalgaz çeşitli gazların bir karışımıdır, en önemli oranı da, gazın geldiği bölgeye bağlı olarak, toplam hacimse %80'den %98'e varan karışımlarla, metan gazı teşkil eder. Diğer bölümü ise yüzde yarısı ile etan, propan, butan, azot, pentan, karbondioksit den oluşmaktadır.

Metan yüksek bir yanma sıcaklığına sahip olup, 650 °C'de yanar ve böylece sızmış ve sıcak bileşiklerdeki gaz sistemleri ile birleşerek kendi kendine yanabilme avantajına sahiptir.

Doğalgazın oktan sayısı çok yüksektir. Bu da, enerji tüketimine pozitif bir etki yaratan, nispeten yüksek bir sıkıştırma oranına (12/1) müsaade eder. Oktan sayısının yüksek olması nedeniyle, vuruntunun önlenmesi ve termik verimin artması sağlanır. Doğalgaz, difüzyon katsayısının yüksek olması sebebiyle, hava ile daha kolay ve hızlı karışım oluşturur. Sıvı yakıtların aksine doğalgazın yanmadan önce buharlaşması gerekmediğinden motorun soğuk ilk hareketinde zengin karışıma gerek kalmadan kolayca tutuşur. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı

karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşabilmektedir.

Doğalgazın ısı değeri benzine oranla daha yüksektir ve daha yüksek hava fazlalık katsayısında tutuşabilir. Bu nedenle motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazı emisyonları açısından avantaj sağlaması mümkündür. Doğalgazın alev hızının benzin / hava karışımına göre düşük olması nedeniyle yanma süresi uzundur. Bu zaman kaybı güç ve verimde düşüşe neden olmaktadır (Hatipoğlu, 1996). Doğalgazın özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Doğalgaz özellikleri (Acaroğlu, 2003).

Özellikler	Doğalgaz
Kimyasal Denklemi	CH <sub>4</sub>
C/H Oranı	0,25
Molekül Ağırlığı	16,04
Özgül Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	0,424
Sıvı Gaz	0,78.10 <sup>-3</sup>
Isıl Değeri (MJ/kg)	50,8
(MJ/l)	20,8
Stokiyometrik Karışım hava/yakıt (kütlese)	17,2
hava/yakıt (hacimsel) kJ/l	9,53
mol <sub>ürün</sub> /mol <sub>reactantlar</sub>	3,4
Buharlaştırma ısı (MJ/kg)	0,509
Tutuşma sınırları % hacim (hava fazlalık katsayısı, λ)	5–15,4 0,59–2,0
Laminar alev hızı (m/s)	0,37
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1954
Difüzyon katsayısı (m <sup>2</sup> /s)	0,16
Kaynama Noktası (°C)	-161,3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	632
Araştırma oktan sayısı (ROS)	130
Motor oktan sayısı (MOS)	105

İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir. Çok temiz ve özellikleri sabit olan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Doğalgazın depolanması, buharlaştırılması ve karbürasyonu farklı bir şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncını düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır (Acaroğlu, 2003).

Genellikle doğalgaz içerisinde nem bulunmamaktadır. Bunun sonucunda doğalgazın korozyon etkisi yoktur. Ancak bazı bölgelerde çıkarılan doğalgazlarda bir miktar neme rastlanmakta ve bu da motor için korozyon tehlikesi oluşturmaktadır (Ergeneman ve Soruşbay, 1990; Oconnor, 1993).

### 3.3.1 Kimyasal Bileşim

Temel olarak metan (CH<sub>4</sub>) (%90 ve üzeri) ve daha düşük oranlarda etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) ve daha ağır hidrokarbonları içeren doğalgaz küçük oranlarda azot (N<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), kükürtlü bileşikler ve su gibi kirleticiler içerebilir. Sıvılaştırma sırasında kirleticiler uzaklaştırıldığından LNG doğalgaz ile kıyaslandığında daha temizdir (URL 3 2007).

### 3.3.2 CNG'nin Tam ve Teorik Yanma Denklemleri

Denemelerde kullanılan doğalgazın fiili değerleriyle teorik tam yanma denklemi;  
(0,9886 CH<sub>4</sub> + 0,00211 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> + 0,00043 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + 0,00017 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> + 0,00033 C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> + 0,00035 CO<sub>2</sub> + 0,00829 N<sub>2</sub>) + (1,991 O<sub>2</sub> + 7,477 N<sub>2</sub>) → 0,997 CO<sub>2</sub> + 1,988 H<sub>2</sub>O + 7,485 N<sub>2</sub>  
olarak kurulmuştur.

Hacimsel olarak tam yanma için gerekli teorik hava miktarı;

$$1,991 O_2 + 7,477 N_2 = 9,468 \text{ mol}$$

Hava yakıt oranı; A/F = 9,468/1 mol hava/mol doğalgaz

Yakıtın moleküler kütlesi;

$$m_y = (0,9886m_{CH_4} + 0,00211m_{C_2H_6} + 0,00043m_{C_3H_8} + 0,00017m_{C_4H_{10}} + 0,00033m_{C_5H_{12}} + 0,00035m_{CO_2} + 0,00829m_{N_2}) = 16,181 \text{ kg d.gaz/mol doğalgaz}$$

Reaksiyona giren havanın kütlesi;

$$m_h = 9,468 \cdot m_{hava}$$

$$m_h = 9,468 \cdot 28,851 = 273,161 \text{ kg hava/kmol doğalgaz}$$

Hava/Doğalgaz kütleli oranı;

$$A/F = 273,161/16,181 = 16,88/1 \text{ olur (Altın, 1991).}$$

### 3.4 CNG'nin DİĞER YAKITLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Benzin ile CNG arasında bazı asal farklılıklar vardır. CNG motoru gaz olarak besleyen bir metan, etan ve az miktarda propan karışımıdır. Böylece optimal karışım hazırlanışı basitleşmekte bunun yanında emilen hava ile karışımı kolaylaşmaktadır. Normal sıvı yakıtların aksine CNG emme zamanı esnasında gaz halinde olduğu için daha büyükçe hacme yayılır. Ayrıca gizli buharlaşma ısı motordaki termodinamik işlemi etkilemez. Bunun sebebi soğutma suyunun gaz karıştırıcıya girmeden önce buharlaştırıcıyı ısıtmasıdır.

CNG diğer yakıtlara göre motor içinde daha temiz bir yanma oluşturmaktadır. Bu nedenle motor yanma odasını ve motor karterini kirletmemektedir. Ateşleme bujilerinin ömrünü uzatmaktadır. CNG depo içinde basınçlı olduğundan ayrıca bir yakıt pompasına ihtiyaç duyulmamaktadır. CNG akaryakıt ürünlerindeki gibi bazı katkı malzemelerine de ihtiyaç duymamaktadır. Oktan seviyesi benzinden daha yüksektir ve benzinden daha düzenli bir yanma yapar. CNG yakıtını yakmak için kullanılan karbüratör benzinli motorlardaki gibi bir karbüratör temizleme ve bakım servisine ihtiyaç duymaz. Enjeksiyonlu motorlarda da CNG kullanılması mümkündür.

CNG motorlarda aşınmayı azaltır, motor yağının (eksildiğinde tamamlanmak kaydıyla) değişme ömrünü 2-3 kat uzatmaktadır. Buna bağlı olarak bakım ve servis süreleri azaldığından filo işletmeleri için zamandan tasarruf önemli mertebelere çıkmaktadır. Taşıt tesisatları tamamen kapalı bir sistem olduğundan akaryakıttaki gibi akıntı ve sızıntı

ihtimali olmayıp, akıtma ve buharlaşma kaybı olmadığından ekonomik kayıp ve çevresel kirlenmeye de sebep olmaz. Egzoz emisyonları benzine ve dizele göre çok düşüktür. Diğer yakıtlar ile (soğuk ve sıcak motor için ayrı ayrı) karşılaştırma için yapılan araştırma sonucunda elde edilen emisyon değerleri; direkt zehirleyici etkileri ve küresel ısınmaya etkileri olarak Çizelge 3.8’de sunulmuştur. Bu çalışmada buji ateşlemeli enjeksiyonlu, normal emişli turbo, dizel ve turbo dizel motorlara sahip Honda, Opel, WW, Lancia, Volvo, Mercedes, Nissan, Peugeot ve Ford gibi değişik markalı taşıtlar kullanılmıştır (Boran vd, 1998).

Çizelge 3.8 Egzoz gazı emisyon değerleri (Boran vd, 1998).

Yakıt Türü	CO (g/km)		HC (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		Partikül (g/km)		CO <sub>2</sub> – ( g/km)	
	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak
<b>Benzin</b>	1.97	0.45	0.27	0.10	0.18	0.13	0.011	0.004	224	218
<b>LPG</b>	1.01	0.53	0.15	0.09	0.15	0.10	0.006	0.006	211	192
<b>CNG</b>	0.36	0.34	0.37	0.17	0.17	0.14	0.011	0.003	203	189
<b>Dizel</b>	0.68	0.49	0.12	0.09	0.78	0.74	0.085	0.074	241	222

CNG’de, benzinde bulunan her türlü katkı maddesi bulundurmadığı için bunlardan kaynaklanan çevre kirliliğine sebep olmaz. Ancak yanma işlemi sonucunda ortaya çıkan yanmamış HC, CO ve NO<sub>x</sub> vb. atık gazlar benzinde olduğu gibi CNG’de de söz konusudur. HC ve CO benzine oranla 10 kat daha azaltılabilmekle birlikte tam yanma sayesinde bilinçsiz kullanımla egzozdan atılan bu zararlı gaz atıklarının benzine oranla çok daha yüksek seviyelere ulaşması kaçınılmazdır. Benzini; kurşunsuz yakıt olan dizel ve CNG emisyonlarını karşılaştırırsak, tüm bu yakıtların karbon ve azotmonoksitlerle birlikte yanmamış hidrokarbonlar ürettiğini ancak kurşunun yalnızca benzin tarafından açığa çıkarıldığını görürüz. Bundan başka CNG kükürtdioksit ve aromatikleri üretmez (Lovato, 2003).

Çizelge 3.9’da ABD’de kullanılan alternatif yakıt sistemine sahip taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır (Emen, 2000).



Çizelge 3.9 Alternatif yakıt kullanan taşıtların performanslarının karşılaştırılması (Emen, 2000).

	<b>Benzin</b>	<b>Dizel</b>	<b>CNG</b>	<b>LPG</b>	<b>Hidrojen</b>
<b>Hızlanma 0-100 km/h (s)</b>	12	14	12	11	18
<b>Yakıt Tüketimi (dm<sup>3</sup>/100km)</b>	6.9	6.0	29.4	7.6	21.4
<b>57 l tank ile menzil (km)</b>	820	935	205	755	275
<b>Yakıt doldurma süresi (s)</b>	120	120	300	300	1800

Çizelge 3.9’da verilen değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin ve dizele alternatif olarak içten yanmalı motorlarda kullanılabilir yakıtlar arasında CNG iyi durumdadır. Çizelgede performans değerleri verilen değişik alternatif yakıtlar kullanan taşıtların menzili kriter alınarak karşılaştırıldığında, bütün taşıtların 57 litre hacimde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve bir depo yakıt ile taşıtın ne kadar menzile sahip oldukları belirtilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi günümüzde içten yanmalı motorlarda kullanılan benzine alternatif olarak 0-100 km/h’e 12 s ile motor performansında en iyi yakıtın CNG olduğu görülmektedir. (Emen, 2000).

### **3.5 CNG’nin AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI**

Son yıllarda taşıtlarda kullanılmaya başlanan CNG sistemlerinin avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

#### **3.5.1 CNG’nin Avantajları**

Doğalgazı cazip bir alternatif yakıt haline getiren faktörlerden bazıları şöyle özetlenebilir:

##### **3.5.1.1 Ekonomi**

- Pahalı değildir (Benzin, motorin ve LPG’den ucuz Eylül 2007 ayı KDV’li birim fiyatları: kurşunsuz benzin 2,87 YTL/litre, süper benzin 2,83 YTL/litre, motorin 2,33 YTL/litre, LPG 1,56 YTL/litre iken, sıkıştırılmış doğalgaz CNG’nin birim fiyatı 0,98 YTL/m<sup>3</sup>).

- Boru hatlarıyla daha kolay taşınabilir. Gerekli olan yerde küçük bir doğalgaz kompresörü eklenerek dolun yapılabilir.
- Kullanımdan önce çok az rafinasyon gerektirmektedir.
- Yakıt dolun işlemi kolay ve temizdir.
- Doğalgazlı taşıtlar, benzinin yakıt ekonomisini karşılar veya geçer. Yeni doğalgaz motorları, halen kullanılmakta olan yüksek-kompresyonlu dizel motorları kadar verimlidir.
- CNG kullanımı daha düşük bakım maliyeti demektir, zira;
  1. Bujiler daha geç değiştirilmektedir.
  2. Daha seyrek yağ ve yağ filtresi değişimi (yaklaşık iki katı).
  3. Silindir yüzeylerinde çamurlaşan artıklar oluşmaz
  4. Egzoz boru ve susturucuları daha uzun ömürlü olmaktadır.

