

**BİR DİZEL MOTORDA LPG KULLANILMASI VE FARKLI ÖZELLİKTEKİ PİLOT  
DİZEL YAKITININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONUNA ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**Abdül YİĞİT**

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

**KARABÜK  
Eylül 2008**

**KABUL:**

Abdül YİĞİT tarafından hazırlanan “BİR DİZEL MOTORDA LPG KULLANILMASI VE FARKLI ÖZELLİKTEKİ PİLOT DİZEL YAKITININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONUNA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 18/09/2008.

Başkan: Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

18 / 10 /2008

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.”*

**Abdül YİĞİT**



## **ÖZET**

**Bilim Uzmanlığı Tezi**

### **BİR DİZEL MOTORDA LPG KULLANILMASI VE FARKLI ÖZELLİKTEKİ PİLOT DİZEL YAKITININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONUNA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Abdül YİĞİT**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. Abdurrazzak AKTAŞ**

**Eylül 2008, 111 sayfa**

Araçlardan kaynaklanan emisyonların insan sağlığını tehdit etmeye devam etmesi ve petrol esaslı yakıtların tükeneceği endişesi, içten yanmalı motorlarda biyodizel, metil alkol, etil alkol, biyogaz, doğalgaz, hidrojen ve LPG gibi birçok alternatif yakıtın kullanılabilirliğini araştırma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunlardan LPG kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle otto motorlarında yaygın bir şekilde kullanılabilmesine rağmen dizel motorlarda pek kullanılmamaktadır. Ancak bol bulunması, ucuz olması, temiz yanması ve birçok gaz yakıtına göre daha kolay ve güvenli depolanabilmesi gibi özellikleri nedeniyle sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılabilirliğinin araştırılmasına ilgi duyulmaya başlanmıştır. Yapılan sınırlı sayıda araştırma LPG'nin tek başına dizel motorlarda kullanılmayacağı dizel yakıtı ile birlikte çift yakıt biçiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada sabit yükte değişik hızlarda iki çeşit pilot dizel yakıtı ve LPG'nin tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı bir dizel motor performans ve emisyonlarına

## **ÖZET (devam ediyor)**

etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi ile özgül yakıt tüketiminin, CO, NO<sub>x</sub> ve is emisyonunun azaldığı, HC emisyonunun ise bir miktar arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** LPG, Pilot Yakıt, Dizel, Emisyon, Performans, Çift Yakıt

**Bilim Kodu** : 626.10.01

## **ABSTRACT**

**Master Science Thesis**

### **THE USAGE OF LPG IN A DIESEL ENGINE AND THE OBSERVATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT KINDS OF PILOT DIESEL FUEL ON THE PERFORMANCE OF THE ENGINE AND EMISSION**

**Abdul YIGIT**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Abrurrazzak AKTAS**

**September 2008, 111 pages**

Because the car emissions continue to threaten human health and the concern of running out of petrol depended fuels lead us to need of making new observations on using new kinds of alternative fuels such as biodiesel, methyl alcohol, ethyl alcohol, biogas, natural gas, hydrogen and LPG on internal combustion engines. Due to LPG's high auto-ignition degree among these fuels, LPG commonly is used on Otto engines but is used rarely on diesel engines. However it is generous, cheap, burns without giving much poison to the atmosphere and relatively can be stored more easily and securely and these characteristics of LPG tend people to make more researches on its utilization on compression engines and ignition engines. A small number of studies showed that LPG fuel cannot be used on diesel motors solely but can be used with diesel fuel together as dual-fuel.

In this research, the effects of two kinds of pilot diesel fuels with fixed loads but with different speeds and LPG fuel on the performance and emission of a one cylinder, four-stroke, direct-fuel-injected, air-cooled diesel engine is investigated experimentally. After the evaluation of the outputs gained by the experiments illustrated that specific fuel consumption,

## **ABSTRACT (continued)**

carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) and smoke emission is decreased and HC emission is increased a little.