### 3.5.1.2 Güvenlik

Doğalgaz doğal olarak güvenli bir motor yakıtıdır. Doğalgazlı taşıtlarda yakıt kökenli kaza ve yangın olasılığı, geleneksel taşıtlara oranla çok daha düşüktür. Doğalgazı böyle güvenli bir yakıt yapan iki özelliği vardır:

1. Yakıtın kendi özellikleri (Havadan hafif olması nedeniyle çabucak yayılarak dağılır. Benzinden farklı olarak, açık havada patlama yapmaz). Benzin veya dizel yakıtından farklı olarak, doğalgaz havada sadece sınırlı bir konsantrasyon aralığında yanabilir (Çizelge 3.10). Hava ile %5'in altında veya %15'in üzerindeki konsantrasyonlarda yanmaz. Benzin ve dizel yakıtı ise çok daha düşük konsantrasyonlarda ve düşük sıcaklıklarda yanabilmektedir. Doğalgaz, benzin, veya dizel yakıtının hava ile karışımlarını tutuşturmak için çok az bir enerji gerekli olduğu halde, doğalgaz biraz daha düşük sıcaklıkta yanmaktadır.
2. Yakıt sistemine çok sıkı standartlar uygulanmaktadır. Taşıtlar için doğalgaz yakıt tüpleri benzin depolarından çok daha kuvvetli yapılmaktadır. Böylece büyük kazalarda bile sağlam kalabilir, senelerce kullanılabilirler.

Çizelge 3.10 Doğalgaz, benzin ve dizel yakıtının özellikleri (URL 5 2007).

Özellik	Doğalgaz	Benzin	Dizel yakıtı
Yanabilirlik sınırları (havada hacimsel %)	5-15	1,4-7,6	0,6-5,5
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	450	300	230
Havada en az ateşleme enerjisi (10 <sup>-6</sup> kJ)	0,26	0,22	0,22
Maksimum alev sıcaklığı (°C)	1885	1977	2054

### 3.5.1.3 Emisyonlar

Doğalgaz en az kirlenici yanan yakıttır.

- Doğalgaz hafif ve orta hizmet taşıt filolarında, taksiler gibi ve dağıtım kamyonlarında kullanıldığında, ozon oluşturan kimyasallar emisyonunu önemli düzeyde düşürme potansiyeline sahiptir.
- Doğalgaz yakıt sistemleri tamamen yalıtılmıştır ve dolun sırasında hiçbir şey yaymazlar. Oysa ki benzinin doldurma sırasındaki buharlaşmasıyla önemli miktarda ozon oluşturan kimyasal çıkmaktadır.
- Egzoz emisyonları, henüz yasal zorunluluğu bulunmayan Ultra Low Emisyonlu Taşıt (ULEV) standardının çok altındadır.
- Doğalgazlı taşıtların çoğu Süper Ultra Low Emisyonlu Taşıt (SULEV) standardını karşılamakta ve üretilen güç başına emisyonlar dikkate alındığında elektrikli taşıtlardan bile temiz bulunmaktadırlar.
- Doğalgaz taşıtlarda kullanıldığında, partikül emisyonlarında geleneksel dizel yakıtlı motorlara oranla %65-90 azalma sağlamaktadır, Çizelge 3.12.
- Doğalgaz kullanan otobüs ve kamyonlar güncel emisyon standartlarını kolayca karşılarlar.
- Doğalgazın ağır-kamyonlarda ve otobüslerde kullanımı, dizel motorların iyi bilinen problemlerinden biri olan NO<sub>x</sub>'lerde 2/3 kadar azalma sağlamaktadır.
- Benzinli taşıta göre daha basit emisyon ekipmanı gereklidir.

Çizelge 3.11'de çift yakıtlı hafif hizmet taşıtlarının ortalama emisyonları verilmiştir.

Çizelge 3.11 Çift yakıtlı hafif hizmet taşıtlarının ortalama emisyonları (URL 1 2007).

a) Şehir içi dinamometre çevrimi

	<b>Doğalgaz (CNG) (g/km)</b>	<b>Benzin (g/km)</b>	<b>CNG ile azalma (%)</b>
Metan olmayan hidrokarbonlar	0,012	0,21	94
Karbonmonoksit (CO)	1,43	2,13	33
Nitrojenoksitleri (NO <sub>x</sub> )	0,40	0,39	-3

b) Otoyol yakıt ekonomisi çevrimi

	<b>Doğalgaz (CNG) (g/km)</b>	<b>Benzin (g/km)</b>	<b>CNG ile azalma</b>
Metan olmayan hidrokarbonlar	0,006	0,056	88
Karbonmonoksit (CO)	0,61	0,89	31
Nitrojenoksitleri (NO <sub>x</sub> )	0,30	0,34	9

Çizelge 3.12 Çift yakıtlıya dönüştürülen IVECO 8220'nin partikül emisyonları (URL 1 2007).

<b>Dizel Yakıtı</b>	<b>Çift/Yakıt</b>	<b>Akoustik Testler</b>
1.ci test: ortalama değer = %82,46	1.ci test: ortalama değer = %27,53	Dizelde gürültü = 84,8 dB (A)
2ci test: ortalama değer = %52,66	2ci test: ortalama değer = % 17,60	Çift/Yakıtta gürültü = 81,8 dB (A)
Toplam ortalama değer = %67,56	Toplam ortalama değer = %22,56	
Gaz egzoz emisyon azalması %66,6		Gürültü azalması = 3,0 db (A)

### 3.5.2 CNG'nin Dezavantajları

- Dolum istasyonları yaygın değil ve kurulması daha pahalıdır.
- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kaplıyor, bagaj hacmini küçültmekte ve sınırlı sürüş mesafesi sağlamaktadır (Şekil 3.1).

- Taşınması sıvı hidrokarbonlara göre daha az uygundur. Yüksek P ve düşük T, kompresörler/soğutucular ve ağır kaplar gerekmektedir (pahalı).
- Uzun atmosferik süreklilik nedeniyle CH<sub>4</sub> sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından CO<sub>2</sub> ye oranla 20 kez daha kötüdür.
- NO<sub>x</sub> emisyon problemleri olabilmektedir.
- Doğalgaz kullanan taşıtlar karşılaştırılabilir rakiplerine oranla daha pahalıdır. Diğer bir belirleyici faktör olan dönüşüm maliyetleri de dizelerde biraz daha fazla olmak üzere, pahalıdır.
- Karakteristiklerine de bağlı olarak taşıt performansını bir miktar düşürmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır, Çizelge 3.13, 3.15. Sızıntı olduğunda havalandırılmazsa, bir kıvılcım durumunda yanma ve patlama tehlikesi vardır.



Şekil 3.1 Büyük hacimli yakıt tüplerinin görünümü, (Çetinkaya, 2003).

Çizelge 3.13 Depolama sırasındaki bağlı sızıntı potansiyeli (Çetinkaya, 2003).

Alternatif yakıt	Bağlı dökülme potansiyeli (Benzin/dizel kamyonu oranla)	Sebebi
Benzin/Dizel	Referans yakıtlar	
Etanol/Etanol karışımları	Hafifçe yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Metanol/Metanol karışımları	Bir miktar yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Propan	Yüksek	Sıcaklık farkları
CNG	Yüksek	Yüksek basınç
LNG	Yüksek	Yüksek basınç

Çizelge 3.14 Depolama sırasındaki bağıl dökülme potansiyeli (Çetinkaya, 2003).

<b>Alternatif yakıt</b>	<b>Bağıl dökülme potansiyeli (Benzin/dizel kamyonu)</b>	<b>Sebeup</b>
Benzin/Dizel	Referans yakıtlar	
Etanol/Etanol karışımları	Hafifçe yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Metanol/Metanol karışımları	Bir miktar yüksek	Potansiyel paslanma etkisi
Propan	Yüksek	Yüksek basınç ve cihaz
CNG	Yüksek	Yüksek basınç ve cihaz
LNG	Yüksek	Kryojenik sıcaklıkları korumak için gerekli depo sistemini karmaşıklığı

## BÖLÜM 4

### TAŞITLARDA CNG KULLANIMI

Taşıtlarda CNG kullanımı, ülkelerin belirlediği egzoz emisyon standartlarına göre gelişmeler göstermiştir ve taşıtlarda kullanılan CNG teknolojileri buna göre uygulanmıştır.

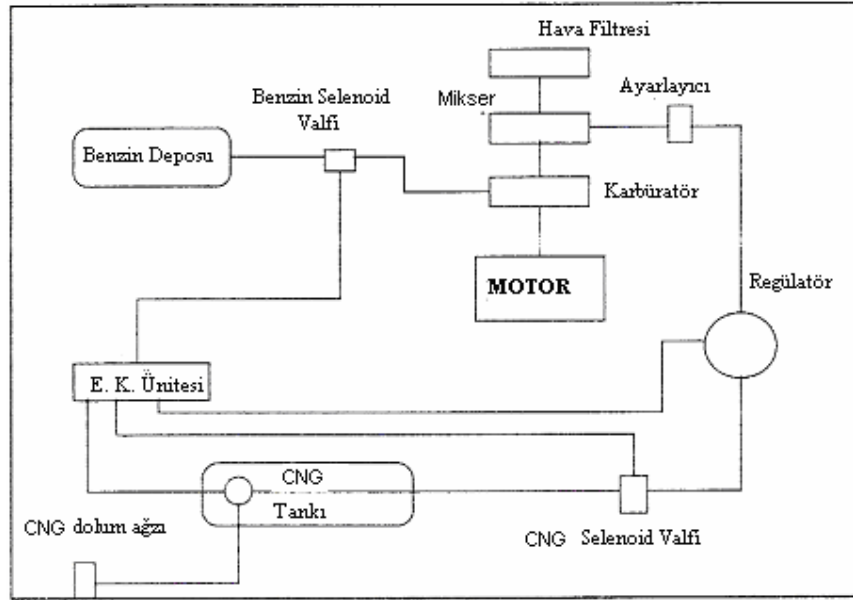
#### 4.1 TAŞITLARDA KULLANILAN CNG TEKNOLOJİLERİ

Hafif taşıtlarda kullanılan LPG sistemleri 3 grupta incelenir.

- a) CNG Karbürasyon sistemi (1. Nesil)
- b) Elektronik Kontrollü CNG Sistemleri (2. Nesil)
- c) CNG Püskürtme Sistemleri (3. Nesil)

##### 4.1.1 CNG Karbürasyon Sistemi (1. Nesil)

Taşıtlarda emisyon standardı uygulama zorunluluğu olmayan ülkelerde klasik CNG sistemleri kullanılır. Tipik bir klasik CNG sistemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu mekanik sistemler “1. nesil” sistemler olarak isimlendirilirler. Kaputun altına yerleştirilen sistem, bir elektromagnetik CNG açma-kapama valfi, bir basınç regülatörü ve karışım ünitesinden ibarettir. Bir çift yakıtlı taşıta bu sistem yerleştirildiğinde benzin hattına ayrıca bir elektromanyetik açma-kapama valfide yerleştirilir. CNG ile çalışma durumunda bu valf kapalı, benzinle çalışma durumunda ise açıktır. CNG valfi, basınç regülatörünün önüne yerleştirilmiştir. Basınç regülatörü motor suyu ile ısıtılır. Bu ısıtma işlemi, CNG’nin genişmesi sıcaklıkta büyük bir düşüşe sebep olacağından dolayı, regülatörün donmasını önlemiş olur. Regülatörden gelen CNG, karışım ünitesinde hava ile karışır. Karışım ünitesi karbüratörün altında veya üstünde bir yere yerleştirilebilir. Buradan kuru gaz/hava karışımı olarak motor içine emilir. CNG ölçümü (debi ayarı), basınç regülatörü ve karışım ünitesi ile birlikte belirlenir. CNG dönüşüm işleminin en basit şeklidir (Lovato, 2003).



Şekil 4.1 Mekanik kontrollü CNG sistemi (1. Nesil) (Lovato, 2003).

#### 4.1.2 Elektronik Kontrollü CNG Sistemleri (2. Nesil)

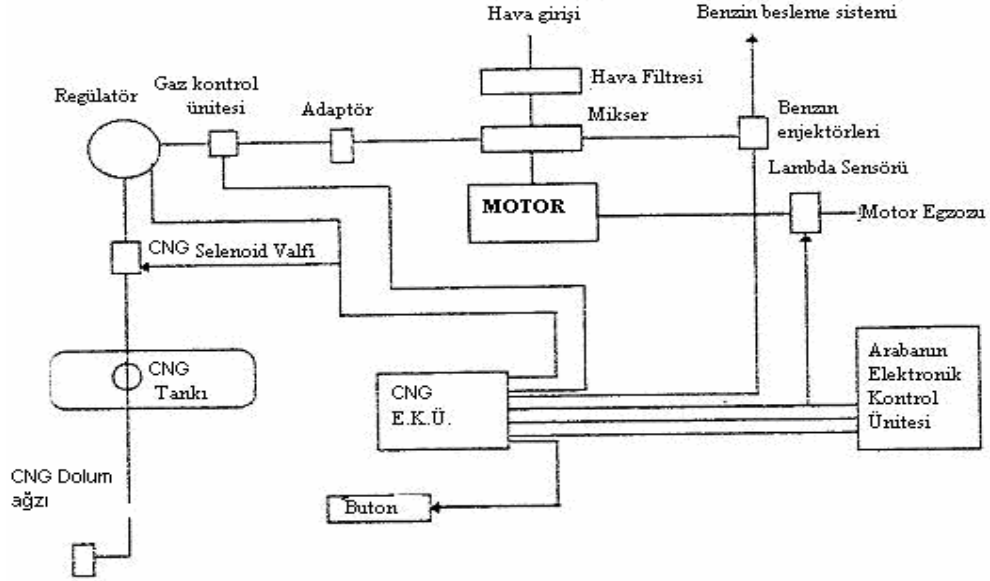
Değişik ülkelerde egzoz emisyonları için getirilen standartların artması, ekipman üreticilerinin, CNG dönüşüm tasarımlarını geliştirmeleri zorunluluğunu doğurmuştur.