**Keywords** : LPG, Pilot Fuel, Diesel, Emission, Performance, Dual-Fuel.

**Science Code** :626.10.01



## **TEŐEKKÖR**

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini benden esirgemeyen, bilimsel bakış açımın gelişebilmesi için kıymetli zamanını ayıran ve tüm bilgilerini özverili bir şekilde sunan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ'a; görüşleriyle bana ışık tutan Otomotiv Anabilim Dalı hocalarıma; deneysel çalışmalarım süresince bana yol gösteren Araş. Gör. Oğuzhan DOğAN'a; deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında destek olan arkadaşlarım Özman ŐAHİN ve Mecit ARSLAN'a; öğrenim hayatım boyunca bütün imkânlarını sunan ve bugünlere gelmemde büyük payı olan aileme sonsuz teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3 DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR....	13
3.1 DİZEL MOTORLARINDA YANMA.....	13
3.1.1 Yanma Olayının Safhaları.....	13
3.1.1.1 Gecikme Periyodu .....	13
3.1.1.2 Hızlı Yanma .....	15
3.1.1.3 Kontrollü Yanma .....	16
3.2 DİZEL YAKITLARININ SINIFLANDIRILMASI .....	17
3.3 DİZEL YAKITININ ÖZELLİKLERİ.....	17
3.3.1 Tutuşma Kabiliyeti (Setan Sayısı).....	18
3.3.1.1 Setan Sayısının Belirlenme Yöntemleri.....	20
3.3.2 Viskozite .....	22
3.3.3 Isıl Değer.....	22
3.3.4 Akma Noktası.....	22
3.3.5 Uçuculuk .....	23

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.3.6 Alevlenme-Parlama Tehlikesi .....	23
3.3.7 Yanma ve Yanma Ürünleri .....	23
3.3.8 Yanma Atıkları Birikimi .....	23
3.4 DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR .....	24
3.4.1 Doğal Gaz.....	24
3.4.2 Biyogaz .....	26
3.4.2.1 Fotosentez Biyogaz Döngüsü .....	27
3.4.2.2 Biyogazın Kullanma Alanları.....	27
3.4.3 Biyodizel .....	28
3.4.4 LPG.....	30
BÖLÜM 4 İÇTEN YANMALI MOTORLARDA LPG KULLANIMI.....	31
4.1 LPG’NİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ .....	31
4.1.1 LPG Nedir? .....	31
4.1.2 LPG’nin Özellikleri .....	32
4.1.3 LPG Çeşitleri.....	36
4.1.3.1 Motorlu Araçlarda Kullanılanlar .....	36
4.1.3.2 Motorlu Araçlarda Kullanılmayanlar.....	37
4.1.4 LPG Yakıt Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	37
4.1.5 Dünyada ve Türkiye’de LPG Sektörü .....	38
4.1.5.1 Dünyada ve Türkiye’de LPG’nin Yakıt Olarak Kullanılması .....	38
4.1.5.2 Dünyada Oto Gaz Teşvikleri.....	40
4.1.5.3 Türkiye’de LPG Pazarı .....	41
4.2 YAKIT SİSTEMİNİN PARÇALARI VE ÇALIŞMASI .....	43
4.2.1 Gaz Dolu Ağız.....	43
4.2.2 Yüksek Basınç Boruları, Bağlantı Rekorları ve Sızdırmazlık Yüzükleri .....	44
4.2.3 LPG Tankı.....	45
4.2.4 Multivalf.....	46
4.2.5 Giriş Supabı ve Vanası.....	46
4.2.6 Çıkış Supabı ve Vanası .....	46