Modern elektronik, klasik CNG sistemlerinin bazı eksiklerinin giderilmesini sağlamıştır. Hassas bir elektronik kontrol ile gaz akışının basitçe ölçümü yapılarak sistemlerin gelişmesi sağlanmıştır. Bu sistemlerde gaz akışının ana ayarı hala daha basınç regülâtörü ve karışım ünitesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte analog veya dijital olarak kontroller yapılmaktadır. Sistemin bu tipi, hava filtresi içerisine püskürtme (Throttle Body Injection), kapalı çevrim, lambda sensörü kontrollü ve 3 yollu katalitik konvertör içeren taşıtlarda kullanımı için uygundur (Lovato, 2003).

Birçok firma tarafından üretilen 2. nesil CNG ekipmanlarının çalışma prensipleri hemen hemen aynıdır. Sadece küçük farklılıklarla veya ilave edilen ekstra devrelerle birbirlerinden ayrılırlar. Şekil 4.2’de, 2. Nesil CNG ekipmanlarına bir örnek olarak Lovato firmasının ürettiği mikroişlemci kontrollü CNG sistemi gösterilmiştir.



Bu sistem bir standart basınç regülatörü ve karışım ünitesi ile birlikte çalışır. Mikroişlemciye giriş sinyalleri, motor devri, manifold basıncı ve lambda sensöründen gelen sinyaller girer. Birçok 2. Nesil sistemde olduğu gibi burada da, mikroişlemci ya açık çevrim ya da kapalı çevrim metodolojisine göre bir dijital lineer actuatoru (DLA) kontrol eder. Bu actuator (stepmotor) basınç regülatörü ile karışım ünitesi arasında kuru gaz hortumu içerisine yerleştirilen değişken memeyi ayarlar (Lovato, 2003).



Şekil 4.2 Bir mikroişlemci kontrollü CNG sistemi (2. Nesil) (Lovato, 2003).

#### 4.1.3 CNG Püskürtme Sistemleri (3. Nesil)

Motor ve taşıt endüstrisi komplike yakıt püskürtme ve motor yönetim sistemleri ile yeni motorlar geliştirmeye çalışmaktadırlar. Gelecekte emisyon standartlarının getireceği zorluklar motor ve taşıt endüstrisine bu gelişmeleri yapmaya zorlayacaktır. Piyasalardaki hemen hemen bütün yeni taşıtlar yakıt, ateşleme ve egzoz durumlarını kontrol eden komplike motor yönetim sistemleri ile donatılmışlardır.

Benzin püskürtme sistemlerinde giriş manifoldu yüksek volümetrik verim sağlayarak havayı motora nakleder. Porta püskürtme kullanıldığı zaman, benzin her giriş supabından biraz önce püskürtülür ve tasarım ve kullanım esnasında, hava giriş sistemine alınan patlayıcı karışım hesap edilemez. Bir elektronik kontrollü CNG karbüratör sistemi ile

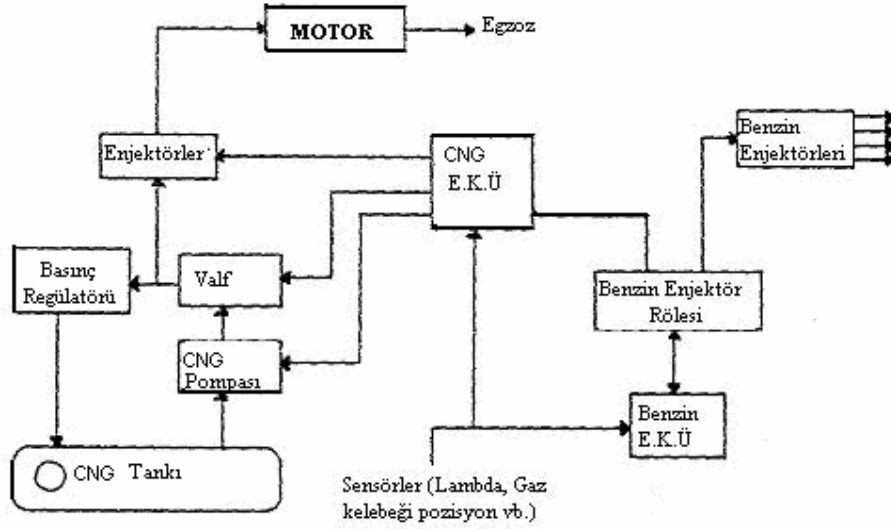
CNG'ye dönüştürülmüş olan taşıtlar emme manifoldunda patlayıcı bir maddeye sahip olmuş olurlar. Taşıtın ateşleme sisteminin fonksiyonlarında meydana gelecek bir hatada, karışım emme manifoldunda kendi kendine tutuşabilir. Bu durum benzin püskürtme ve hava giriş sisteminde hasar sebebiyet verebilir. Geri ateşlemenin sonuçlarını önlemek için, bir çok CNG ekipman üreticisi, ürünlerini yenileyerek çok noktalı CNG püskürtme sistemleri geliştirmişlerdir (Lovato, 2003).

Çok noktalı CNG sistemleri mikroişlemci kontrollü, kendi kendine öğrenme sistemine sahip ve elle kumanda gerektirmeyen sistemlerdir. Bu sistemler 3. Nesil CNG ekipmanları olarak isimlendirilirler. CNG' nin püskürtülmesi sıvı gaz formunda olabilir. Çeşitli konfigürasyonları vardır.

- Tek noktalı püskürtme sistemi
  - i. sürekli
  - ii. kesikli
- Çok noktalı püskürtme sistemi
  - i. sürekli
  - ii. aynı anda kesikli püskürtme
  - iii. ard arda kesikli püskürtme(ateşleme sırası ile uyumlu)
- Yüksek basınçta direkt püskürtme
  - i. çok noktalı kesikli aynı anda püskürtme
  - ii. çok noktalı kesikli ard arda püskürtme

Aşağıda çok noktalı ve tek noktalı gaz fazında CNG püskürtme sistemlerine bir örnek verilmiştir (Smith et al, 1997).

CNG'nin gaz fazında püskürtüldüğü çok noktalı elektronik püskürtme sisteminin (MGEI) esas amacı geri ateşlemenin ve onun doğuracağı neticelerin önlenmesidir. Şekil 4.3'te sistemin şematik şekli verilmiştir.



Şekil 4.3 Çok noktalı kuru gaz püskürtme sistemi (3. Nesil) (Lovato, 2003).

Bu sistemde tanktan gelen CNG bir iki kademeli basınç regülatöründen geçirilir. Burada aşırı basınç doğrultularak kontrol edilir. Bir gaz ayarlamada ünitesi ile eşit miktarda yakıtın silindirlere gönderilmesi sağlanır. Daha sonra CNG, her silindirin emme supabının ön tarafına püskürtme borusu yardımıyla bir enjektöre gönderilerek püskürtülür. CNG püskürtme sistemi benzin enjektörleri ile birleştirilerek kullanılabilir. Benzinle mükemmel bir şekilde motor çalıştırılır ve daha sonra bir seçici anahtar yoluyla ikinci yakıt tipine geçilir. CNG püskürtme sistemi mikroişlemci kontrollü olup kendi kendine öğrenme sistemine sahip ve ayar gerektirmeyen tiptendir. Performans, emisyon ve yakıt sarfiyatını temsil eden sinyaller mikroişlemci tarafından ölçülür ve ayarlayıcı pozisyona dönüştürülür. Mikroişlemci özellikle manifold emme basıncı (MAP) ve motor devir sinyaline göre hareket eder. Ayrıca diğer parametreler de gaz kelebeği pozisyonu, lambda sensör, giriş havası su ve yakıt sıcaklıkları da kullanılır. Mikroişlemci gaz ölçme birimi üzerine monte edilen dijital lineer ayarlayıcı kontrol eder. Dijital lineer ayarlayıcı püskürtülen yakıtın gerçek miktarını ayarlar. Mikro işlemci içerisindeki farklı giriş sinyalleri ve kendi kendine öğrenme tablolarıyla kontrol edilebilir. Bu sistem, kendine ait motor yönetim sistemi ile donatılmıştır. Bu yüzden bu sistemi tek yakıtlı motorlar için (orta ve ağır motorlar için) kullanmak mümkündür. Bu sistemin uygulamaları tamamen bağımsız bir motor yönetim sistemi ile teçhiz edilir. Uyum sağlayan öğrenme modu, özel lambda kontrol stratejileri, motorun tipine bağlı olarak ivmelenmede yakıt kesme, ateşleme kontrol ve hata tanıma sistemi gibi sistemlerdir (Lovato, 2003).

Bir benzin motorunun doğalgaz motoruna dönüştürülmesi istendiğinde, motorun sıkıştırma oranının uygun olması durumunda, gaz/hava karbüratörü ve kumanda sistemlerinin ilavesi ile dönüşüm sağlanabilmektedir.

#### **4.1.4 CNG Karbüratör Sistemleri**

Bu amaçla, taşıtlarda kullanılan CNG sistemleri 4 grupta incelenir.

- Venturi tip karbüratörler
- Orifis (delikli) karbüratörler
- Girdap (vorteks) ve karbüratörler
- Değişken sınırlamalı tip karbüratörler geliştirilmiştir.

Emisyonu azaltmak için, hava/yakıt oranı kontrolünün daha hassas yapılması gerekmektedir. Bu nedenle üretici firmalar tarafından, elektronik kontrol sistemleri geliştirilerek hava/yakıt oranının daha hassas ayarlanması sağlanmıştır.

Motorun doğalgaz motoru olarak yapılması halinde ise, ateşlemeyi kolaylaştırmak için farklı yanma odaları tasarlanmaktadır. Bu yanma odalarından biri kademeli dolgulu tipte olup, ilk ateşleme zengin karışimli çekirdekte yapılmaktadır. Bir diğer uygulama olan ön yanma odalı motorda ise, yanma ön yanma odasında başlamakta, ana yanma odasına türbülans ile geçen yanmış gazlar, buradaki tutuşmayı da sağlamaktadırlar. Dizel motorlarında olduğu gibi, yakıtın bir kısmının, bir veya bir kaç jet ile yanmasını kolaylaştıran diğer yöntemdir (Keskin, 1997).

Doğalgaz motorlarında kirletici emisyonu azaltmak için iki farklı prensip düşünülmüştür. Bunlar; fakir karışimli motorlar ve stokiyometrik karışimli motorlardır.

#### **4.1.5 Fakir Karışimli Doğalgaz Motoru**

Fakir karışimli doğalgaz motorlarında hava fazlalık katsayısı 1,5-1,6 değerine kadar çıkabilmektedir. Bu durumda NO<sub>x</sub> emisyonunda büyük azalmalar söz konusudur. Ayrıca yanma sırasında maksimum basınç ve sıcaklıkların düşmesi motor elemanlarının ısı

gerilmelerini azaltacak ve motorun ömrünü uzatacaktır. Ancak fakir karışımda motorun gücü azalacaktır.

Fakir karışimli motorda ön yanma odaları kullanılarak alevin yanma odası içindeki yolu kısaltılabilir. Böylece yanma hızının artması ile vuruş direnci yükselmekte, bu da motorun daha yüksek sıkıştırma oranı ile çalıştırılmasını mümkün kılmaktadır. Netice olarak motorun güç ve verimi artmaktadır. Hava fazlalık katsayısının artması ile de verim artmakta, ayrıca  $NO_x$  emisyonu azalmaktadır. Böylece fakir karışimli hızlı yanmalı motorda, stokiyometrik karışıma göre yakıt tüketiminde %15-20 oranında iyileşme sağlanmaktadır.

Fakir karışımın diğeri bir uygulama şekli de, değışken hava fazlalık katsayılı motorlardır. Bu motorlar tam yükte stokiyometrik karışımda çalışmakta, kısmi yüklerde ise fakir karışım ile çalışarak verimin artması ve  $NO_x$  emisyonunun azalması sağlanmaktadır.

Fakir karışımın güç azaltıcı etkisini önlemek için yapılan uygulamalardan bir diğeri aşırı doldurmadır. Silindir içindeki dolgu miktarının artması ile güç artışı meydana gelmektedir. Isıl gerilmelerin artmasını önlemek için dolgunun ara soğutucu vasıtasıyla soğutulması bir çözümdür (Keskin, 1997).