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2.7 Şamandıra.....	47
4.2.8 Gösterge .....	47
4.2.9 Havalandırma ve Hortumlar.....	48
4.2.10 Elektro Valfler ve Filtre .....	49
4.2.11 Buharlaştırıcı (Regülâtör).....	50
4.2.12 Yüksek Basınç Bölümü ve Parçaları .....	52
4.2.13 Alçak Basınç Bölümü ve Parçaları .....	52
4.2.14 Selonoid Valf.....	53
4.2.15 Radyatör Suyu Giriş-Çıkış Boruları .....	54
4.2.16 Temizlik Tapası .....	54
4.2.17 Rölanti Ayar Vanası.....	54
4.2.18 Alçak Basınç Borusu.....	55
4.2.19 Gaz Ayar Vanası.....	55
4.2.20 Karıştırıcı (Mikser) .....	56
4.2.21 Yakıt Seçme Anahtarı ve Elektrik Bağlantıları.....	56
4.2.22 LPG Yakıt Seçme Anahtarı.....	57
4.3 KARBÜRATÖRLÜ MOTORLARDA LPG YAKIT SİSTEMLERİNİN AYAR VE BAKIMI.....	58
4.3.1 Karbüratörlü Motorlarda LPG Yakıt Sisteminde Gaz Kaçak Kontrolü .....	58
4.3.2 LPG Yakıt Sisteminin Bakım ve Onarımı .....	60
4.3.3 İşlem Basamakları, Öneriler.....	61
4.3.4 Uygulama Faaliyeti.....	61
4.4 ÇİFT YAKITLI MOTORLAR .....	62
4.4.1 Doğalgazın Otto Motorlarında Kullanımı.....	64
4.4.2 Etanolün Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı.....	66
4.4.2.1 Yanma Performansı .....	68
4.4.2.2 Egzoz Emisyonu .....	69
4.4.2.3 Günümüzün Etanol Yakıtlı Taşıtları.....	69
BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	71

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	71
5.2 DENEY MATERYALİ .....	71
5.2.1 Deney Yeri ve Deney Tesisatı.....	71
5.2.2 Deney Motoru.....	72
5.2.3 Deneyleerde Kullanılan Yakıtlar.....	73
5.2.4 Motor Deney Seti ve Dinamometresi .....	74
5.2.5 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenneği.....	75
5.2.6 Kromometre .....	76
5.2.7 Load Cell.....	76
5.2.8 Egzoz Gaz Analizörü ve İs Emisyon Ölçüm Cihazı.....	77
5.2.9 LPG Tüpü ve Regülâtörü .....	78
5.2.10 Ölçekli Vana.....	79
5.2.11 Elektronik Tartı.....	79
5.2.12 Güvenlik Ekipmanları.....	80
5.3 DENEYLERİN YAPILIŞI .....	81
5.3.1 Motor Deneyleeri .....	81
5.4 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR.....	82
5.4.1 Motor Momenti Ve Gücü.....	82
5.4.1 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	83
BÖLÜM 6 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME .....	85
6.1 MOTOR PERFORMANSLARI .....	85
6.1.1 Motor Torku .....	85
6.1.2 Motor Gücü .....	87
6.1.3 Özgül Yakıt Tüketimi .....	89
6.1.4 Egzoz Gazı Sıcaklıkları.....	90
6.2 EGZOZ EMİSYONLARI .....	92
6.2.1 Karbon Monoksit Emisyonları.....	94
6.2.2 Karbondioksit Emisyonları .....	93
6.2.3 Hidrokarbon Emisyonları.....	95

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
6.2.4 Azot Oksit Emisyonları .....	97
6.2.5 İS Emisyonları.....	98
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	101
7.1 SONUÇLAR.....	101
7.2 ÖNERİLER.....	102
KAYNAKLAR .....	103
ÖZGEÇMİŞ .....	107
EK AÇIKLAMALAR A DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT	
ÇİZELGELER.....	109





## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı ve püskürtme seyri diyagramı .....	14
3.2	Fotosentez-Biyogaz döngüsü .....	24
4.1	Benzin, LPG ve Motorinin yıllara göre Milyon Ton değerindeki satışları.....	42
4.2	LPG/doğal gaz dolum ağzı ve kapağı.....	44
4.3	Bakır boru .....	44
4.4	Simit şeklinde LPG deposu.....	45
4.5	Silindirik LPG deposu .....	45
4.6	LPG multivalfi .....	46
4.7	Elektronik gösterge.....	48
4.8	Mekanik gösterge .....	48
4.9	Havalandırma kapağı.....	49
4.10	LPG için elektro valf .....	50
4.11	LPG regülâtörü (elektronik).....	51
4.12	LPG sistemlerinde kullanılan regülâtörler .....	51
4.13	Regülâtör içyapısı.....	52
4.14	Alçak basınç boruları ve gaz ayar vanası .....	52
4.15	Selonoid valf .....	53
4.16	Sıcak su borusu ve kelepçeleri .....	54
4.17	Alçak basınç borusu .....	55
4.18	Gaz ayar vanası .....	55
4.19	LPG/doğal gaz mikserleri .....	56
4.20	Yakıt seçme anahtarı ve elektrik bağlantıları.....	57
4.21	Benzin için elektro valf.....	58
4.22	Multivalf gaz kaçaklık kontrolü .....	59
4.23	Regülâtör gaz kaçaklık kontrolü .....	60
4.24	Gaz yakıt enjeksiyonu .....	64
4.27	Hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı verimin değişimi .....	66
5.1	Deney tesisatının genel görünümü .....	71

## ŞEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
5.2	Deney tesisatının şematik görünüşü.....	72
5.3	Deney motoru.....	72
5.4	Elektrikli dinamometre panosu.....	75
5.5	Elektrikli dinamometre.....	75
5.6	Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	76
5.7	Kronometre.....	76
5.8	Load cell ve indikatörün görünüşleri.....	77
5.9	Egzoz gaz analizörü.....	78
5.10	İs emisyon ölçüm cihazı ve göstergesi.....	78
5.11	LPG tüpü ve regülâtörü.....	79
5.12	Ölçekli vana.....	79
5.13	Elektronik tartı.....	80
5.14	Gaz kaçak tespit cihazı.....	80
5.15	Sulu güvenlik aparatı (a) ve alev geri tepme valfi (b).....	81
6.1	%20 GKK'da motor hızının motor torkuna etkisi.....	86
6.2	%25 GKK'da motor hızının motor torkuna etkisi.....	87
6.3	%20 GKK'da motor hızının motor gücüne etkisi.....	88
6.4	%25 GKK'da motor hızının motor gücüne etkisi.....	88
6.5	%20 GKK'da motor hızının özgül yakıt tüketimine etkisi.....	89
6.6	%25 GKK'da motor hızının özgül yakıt tüketimine etkisi.....	90
6.7	%20 GKK'da motor hızının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.....	91
6.8	%25 GKK'da motor hızının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.....	91
6.9	%20 GKK'da motor hızının CO emisyonuna etkisi.....	93
6.10	%25 GKK'da motor hızının CO emisyonuna etkisi.....	93
6.11	%20 GKK'da motor hızının CO <sub>2</sub> emisyonuna etkisi.....	94
6.12	%25 GKK'da motor hızının CO <sub>2</sub> emisyonuna etkisi.....	94
6.13	%20 GKK'da motor hızının HC emisyonuna etkisi.....	96
6.14	%25 GKK'da motor hızının HC emisyonuna etkisi.....	96
6.15	%20 GKK'da motor hızının NO <sub>x</sub> emisyonuna etkisi.....	97
6.16	%25 GKK'da motor hızının NO <sub>x</sub> emisyonuna etkisi.....	98
6.17	%20 GKK'da motor hızının is emisyonuna etkisi.....	99

## ŞEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
6.18	%25 GKK'da motor hızının is emisyonuna etkisi .....	99



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler .....	17
3.2	DIN 51601'e göre dizel yakıtından (motorinden) istenen özellikler .....	18
3.3	CFR-Dizel motoruna ait bazı özellikler.....	20
3.4	Doğalgaz özellikleri .....	25
3.5	Biyogaz bileşimi.....	27
3.6	Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri.....	29
4.1	Propan ve bütanın fiziksel ve yanma karakteristikleri .....	32
4.2	Avrupa ülkelerindeki yaz ve kış aylarında LPG içerisindeki propan ve bütan oranları.....	33
4.3	Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	34
4.4	Bazı yakıtların ve LPG'nin alt ısı değerleri.....	34
4.5	Çeşitli motor yakıtlarının karşılaştırılması .....	35
4.6	Türkiye'de LPG ve oto gazın üretim, tüketim ve ithalat rakamları .....	41
4.7	Milyon ton olarak LPG satışları.....	42
4.8	Etanolün dizel motorlarında kullanımı için geliştirilen metodlar .....	67
5.1	Deney motoruna ait teknik özellikler .....	73
5.2	Dizel yakıtlarının teknik özellikleri.....	73
5.3	LPG yakıtının teknik özellikleri.....	74
5.4	Egzoz gaz analizörünün ve is emisyon cihazının teknik özellikleri.....	77
Ek.1	%20 GKK'da D49,8+LPG ve D55,6+LPG çift yakıt çalışmalarına ait tork, güç, ÖYT, EGS, CO, CO <sub>2</sub> , HC, NO <sub>x</sub> ve is ölçüm sonuçları.....	110
Ek.2	%25 GKK'da D49,8+LPG ve D55,6+LPG çift yakıt çalışmalarına ait tork, güç, ÖYT, EGS, CO, CO <sub>2</sub> , HC, NO <sub>x</sub> ve is ölçüm sonuçları.....	111