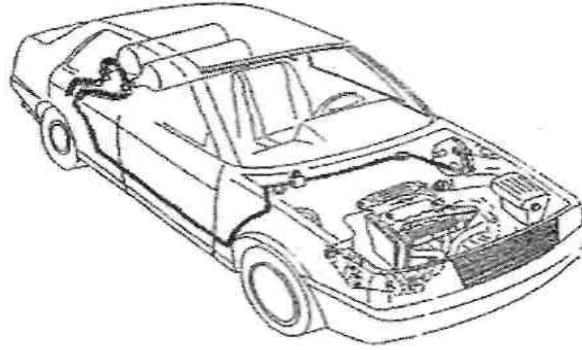
#### **4.1.6 Stokiyometrik Karışimli Doğalgaz Motoru**

Doğalgaz motorunun stokiyometrik karışimli olarak çalıştırılması durumunda motorda maksimum güç elde edilebilmektedir. Otto çevrimi ile çalışan bu motorun buji ile ateşlemesi yapılmakta, sıkıştırma oranı artırılarak benzin motoruna göre daha verimli çalışması sağlanmaktadır. Ancak bu karışım oranında  $NO_x$  emisyonu maksimum değerdedir. Egzoz gazı resirkülasyonu veya üç yollu katalizör kullanılarak egzoz emisyonu değerleri düşürülmektedir (Gökten vd, 1994).

## **4.2 CNG YAKIT DÖNÜŞÜM SİSTEMİNİN ELEMANLARI**

CNG sistemi elemanlarının taşıt üzerindeki yerleri Şekil 4.4'de verilmiştir. Sıkıştırılmış doğalgazı kullanmak için kullanılan dönüşüm sisteminde bulunan ana elemanlar şunlardır:

- Dolum ucu
- Selenoidli dolum ucu (opsiyonel)
- Harici dolum ucu (opsiyonel)
- Tank valfi
- Benzin selenoid valfi
- Koruyucu kapak
- Vent borular
- Çelik boru
- Regülatör
- Mikser
- Elektrik tesisatı
- Gaz ayar vanası
- Tank
- Yakıt seçici anahtar



Şekil 4.4 CNG sistem elemanlarının taşıt üzerindeki yerleri (Prevazi, 2003).

#### 4.2.1 Dolum Ucu



Şekil 4.5 Dolum ucu.

Şekil 4.5'te görülen dolum ucu motor bölümünde tank ve regülatör arasına yerleştirilmiştir. Dolum sistemi ve acil bir durum sırasında ya da bakım sırasında kullanılmak üzere manuel olarak çalışan top şeklinde bir açma-kapama düğmesi ile bağlantıyı içermektedir. Sektörde uygulanmakta olan standartlara bağlı kalınarak kullanılabilir farklı dolum bağlantıları mevcuttur. Taşıt benzinle çalışırken ya da kontak kapalıyken regülatörün üzerinde yer alan yüksek basınç solenoid valfi doğalgazın akışını durdurur (Prevazi, 2003).

#### 4.2.2 Selenoidli Dolum Ucu (Opsiyonel)



Şekil 4.6 Selenoidli dolum ucu.

Motorun bulunduğu bölümde tank ve regülatör arasına yerleştirilmiş bu cihaz, dolum sırasında, taşıt benzinle çalışırken ya da kontak kapalıyken doğalgazın regülatöre girişini kesen gaz kesme selenoid valfi (besleme 12V, bobin güç kapasitesi 20W) ve İtalyan tipi dolum sistemi ile bağlantıyı içerir, Şekil 4.6. Yüksek basınç gaz selenoid valfi olmayan regülatörle kullanılır (Prevazi, 2003).

#### 4.2.3 Harici Dolum Ucu (Opsiyonel)



Şekil 4.7 Harici dolum ucu.

Harici dolum ucu, içeriye yerleştirilmiş bir kontrol valfi ve tüpün üzerinde bulunan ikinci bir kontrol valfi ile bağlantılıdır, Şekil 4.7. Bu düzen kaportayı açmaya gerek kalmadan doğalgaz dolununun yapılabilmesini sağlar (Prevazi, 2003).

#### 4.2.4 Tank Valfi



Şekil 4.8 Tank valfi.

Tankın üzerine bağlanan dolum sırasında doğalgazın girişini ve gazla çalışırken regülatörden dışarı çıkışını sağlar, Şekil 4.8. Bir acil durum sırasında ya da bakım sırasında kullanılmak üzere manuel olarak kullanılan bir sisteme sahiptir. Uygulanmakta olan yasalara bağlı kalınarak daha fazla güvenlik sağlayacak ilave ekipmanlardan (aşırı akım valfi gibi gaz akışını kesen veya sınırlandıran dolum ucu) veya belirli bir ısıya ya da basınca ulaşıncaya gazın tanktan aracın dışına atılmasını sağlayan sistemler mevcuttur (Prevazi, 2003).

#### 4.2.5 Benzin Selenoid Valfi

Benzin otomatığı ve karbüratör arasına monte edilen elektromanyetik valftir. Bu valfin görevi, CNG ile çalışmada karbüratöre benzin akışını kesmektir, Şekil 4.9 (TMMOB, 1999).



Şekil 4.9 Benzin selenoid valfi (TMMOB, 1999).



Valf üzerinde açma kapamaya yarayan bir anahtar vardır. Kontak anahtarı açık olmadığı veya yakıt seçme anahtarı CNG pozisyonunda olduğu durumda, yay ile itilen valf benzin akışını keser. Yakıt seçme anahtarı benzin konumuna getirildiğinde bobinde elektromanyetik alan oluşur bu güç ile valfin açılması ve benzinin geçişi sağlanır.

Benzin selonoid valfi yalnız karbüratörlü taşıtlara monte edilir. Benzin selonoid valfi üzerindeki oklar benzin akış yönünü göstermektedir. Bu valfin üzerinde manuel bir kol vardır. Bu kol taşıt elektrik sisteminde herhangi bir arıza olduğu durumlarda sola çevrildiğinde sistemi devre dışı bırakarak, benzin otomatikinden karbüratöre benzin akışını serbest bırakır (TMMOB, 1999).

#### 4.2.6 Koruyucu Kapak



Şekil 4.10 Koruyucu kapak.

Güvenlik aracı olan bu koruyucu kapak tank valfini çevreler ve havalandırma hortumları ve delikleri yoluyla, oluşan herhangi bir gaz kaçağını aracın dışına tahliye eder. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi alüminyum ve plastik olarak iki çeşidi mevcuttur (Prevazi, 2003).

#### 4.2.7 Vent Borular



Şekil 4.11 Vent borular.

Koruyucu kapak ve valf bağlantılarından oluşabilecek gaz kaçağını hapsederken vent boruları (Şekil 4.11) bu kaçağın aracın dışına tahliye edilmesini sağlar. Gaz sızıntısı olduğu takdirde gaz kapağı ve hortumlar sayesinde bagaj dışına atılır. Gaz geçirmez kabın işlev görmesi dış ortamdan iyi bir yalıtımla sağlanır, hava dolaşımı ise aracın hareketi ile sağlanır (Prevazi, 2003).

#### 4.2.8 Çelik Boru

Tanktan doğalgazın motora getirilmesinde dikişsiz kalın etli çelik çekme çelik boru veya çelik alaşımlı benzer borular kullanılır. 300 bar basınca dayanması gerekmektedir ve mutlaka koruyucu plastik ile kaplanmalıdır. Kaynak veya eklemeli olmamalıdır. Kesinlikle yolcu bölümünden geçmemelidir. Isı kaynaklarında (egzoz gibi) 10 cm. uzakta olmalı ve her 80 cm’de bir kelepçe ve vida marifeti ile kaportaya sabitlenmelidir (Prevazi, 2003).

#### 4.2.9 Regülatör



Şekil 4.12 Regülatör.

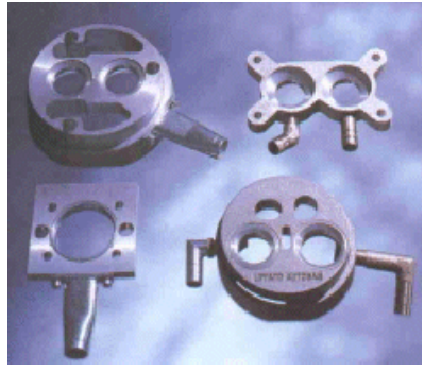
Sistemin beynidir ve üç kademedir oluşmaktadır.

- Pnömatik (karbüratörlü taşıtlarda),
- Elektronik (karbüratör ve enjeksiyonlu taşıtlarda),
- Turbo (yüksek kapasiteli taşıtlarda) olarak üretilir.

Regülatörün ikinci ve üçüncü kademesi arasında bir elektro valf bulunmaktadır. Bu elektro valf motorun kazara stop etmesi durumunda motora giden gaz akışını keser.

Birinci kademedeki bara kadar bir basınç düşürme işlemi yapılmaktadır. Birinci kademe odacığına bir emniyet valfi eklenmiştir. 12 barı geçen basınçları atmosfere boşaltmaya yardımcı olmaktadır ve böylece regülatörü emniyet altına alır. Gaz çıkış basıncı motor gücüne göre ayarlanır. 70 kW'a kadar olan motorlar için gaz çıkış basıncı 0,9 bardır, Şekil 4.12. 100 kW'a kadar olan motorlarda 1,4 bar ve bu gücün üstündeki motorlarda ise 1,8 bardır. Tercih edilirse regülatörün üzerine bir basınç monometresi de konulabilir. Üretici tarafından kaçak kontrolü yapılarak bir sertifika ile beraber satılmaktadır (Prevazi, 2003).

#### 4.2.10 Mikser



Şekil 4.13 Çeşitli mikserler (TMMOB, 1999).

Karıştırıcı CNG ve hava karışımını homojen bir şekilde sağlayan CNG dönüşüm sistemi parçasıdır, Şekil 4.13. Karıştırıcının görevi motorun bütün çalışma durumuna uygun emilen hava ile orantılı gaz vermeyi sağlamaktır (TMMOB, 1999).

Karbüratörlü motorlarda en sağlıklı ve en verimli karıştırıcı montajı noktası, karbüratörün en üst noktasıdır.

Her motordaki farklı tipteki karbüratörler için farklı tipte karıştırıcılar vardır. Bunlar iki grupta toplamak mümkündür (TMMOB, 1999).

- Grup
  - a. Set üstü plaka karıştırıcılar
  - b. Plaka altı karıştırıcılar
- Grup
  - a. Karışık sistemler
  - b. Çatalı sistemler

Mikser vakum yaratarak regülatörden gazın emilmesini kolaylaştırır. Ayrıca karışımın ayarlanmasına yardımcı olur.

#### 4.2.11 Elektrik Tesisatı

Elektrik tesisatı aracın benzin veya doğalgaz ile çalışmasına yardımcı olur. Ayrıca enjeksiyonlu taşıtlarda değişik ürünler bir araya getirilerek aracın düzgün çalışmasını sağlar (Prevazi, 2003).

#### 4.2.12 Gaz Ayar Vanası

Motorun 3500 1/min ve üstündeki devirlerde ihtiyacı olan CNG'yi sağlamak amacı ile ayar vanasının tabandan yüksekliğini ayarlayan düz veya çatal bir aparatır. CNG regülatöründen miksera giden örgülü hortum arasına yerleştirilir. Genellikle plastik, alüminyum veya pirinç malzemeden yapılır (TMMOB, 1999).



Şekil 4.14 Gaz ayar vanaları (TMMOB, 1999).

Tabandan yükseldikçe gaz akışı artar, tabana yaklaştıkça gaz akışı azalır. Motorun ihtiyacı olan gaz miktarı bulunduğunda ayar vidası sabitlenir dolayısıyla motora en ideal gaz akışı sağlanmış olur. Vanaların düz, çatalı, ve çok çatalı tipleri mevcuttur, Şekil 4.14.

#### **4.2.13 Hortumlar**

Sistemde iki çeşit hortum kullanılmaktadır. Bunlar: çelik zırlı örgülü CNG akış hortumu ve sığa basınca dayanıklı su hortumlarıdır.

Çelik zırlı örgülü hortum buharlaştırıcı ile karıştırıcı arasındaki CNG akışını sağlar. Bu hortum hidrokarbon bileşiklerine 20-30°C sıcaklığa ve yağlı malzemelere dayanıklı olmalıdır. Sığa basınca dayanıklı su hortumlarının görevi motor soğutma suyunu buharlaştırıcıya getirmek götürmektir. Kauçuk malzemeden yapılmıştır. 20-30°C sıcaklığa ve en az 30 bar basınca dayanabilen mukavemette olmalıdır.

CNG dönüşümü yapıldıktan sonra sızdırmazlığa karşı dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir (Tekiner, 2007).

#### **4.2.14 CNG Tankı**

Tesisatın en önemli parçalarından biridir. 300 bar basınçta test edilir ve 450 bar basınçta çalışacak şekilde tasarım edilmiştir. Değişik kapasitelerde üretilmektedir. Bağlantı kuşakları ile araca sabitlenmektedir. Tank bagaja, karoseri altına veya aracın üzerine monte edilebilmektedir. Aracın üzerine monte edildiği zaman direkt gün ışığından zarar görmemesi için bir koruma gerekmektedir. Bagajın altına monte edildiği zaman taşıt tam yüklü iken veya hareket halinde iken tankın yoldan en az 20cm uzakta olması gerekmektedir. Eğer bagajın içinde ise, mutlaka vent boruları ve koruyucu kapak monte edilmelidir. Tank 5 yılda bir test edilmelidir. Şekil 4.15'te CNG tankı görülmektedir.

Avrupa'daki uygulamalarda tankın son kullanma tarihi plastik bir etiketle dolmuş ucuna bağlanmakta ve dolmuş yapılan istasyonlarda bu etiket kontrol edilmektedir.

Etikette ayrıca montaj yapan firmanın ismi kayıt numarası bulunmaktadır. Beş yılda bir yapılması gereken periyodik testi yapılmamış bir tanka yapılacak dolundan dolumu yapan istasyon yetkilileri sorumlu olmaktadır.

Para ve hapis cezasının yanı sıra istasyon kapatma cezası da bulunmaktadır. Test edilmiş olan tank beş yıl daha kullanılabilir ve yeniden etiketlenir. Bu prosedür her 5 yılda bir uygulanır ve tank sağlam olduğu sürece kullanılmaktadır (Prevazi, 2003).



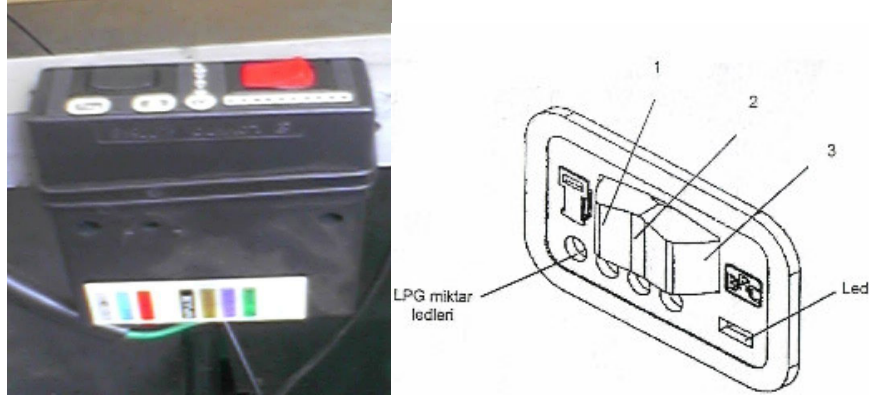
Şekil 4.15 CNG tankı.

#### 4.2.15 Seçici Anahtar

Yakıt seçme anahtarı sürücü tarafından motorun LPG ile veya benzinle çalışmasını sağlayacak seçenekleri ve yakıt seviyesini gösteren bir elektrik anahtarıdır. Aracın ateşleme sisteminden (endüksiyon bobininden) aldığı sinyale göre elektro valflere komut göndermektedir. Aynı zamanda tüpteki CNG miktarını gösteren bir yakıt göstergesi görevi yapar (Çetinkaya, 2003).

Şoför mahalline yerleştirilmiştir. Üç konumlu olup, bunlar sırası ile 1.Benzin, 2. Bekleme, 3. CNG konumlarıdır, Şekil 4.16. Anahtar benzin konumunda (1) iken kırmızı led lambası yanmakta ve benzin selonoid valfi açık, CNG selonoid valfi kapalı konumdadır. Yakıt seçici anahtar CNG konumunda (3) iken göstergenin yeşil led lambası yanmakta CNG selonoid valfi açık, benzin selonoid valfi kapalı konumdadır. Yakıt seçici anahtar orta bekleme konumda (2) iken benzinden CNG' ye geçişte kullanılmaktadır. Bu bekleme

konumunda iken hem CNG hem de benzin selonoid valfleri kapalı konumdadır. Böylece her iki selonoid valf kapalı iken aracın karbüratöründeki benzinin tüketilmesi sağlanmakta ve motor durmak üzere iken anahtar sürücü tarafından CNG' ye geçirilmekte ve aracın CNG ile çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 4.16 Seviye göstergeli yakıt seçici anahtar.

Elektronik yakıt seçici anahtarın bir diğer önemli görevi ise kontak anahtarı açıkken motor 5 saniye içinde çalışmazsa otomatik olarak CNG valfini kapatır.

Anahtar üzerinde CNG deposundaki yakıt seviyesini gösteren 5 adet led bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi kırmızı, diğerleri ise yeşil renktedir. Kırmızı led rezervde yakıt kaldığını gösterir (yaklaşık 5 litre) yeşil ledler ise depodaki CNG miktarını  $\frac{1}{4}$  ve katları olarak gösterir (Tekiner, 2007).





## BÖLÜM 5

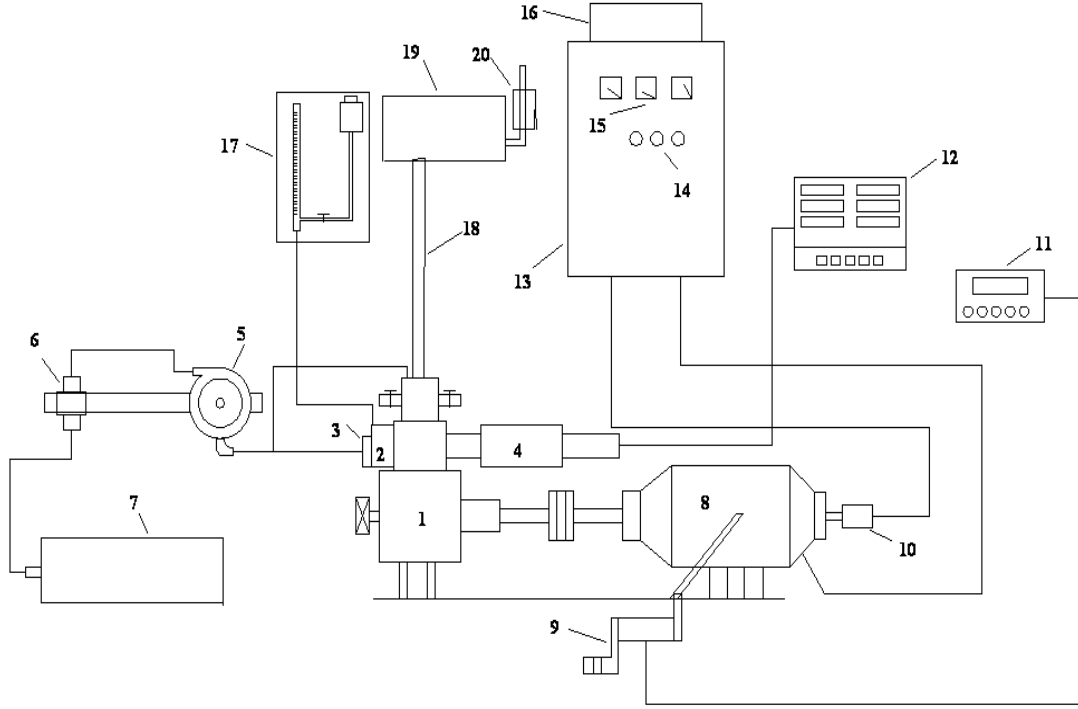
### DENEY DÜZENEĞİ VE YÖNTEMİ

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda CNG kullanımının, benzine göre motor performansı ve egzoz emisyonlarının ne oranda etkilediğinin araştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 5.1 Deney tesisatının genel görünümü.

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının genel görünüşü Şekil 5.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 5.2’de verilmiştir.



1. Motor, 2. Karbüratör, 3. Mikser, 4. Egzoz borusu, 5. CNG regülatörü, 6. CNG elektrovalfi, 7. CNG deposu, 8. Elektrikli dinamometre, 9. Load cell, 10. Devir sensörü, 11. Load cell indikatörü, 12. Egzoz gaz analizör, 13. Dinamometre kontrol paneli, 14. Yükleme anahtarları, 15. Voltmetre, Ampermetre, Takometre, 16. 10kW'lık direnç, 17. Yakıt tüketimi ölçme düzeneği, 18. Hava borusu, 19. Hava tankı, 20. Debimetre

Şekil 5.2 Deney tesisatının şematik görünüşü.

Çizelge 5.1 Deney motorunun teknik özellikleri.

Markası	Datsu 200E, (Hava Soğutmalı, Buji ile Ateşlemeli)
Silindir sayısı	1
Motor gücü	4,8kW (6.5 HP), 3600 1/min
Silindir hacmi	196 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	8:1
Çap x Strok	68 x 54

Deneyleerde, tek silindirli, 4 zamanlı, buji ateşlemeli DATSU 200E marka bir araştırma motoru kullanılmıştır. Kullanılan motorun genel görüntüsü Şekil 5.3'de verilmiştir.

Motorda manyetolu ateşleme sistemi mevcuttur. Motoru CNG ile çalıştırabilmek için birinci kuşak doğalgaz dönüşüm sistemi monte edilmiştir. Benzin ile çalışmada, karbüratör ana memesi konik uçlu ayar vidası ile kontrol edilerek hava/yakıt oranının değiştirilebilmesi sağlanmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Deney motoru (DATSU 200E).

## **5.1 DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR**

### **5.1.1 Motor Deney Seti ve Dinamometresi**

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Motor momentini ölçmek için Esit marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.

### **5.1.2 Egzoz Gaz Analizörü**

Deneylerde kullanılan egzoz gaz analizörü, MRU DELTA 1600L marka olup, egzozdan çıkan CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC ve O<sub>2</sub> değerlerini hacimsel olarak ölçebilmektedir. Şekil 5.4’de görülen cihaz yanmış gazların analiz edilmesi ile hava/yakıt oranı veya hava fazlalık

katsayısını da belirleyebilmektedir. Bununla birlikte dizel motorları içinde aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir.



Şekil 5.4 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

### 5.1.3 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi



Şekil 5.5 Yakıt tüketimi ölçüm düzenegi.

Benzin ile çalışmada, yakıt tüketimi, hacimsel olarak ölçmek için motorun 10 ml yakıtı tüketim süresi belirlenmiştir. Yakıt tüketim ölçme düzenegi Şekil 5.5’de görülmektedir.

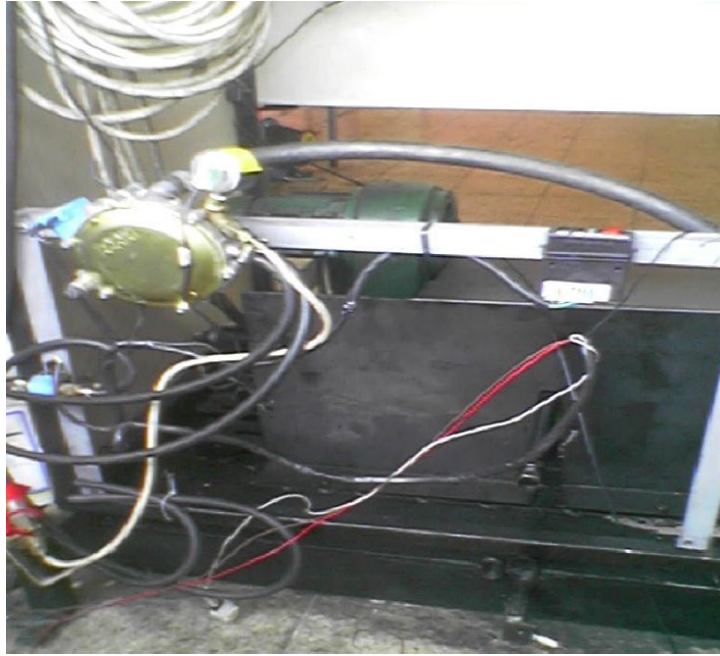
Yakıt tüketimi süresinin ölçülmesinde 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Kenko KK-612 marka bir kronometre kullanılmıştır.

#### **5.1.4 Ateşleme Avansı Ölçümünde Kullanılan Cihaz**

Ateşleme avansının ölçümünde EQUUS 591 524 marka 0-60° aralığında ve 1° hassasiyetinde ölçüm yapabilen avans ölçer kullanılmıştır.

#### **5.1.5 Doğalgaz Dönüşüm Sistemi**

Motoru CNG ile çalıştırabilmek için regülatör, CNG elektrovalfi, bağlantı elamanları ve mikserden oluşan birincil kuşak CNG sistemi kullanılmıştır. Şekil 6.7'de kullanılan regülatör LOVATO marka olup basınç üç kademedede atmosfer basıncına düşürülmüştür. Deneylerde elektrovalf ile sistemin güvenilirliği artırılmıştır.



Şekil 5.6 Kullanılan CNG sistemi.

## 5.2 DENEY YÖNTEMİ

Deneyle motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra tam gazda ve değişik hızlarda yapılmıştır. Motor hızı 1000-4000 1/min arasında 200 1/min aralıklarla değiştirilmiştir. Karbüratör üzerinde bulunan konik uçlu yakıt ayar vidası yardımıyla hava/yakıt oranı 15/1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra motor aynı şartlarda sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) ile çalıştırılmıştır. Her bir nokta için motor kararlı duruma ulaştıktan sonra ölçümler yapılmıştır. Ateşleme avansı her iki yakıt içinde maksimum momenti verecek şekilde değiştirilmiştir. Deneylede, motor önce benzin ile orijinal sıkıştırma oranında (8/1) çalıştırılmış moment, güç, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri kaydedilmiştir. CNG ile çalışmada hava/yakıt oranı 15/1 (HFK=1) olacak şekilde regülatör üzerindeki ayar vidasından ve debi kontrol vanasından müdahale edilerek ayarlanmıştır. Deneylede motoru soğutmak için yardımcı bir elektrikli vantilatör kullanılmıştır.

## 5.3 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

### 5.3.1 Motor Momenti ve Gücü

Deneyle sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0.25m uzaklıktaki yük hücrelerinden okunmuştur.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F \cdot 9,81 \cdot 0,25 \quad (5.1)$$

Motor devri 2000 1/min'de dinamometreden okunan kuvvet  $F=6$  kg olduğuna göre, 2000 1/min'deki motor momenti; (5.1)'deki eşitlikte yerine konularak  $M_e=14,71$  Nm olarak tespit edilmiştir.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \quad (5.2)$$

Örnek olarak motor gücü hesabında, motor devri 2000 1/min'de eşitlik (5.1)'e göre hesaplanan motor momenti 14,71 Nm (5.2)'deki eşitlikte yerine yazıldığında;

$$P_e = \frac{14,71 \cdot 2000}{9549} = 3,08 \text{ kW olarak hesaplanmıştır.}$$

### 5.3.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Benzinle olan çalışmada yakıt tüketimini ölçmek için hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır.

Ölçekli kap ve dijital tartı aleti kullanılarak deney ortamında yakıtın yoğunluğu 0,735 kg/litre olarak bulunmuştur.

Örneğin motor 2000 1/min ile çalışırken 10 ml yakıtı 37,94 saniyede tükettiğine göre;

$$10 \text{ ml yak} = 0,01 \text{ litre}$$

$$10 \text{ ml yakıt} = 0,01 \cdot 0,735 = 0,00735 \text{ kg}$$

Motorun saat deki yakıt tüketimi;

$$B = 0,00735 \cdot 3600 / 37,94 = 0,697 \text{ kg / h}$$

olarak hesaplanmıştır.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır;

$$b_e = \frac{B \cdot 1000}{P_e} \quad (5.3)$$

Hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (5.3)'de yerine yazıldığında,

$$b_e = \frac{0,697 \cdot 1000}{3,08} = 226,298 \text{ g/kWh}$$

özgül yakıt tüketimi miktarı belirlenmiştir.

CNG ile olan çalışmada yakıt tüketimini ölçmek için gaz debimetresinden yararlanılmıştır.

Örneğin motor 2000 1/min'de çalışırken 1,7 m<sup>3</sup>/h CNG tükettiği göre;

$$V_{\text{debi}} = 1,7 \text{ m}^3 / \text{h}$$

CNG'nin yoğunluğu 0,74 kg/m<sup>3</sup> olduğuna göre motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$B = m_{\text{debi}} = V_{\text{debi}} \cdot \rho_{\text{CNG}} \quad (5.4)$$

$$B = m_{\text{debi}} = 1,7 \cdot 0,74 = 1,258 \text{ kg / h}$$

Hesaplanan saatteki yakıt tüketimi eşitlik (5.3)'de yerine yazıldığında;

$$b_e = \frac{1,258 \cdot 1000}{3,08} = 408,44 \text{ g/kWh}$$

olarak CNG'nin özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.



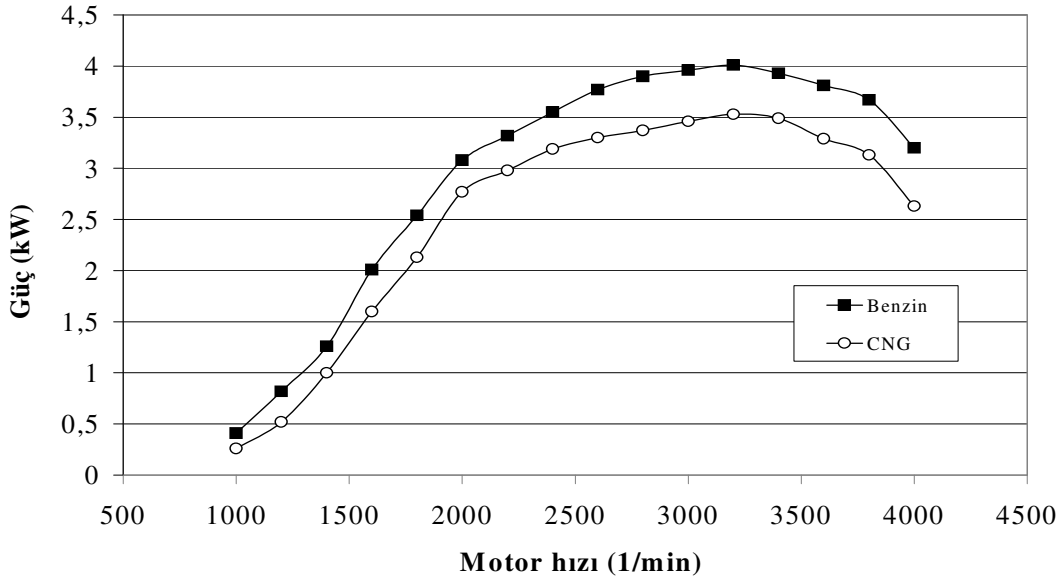
## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney motorunda, CNG kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini belirlemek amacı ile tam yükte ve değişik hızlarda deneyler yapılmıştır. Sonuçlar motor performansı ve egzoz emisyonları olmak üzere iki kısımda benzinle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

#### 6.1 MOTOR PERFORMANSLARI

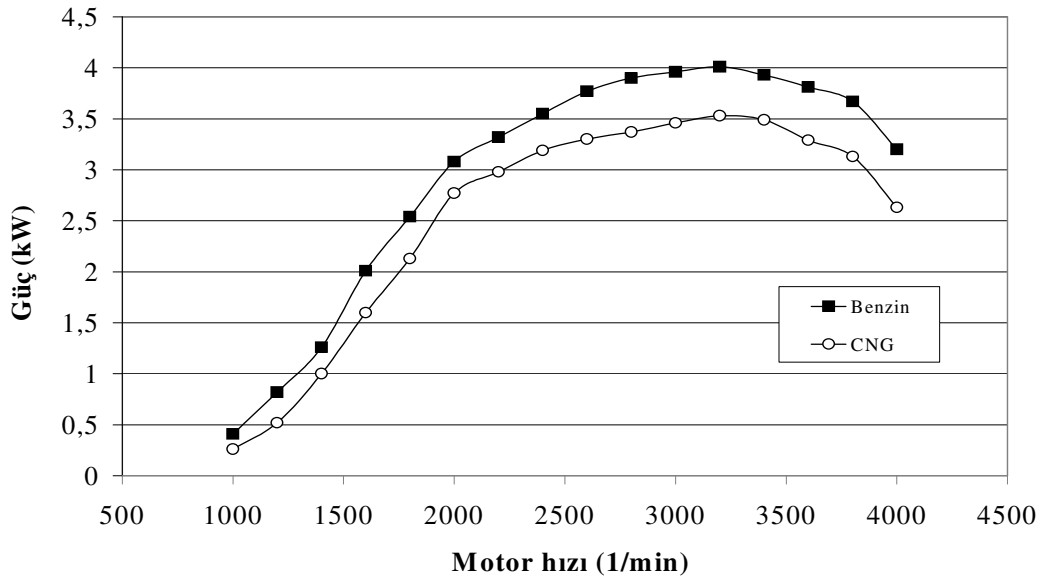
Motor performansları; motor momentini, gücü ve özgül yakıt tüketimi olmak üzere üç grupta incelenmiştir. CNG ve benzin ile çalışmaların motor momentini değişimleri Şekil 6.1’de görülmektedir. Her iki yakıt türünde de maksimum momentini 2000 1/min’de elde edildiği görülmüştür. Benzin ile çalışmada maksimum moment 14,72Nm, aynı şartlarda CNG ile çalışmada 13,24Nm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.1 CNG yakıtının motor momentine etkisi.

Aynı şartlarda CNG kullanımı motor momentinde yaklaşık %10'luk bir azalmaya neden olmuştur. CNG ile çalışmada, yakıt hava karışımı gaz fazında alındığından sıcaklıktan etkilenerek volümetrik verimin düşmesi ve düşük hızlarda silindire giren hava hızının düşük olması momentte de bir azalmaya yol açmaktadır.

Motor maksimum güce, birim zamanda içeri alınan maksimum yakıt hava karışımının olduğu devir aralığında ulaşmaktadır. Bu çalışmada, maksimum gücün 3200 1/min'de olduğu görülmektedir, Şekil 6.2.

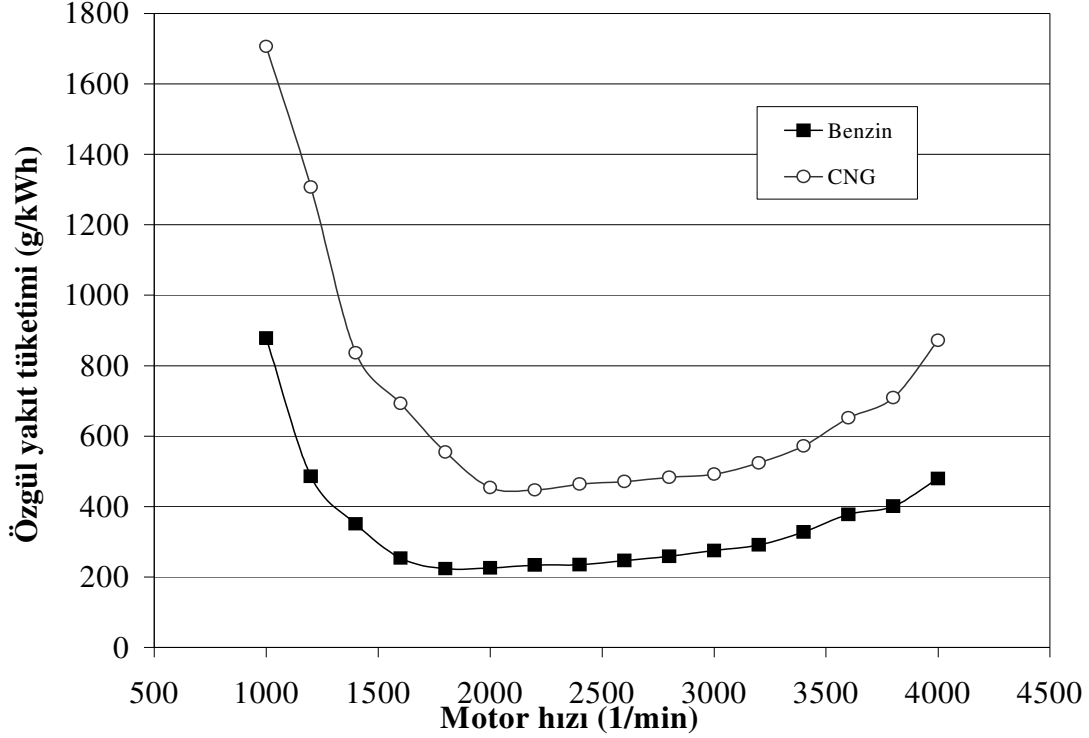


Şekil 6.2 CNG yakıtının motor gücüne etkisi.

Benzin ile çalışmada maksimum güç 4,01 kW iken, CNG ile çalışmada maksimum güç sırasıyla 3,53 kW olduğu görülmüştür. CNG ile çalışmada benzin ile çalışmaya göre yaklaşık %10'luk bir azalma olmuştur. CNG ile çalışmada motor momentinin azalmasına paralel olarak, güçte de düşüş meydana gelmiştir.

Özgül yakıt tüketimi, motorda kullanılan yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşürken, bu enerjinin ne kadarının krank milindeki güce dönüştürdüğünü gösteren değerdir. Şekil 6.3'de, benzinli çalışmada özgül yakıt tüketimi CNG ile olan çalışmaya göre özellikle düşük devirlerde, önemli ölçüde azalmıştır. Her iki yakıt türünde de özgül yakıt tüketimi artan devir sayısı ile birlikte bir minimum noktaya geldikten sonra tekrar artışa geçmiştir. Bu minimum nokta, 2000 1/min'de gerçekleşmiştir. Bu devirdeki özgül yakıt tüketimi değerleri, benzinli çalışmada 224 g/kWh, CNG ile çalışmada 447 g/kWh

olduğu görülmüştür. Minimum özgül yakıt tüketiminin elde edildiği devirden uzaklaştıkça, motorun doğalgazla çalışmasındaki ekonomisi benzinle olan çalışmasına oranla daha olumsuz etkilenmiştir.

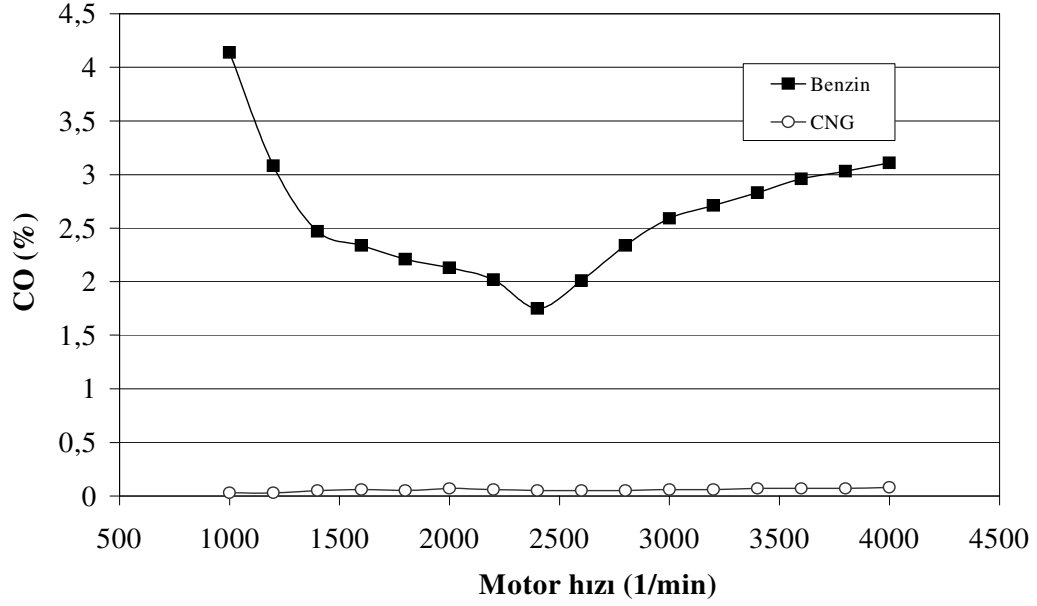


Şekil 6.3 CNG yakıtının özgül yakıt tüketimine etkisi.

## 6.2 EGZOZ EMİSYONLARI

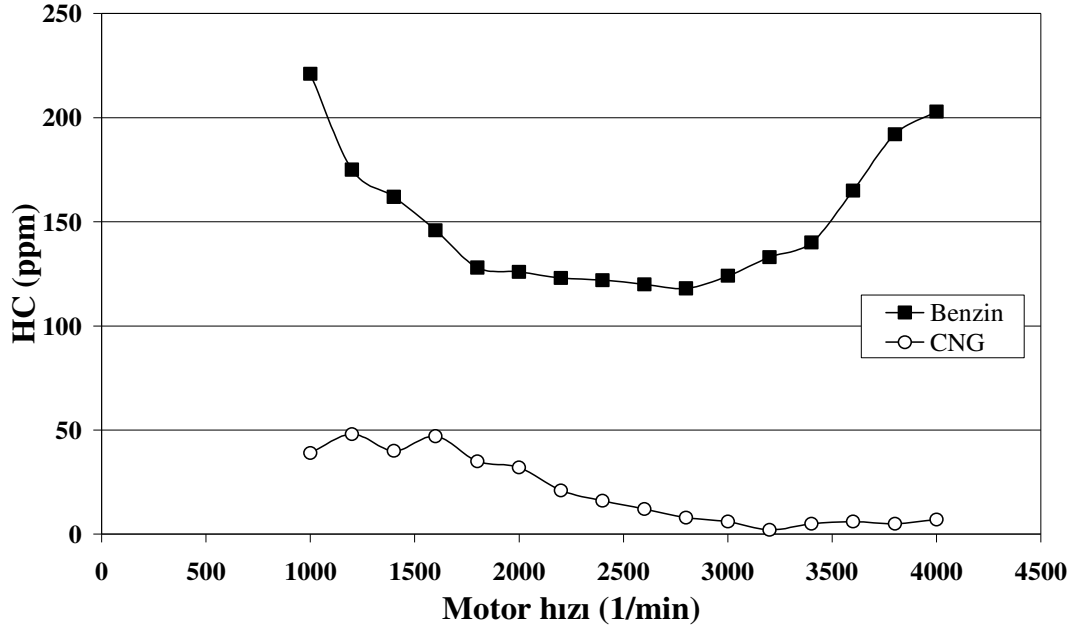
Egzoz emisyonları, karbonmonoksit, hidrokarbon, karbondioksit ve azotoksit olmak üzere dört grupta incelenmiştir. Şekil 6.4'te, benzinli çalışmada karbonmonoksitin (CO) artan devir sayısı ile düşüşe geçtiği görülmüştür. Fakat 2400 1/min'den sonra tekrar yükselmeye başlamıştır. CNG yakıtının gaz fazında olması yanmayı kolaylaştırdığı için CO emisyonunda azalma meydana gelmiştir. Yani doğalgazlı çalışmada CO emisyonunda oldukça fazla azalma görülmüştür.

Benzin ve CNG ile olan çalışmalarda CO emisyonunun minimum değerleri, benzinde %1,75 ve CNG'de ise %0,03 olduğu görülmektedir. CNG kullanılması sonucu yanma iyileşmiş ve CO emisyonunda %90-95'lik bir azalma sağlanmıştır.



Şekil 6.4 CNG yakıtının karbonmonoksit (CO) emisyonuna etkisi.

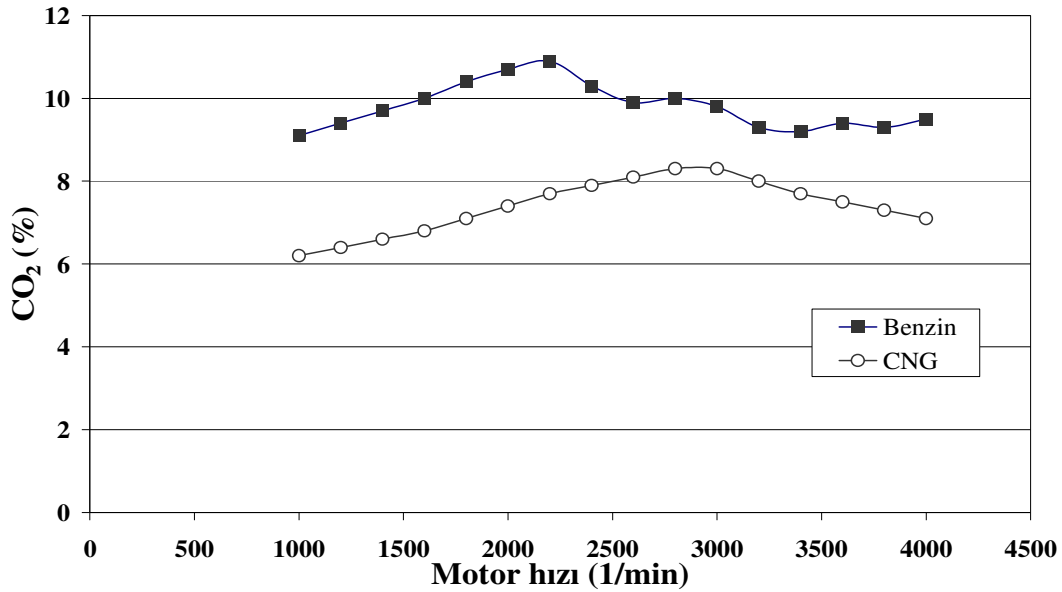
Hidrokarbon emisyonunu yanmadan çıkan yakıt atomları oluşturur. Şekil 6.5'te, CNG ile çalışmada HC emisyonunun benzine göre çok düşük olduğu görülmektedir. Karışımın homojen olmasından dolayı yanmanın iyileşmesi, HC emisyonunda azalmaya sebep olmuştur.



Şekil 6.5 CNG yakıtının hidrokarbon (HC) emisyonuna etkisi.

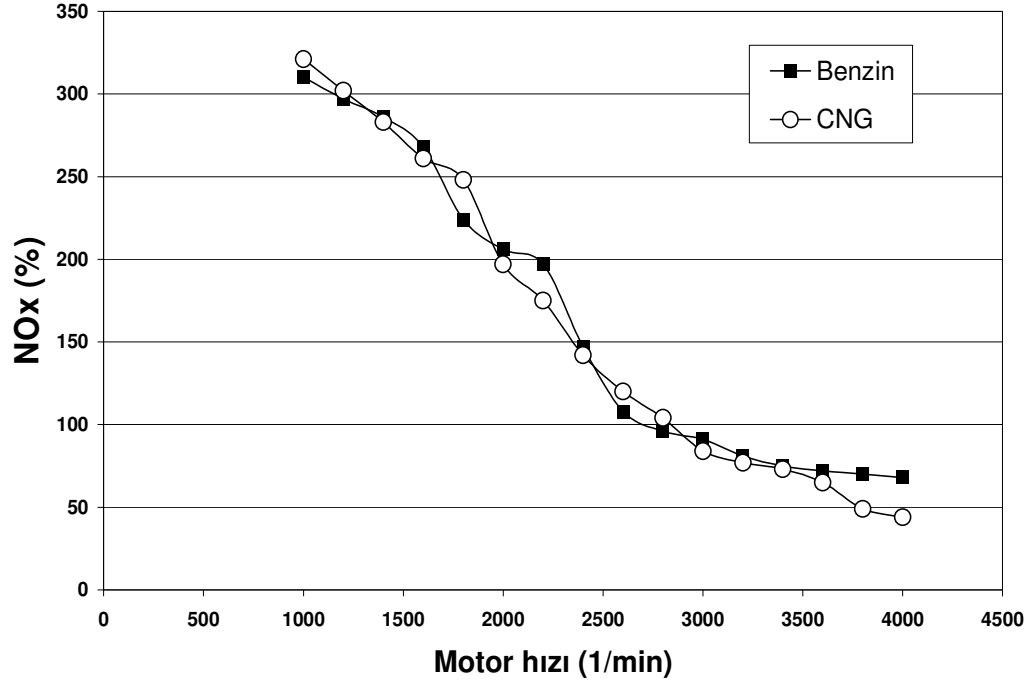
CNG ile çalışmada HC, devir artmasıyla birlikte, artan hava türbülansının yanma verimini iyileştirmesi sonucu azalma göstermektedir. HC emisyonunun minimum değerleri benzinli çalışmada 2800 1/min'de 118ppm, CNG'li çalışmada 3200 1/min'de 2ppm olduğu görülmektedir. CNG'nin HC emisyon değeri, benzine göre çok düşük olmakla beraber 3000 1/min'den sonra sıfır HC emisyonuna yaklaştı ve ortalama %90-98'lik bir azalma göstermektedir, Şekil 6.5.

Şekil 6.6'da, CO<sub>2</sub> emisyonu, CNG ile olan çalışmada benzinli çalışmaya göre %20-25'lik bir azalma göstermektedir. CNG yakıtında karbon (C) atomunun sayısı benzine göre daha düşük olduğundan, CNG ile çalışmada CO<sub>2</sub> emisyonu daha düşük olmaktadır. Benzinli çalışmada 2200 1/min'den sonra CO emisyonundaki artmaya bağlı olarak (Şekil 6.4) CO<sub>2</sub> emisyonu da azalmıştır. CNG ile çalışmalarda da 3000 1/min'den sonra CO<sub>2</sub> emisyonunda yine azalma meydana gelmiştir.



Şekil 6.6 CNG yakıtının karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonuna etkisi.

Şekil 6.7'de NO<sub>x</sub> emisyonu, CNG ve benzinli çalışmada çok bir fark göstermemektedir. Yani NO<sub>x</sub> emisyonu doğalgaz kullanımında düşmemiş, bazı noktalarda benzinli çalışmadan daha yüksek olduğu ölçülmüştür.



Şekil 6.7 CNG yakıtının azotoksit ( $\text{NO}_x$ ) emisyonuna etkisi.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt olarak sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Motor momentinde ve gücünde CNG ile çalışmada %10'luk bir azalma tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi CNG ile çalışmada, benzinli çalışmaya göre %40-60 artmıştır. Bu azalma yakıt-hava karışımı gaz fazında alındığından sıcaklıktan etkilenecek volümetrik verimin azalması ve düşük devirlerde silindire giren hava hızının düşük olması motor momentinde ve ona bağlı olarak güçte bir azalma meydana getirmiştir.

CNG'li çalışmada, benzinli çalışmaya göre karbonmonoksit (CO) değerlerinde %90-95'lik bir azalma tespit edilmiştir. CNG yakıtının hava ile iyi karışması ve daha iyi yanması sonucu CO emisyonu benzinli çalışmaya göre oldukça düşük olmaktadır.

Benzinli çalışmaya göre CNG'nin daha homojen bir karışım oluşturması sebebiyle HC emisyonunda ortalama %95-98'lik bir azalma görülmüştür. Özellikle motor devri arttıkça CNG ile çalışmada azalma, benzinli çalışmada ise tam aksine artış göstermektedir.

CNG'li çalışmada CO<sub>2</sub> emisyonu benzinli çalışmaya göre daha düşük çıkmıştır. Ayrıca, CNG yakıtının karbon (C) atomunun az olması bu düştü etkilidir. NO<sub>x</sub> emisyonu ise hem CNG hem benzinli çalışmada yüksek çıkmıştır. Yapılan araştırmalara göre üç yollu katalitik konvertörler kullanılarak NO<sub>x</sub> emisyonunda uygun seviyelere düşürülebilmektedir.

Günümüz taşıtlarında kullanılan CNG sistemleri çoğunlukla, motor üzerinde hiçbir yapısal değişiklik yapılmadan benzinli motor üzerine bazı ekipmanlar monte edilerek kullanılmaktadır. Yapısal parametreler değiştirilmeden hem benzin, hem de CNG ile çalıştırıldığında motor momenti, gücü ve özgül yakıt tüketiminde benzine göre bir kayıp

söz konusudur. CNG yakıtının benzine göre ucuz olmasından dolayı çoğu kullanıcılar tarafından bu kayıp göz ardı edilmektedir. Yapılan araştırmalara göre CNG yakıtı ile çalışan taşıt motorlarının sıkıştırma oranları, vurutuya neden olmayacak şekilde artırılmasıyla, motor momenti ve gücünde benzin yakıtlı çalışmaya göre daha fazla artış ve özgül yakıt tüketiminde azalma elde edilebilir.

Sabit tesislerde, güç kaynağı olarak yakıt tüketimi az olan dizel motorları kullanılmaktadır. Elektrik jeneratörü çalıştırma, kuyudan su çıkarma vb. değişik amaçlar için kullanılan bu motorların yerine, CNG sistemi uygulanmış buji ateşlemeli motor tercih edilirse yakıt tüketimi ve çevre kirliliği bakımından daha faydalı olabilir. Bu tesislerde motor sabit olduğundan CNG daha güvenli olarak kullanılabilir.

CNG ile çalışan motorların soğuk çalışmasını kolaylaştırabilen ve soğutma suyunu motor çalışmadan önce zamanlayıcı bir sistemle sıcak tutabilen sistemlerin geliştirilmesi egzoz emisyonu ve yakıt tüketimi bakımından yararlı olabilmektedir. Emisyon seviyesi düşük olan elektronik kontrollü yakıt sistemine sahip motorlu taşıtlarda CNG kullanımının yaygınlaştırılması ile çevre kirliliği daha da azaltılabilmektedir. Taşıtların çevre kirlenmesindeki büyük rolü dikkate alındığında, egzoz emisyonlarındaki küçük bir iyileşmenin çevre kirliliğinin azalmasında önemli katkıları olacağı unutulmamalıdır.

CNG kullanan taşıt sahipleri, emisyonlar ve motor verimi açısından belirli periyotlarla CNG sistemlerinin kontrolünü ve bakımını yaptırmayı ihmal etmemelidirler. Taşıtlarına CNG sistemi taktıracak olan taşıt sahipleri, güvenliği ön planda tutarak hareket etmeli ve taşıtlarına güvenilir ve ruhsatlı firmaların CNG sistemlerini taktırmalıdır.

Doğalgazın ülkemizde daha yaygın olarak kullanılabilmesi, sistemin avantajlarının taşıt sahiplerine tanıtılmasına, dönüşüm işlemlerinin teşvik edilmesine ve dolmuş istasyonlarının ülke genelinde yaygınlaştırılmasına bağlıdır. Daha temiz bir atmosfer için, CNG ve buna benzer alternatif yakıtların yaygınlaştırılması ve hükümetler tarafından desteklenmesi gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- Acaroğlu M** (2003) *Alternatif Enerji Kaynakları*, Atlas Yayınları: 26, Ankara, s. 224-227.
- Albay O A** (1993) Fakir Karışımı Benzin Motorlarında Hidrojen ve Doğalgazın Ek Yakıt Olarak Kullanılması, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alibaş K, Çolak S** (1992) Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Yanmalı Bir Motorda Kullanılabilme Olanğı, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 33: 391.
- Altaş M** (2003) Genel Enerji Planlaması İçerisinde Doğal Gaz, *Doğal Gaz Dergisi*, 31 s.
- Altın R** (1991) Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Doğal Gazın Kullanılması Üzerine Bir Araştırma, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aslam M U, Masjuki H H, Kalam M A, Abdesselam H, Mahlia T M I and Amalina M A** (2005) An Experimental Investigation of CNG as an Alternative Fuel for a Retrofitted Gasoline Vehicle, *Fuel*, 85: 717-724.
- Bayhan M** (1992) Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Doğalgazın Kullanılmasıyla Egzoz Emisyonlarının Azaltılması, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 33: 394, 34-39.
- Berkem A R** (1984) *Fiziko Kimya*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 62, 3217: 419.
- Bora H Y** (2002) *LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, s.15-23.
- Boran S, Yeşil C ve Gülgeci İ** (1998) Buji Ateşlemeli Motorlarda LPG Kullanımı, Bitirme Tezi, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği, Karabük.
- URL 1** (2007) <http://www.creditvalley.com/canuki/advantag.htm> (24.07.2007).
- Cho H M and He B Q** (2005) Spark Ignition Natural Gas Engines, *Energy Conversion and Management*, 48: 608-618.
- Christopher S** (1989) Weaver Sierra Researg Inc., NGV-A Review of The State of The Art, *SAE*, Paper No: 982133.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Çetinkaya S** (2003) *LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, s. 45-67.
- Çolak S** (1991) Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Patlamalı (Otto) Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılma Olanının Araştırılması, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Ankara.
- Das L M, Gulati R and 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.
- Davies J G and Saulatisky M T** (1989) Natural Gas Fired Agricultural Tractis, Society of Automotive Engineering.
- Deluchi M A, Robert A J and Daniel S** (1988) Methanol vs. NGVs A Comparison of Resource Supply, Performance Emissions, Fuel Storage, Safety, Costs and Transitions, *SAE*, Paper No: 881656.
- Emen M** (2000) Benzin ve Motorin Yakıtlı Motorlarda LPG Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ergeneman M and Kutlar O A** (1998) *Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ergeneman M and Soruşbay C** (1990) Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı, *Doğalgaz Dergisi*, Sayı: Şubat, s. 17-22.
- Fleming R D and Wierzba A** (1985) Potential for Improving the Efficiency of Spark Ignition Engine for Natural Gas, *SAE*, Paper No: 852073.
- Fowler T D, Lander D and Broomhall D** (1991) Reduce NO<sub>x</sub> Emissions From Internal Combustion Engines Fuelled by Natural Gas, *Fuel*, 70: 499-502.
- Gandhidasan P, Ertaş A and Anderson E E** (1991) Review Of Metanol and CNG as Alternative for Transportation Fuels, *Journal of Energy Resources Technology*, 113:101-107.
- Goetz W A, Pethrick D and Topaloğlu T** (1988) Performance and Emissions of Propane, Natural Gas and Methanol Fueled Bus Engines, *SAE*, Paper No: 880494.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Gou M, Detuncq B, Guernier C and St.Germain P** (1990) Performance of a Single Cylinger Engine Fuelled by a Mixture of Natural Gas and Gasoline, *SAE*, Paper No: 900585.

**Göktan A G, Soruşbay C, Ergeneman M, Arslan E ve Özaktaş T** (1994) Doğalgaz Motorları ve Otobüslerde Doğalgaz Kullanımı, *Termodinamik Dergisi*, s. 54-57.

**Hatipoğlu** (1996) *İçten Yanmalı Motorlarda Doğal Gaz Kullanımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

**URL 2** (2007) [http://www.igdas.com.tr/index\\_tesisatci.asp?link=CNG](http://www.igdas.com.tr/index_tesisatci.asp?link=CNG) (10.05.2007).

**URL 3** (2007) [www.petrol.itu.edu.tr](http://www.petrol.itu.edu.tr) (16.04.2007).

**Jones A L and Evans R L** (1985) Comparision of Burning Rates in a Natural Gas Fueled Spark Ignition Engine, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Transactions of the ASME 107.

**Tekin M ve Çavuşoğlu Y** (1997) Bir Dizel Motorunun Doğalgazlıya Dönüşümü, *1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi*, Adana, s. 103-106.

**Karabektaş M** (1996) *Doğalgaz ile Çalışan İçten Yanmalı Motorların Enerji Ekonomisi ve Egzoz Emisyonları Yönünden İncelenmesi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.

**Karim G A ve Wierzba I** (1983) Comparative Studies of Methane and Propane as Fuels for Spark Ignition and Compression Ignition Engines, *SAE*, Paper No: 831196.

**Keskin A** (1997) Buji Ateşlemeli Bir Motorun Doğal Gazlıya Dönüşümünün Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Kütahya.

**Klimstra J** (1990) Performance of Lean Burn Natural Gas Fueled Engines on Specific Fuel Consumption, Power Capacity and Emissions, *SAE*, Paper No: 901495.

**Kroff P V** (1992) Doğalgaz Yeni Bir Motor Yakıtı mı?, *MAN Nutzfahrzeuge*.

**URL4** (2007) <http://lngtrucks.westport.com> (16.05.2007).

**Lovato Autogaz** (2003) *CNG Dönüşüm Sistemleri El Kitabı*, İstanbul.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Meyer R C, Meyers D P, King S R and Liss W E** (1992) Effects of Spark Plug Number Location in Natural Gas Engines, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 114: 475-479.

**URL 5** (2007) <http://www.ngvc.org> (15.02.2007).

**Oconnor L** (1993) Cleomy thr Air With Natural Gas Engine, *Mechanical Engineering*, pp: 52-56.

**Onurbaş A** (1990) Tarımda kullanılan sabit patlamalı motorlarda çeşitli gaz yakıtların kullanılmasını sağlayacak karıştırıcının geliştirilmesi, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Öncül N** (1990) Geleceğin Yakıtları, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Sayı: Temmuz, s. 6-7.

**Özaktaş T** (1988) Benzin ve Doğalgaz motorunun Çevrim Analizinin Matematiksel Model ile Karşılaştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Pancar F** (1994) *Dizel Motorların Doğalgaz Motorlarına Dönüştürülmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

**Prevazi G** (2003) *LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, s. 27-34.

**Rele R R J and Seppen J J** (1990) Analysis of the Performance and Exhaust Gas Emissions of Four HD Gaseous Fuelled Engines, Using Engine Test Data and Computer Simulation, *SAE*, Paper No: 901494.

**Roethlisberger R P and Favrat D** (2002) Comparison Between Direct and Indirect (Prechamber) Spark Ignition in the case of a Cogeneration Natural Gas Engine, *Applied Thermal Engineering*, 22: 1217-1229.

**Roethlisberger R P and Favrat D** (2003) Investigation of the Prechamber Geometrical Configuration of a Natural Gas spark Ignition Engine for Cogeneration: Part I. Numerical Simulation, *International Journal of Thermal Sciences*, 42: 223-237.

**Ronney P D, Shoda M and Waida S T** (1991) Knock charecterictics of liquid and gaseous fuels in lean mixtures, *SAE*, Paper No: 912311.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Schiffgens H J, Endres H, Wachertapp H and Schrey E** (1994) Concepts For The Adaptation of Spark Ignition Engines to Changing Methane Number, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 116: 733-739.
- Smith W J, Timoney ,Lync, D P** (1997) Emissions and Efficiency Comparison of Gasoline and LPG Fuels in a 1.4 litre Passenger Car Engine, *SAE*, Paper, 972970, 1-10.
- Sözbir N** (1991) Mevcut Dizel Motorlarının Doğalgaz Yakıtlı Motorlara Dönüştürülmesinin İncelenmesi, İstanbul.
- Tekiner K** (2007) CNG'de Hedefimiz Ürün, Hizmet ve Servis Kalitesi, *Gas Power Gazetesi*, s: 21.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası** (1999) *Araçlarda LPG Dönüşümü*, Mühendis El Kitabı, Ankara.
- URL 6** (2006) <http://www.delinetciler.net> Doğalgaz, (02.03.2007).
- Weaver S C** (1989) Natural Gas Vehicles a Review of the State of the Art, *SAE*, Paper No: 892133.
- Weide J V D, Seppen J J, Ling J A N van. and Dekker H J** (1988) Natural Gas in Heavy Duty Engines, NGV Sydney.
- Wu DY, Matthews R D** (1996) Part 3-off Cycle Emissions of Light Duty Vehicles Operating on CNG, LPG,Texas Project, Federal Faz 1 Reformulated Gasolineand Low Certification Gasoline, SAE, 1208, Warrandale PA, U.S.A.
- Yeşil M** (1992) 2000'li Yıllara Doğru Türkiye`de Enerji Sektörüne Bir Bakış, *Doğal Gaz Dergisi*, Sayı: 41.
- Yücesu H S** (1991) Doğalgazın benzin motorlarında kullanımı amaca uygun gaz karıştırıcının tasarım ve imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AYHAN 1977'de Karabük'ün Safranbolu ilçesinde doğdu. İlköğretimini Safranbolu'da, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 1995 yılında üniversite sınavlarına girerek Kocaeli Üniversitesi Köseköy MYO Otomotiv Bölümünü kazandı. 1997 yılında mezun olduktan sonra Karabük Renault Yetkili Servisinde servis müdürlüğü yaptı. Daha sonra askere gitti ve 2000 yılında şoför olarak tamamladı. 2001 yılında üniversite sınavına girdi. ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliğini kazandı. 2004 yılında buradan mezun olduktan sonra aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Bu tarihten itibaren fakültenin makine eğitimi bölümünde part-time öğretim görevlisi olarak ders verdi. ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv ABD olarak verilen LPG/CNG Sızdırmazlık Raporu verdi. Aynı zamanda Özel Özfidan Sürücü Kursunda usta öğretici olarak Motor ve Araç Tekniği Bilgisi dersine girdi. 2007 yılında TÜVTURK Taşıt Muayene İstasyonları Yapım ve İşletim A.Ş.'de istasyon amiri ve eğitim uzmanı olarak görevini sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Esentepe Mah. Eriklik Cad. No: 52 78600 Safranbolu/KARABÜK  
Tel : (505) 309 73 78  
E-posta : mehmetayhan78@hotmail.com