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

B	: Yakıt tüketimi (kg/h)
$b_e$	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
C	: Karbon
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
DEE	: Dietil Eter
DME	: Dimetil Eter
$\epsilon$	: Sıkıştırma Oranı
F	: Baskı kuvveti (N)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )
HC	: Hidrokarbon
L	: Motor merkezinin Load-Cell'e uzaklığı (m)
$\lambda$	: Hava fazlalık katsayısı
$M_e$	: Etkin motor momenti (Nm)
n	: Motor hızı (d/d)
NO <sub>x</sub>	: Azot oksit
O <sub>2</sub>	: Oksijen
$P_e$	: Motor gücü (kW)
$r_p$	: Ön karışım oranı
S	: Kükürt

### KISALTMALAR

AÖN	: Alt Ölü Nokta
CNG	: Sıkıştırılmış Doğalgaz
DIN	: Alman Endüstri Normu
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı

## KISALTMALAR (devam ediyor)

GKA	:	Gaz Kolu Açıklığı
GKK	:	Gaz Kolu Konumu
HCCI-DI	:	Homojen Karışımli Sıkıştırma Ateşlemeli-Direkt Enjeksiyonlu
HFk	:	Hava Fazlalık Katsayısı
H/Y	:	Hava – Yakıt Oranı
KMA	:	Kam Mili Açıklığı
LNG	:	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
LPG	:	Likit Petrol Gazı
MON	:	Motor Oktan Sayısı
PB	:	Püskürtme Başlangıcı
PS	:	Püskürtme Sonu
RON	:	Araştırma Oktan Sayısı
Sİ	:	Setan İndeksi
TG	:	Tutuşma Gecikmesi
ÜÖN	:	Üst Ölü Nokta
Y/H	:	Yakıt – Hava Oranı



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde dünyada petrol kaynaklarının giderek azalmasından dolayı insanlar enerji ihtiyacı için alternatif yakıtlara yönelmektedir. Bilim adamları dünyada bulunan petrol rezervlerinin 2020 yılında daha da azalacağını diğer yandan doğal gaz rezervlerinin 2050 yılına kadar var olacağını öne sürmüşlerdir (URL-1 2008).

Teknolojinin giderek ilerlemesi ile alternatif yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımı son 10 yılda giderek artmıştır. Günümüzde alternatif yakıt olarak adlandırılan LPG ve doğal gaz, otomobil motorlarında ufak çaplı bir sistem değişikliği ile hemen kullanılabilir. Yakıt sisteminde yapılan değişiklik kendini kısa vadede amorti etmektedir. Otomobillerde kullanılan LPG ve doğal gaz dönüşüm sistemlerinin bakım ve onarımı, bezin ve motorin ile çalışan motorlardan daha kolay ve ucuz yapılabilir. LPG ve doğal gaz sisteminin diğer petrol ürünlerinden ucuz ve çevreyi daha az kirletmesinden dolayı uzun yıllar insanlar tarafından kullanılmaya devam edecektir (URL-1 2008).

Milyonlarca taşıttan kükürt dioksit, kurşun gibi tehlikeli maddelerin de atmosfere yayıldığı düşünülürse çevreye verilen zararın boyutu da kolaylıkla anlaşılabilir. Bu nedenle motorlu taşıt egzoz gazlarından kaynaklanan hava kirliliği, kalıcı önlemleri gerektiren acil çevre sorunu haline gelmiştir. Ayrıca dünya üzerindeki petrol yakıtların belirli bölgelerde toplanması ve izlenen politikalar zaman zaman petrol krizlerini ortaya çıkarmıştır. Bulunacak alternatif yakıtın mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik gerektirmeden doğrudan kullanılması önem taşımaktadır (URL-2 2007).

Kükürt dioksit, kurşun, kurum gibi artıklarda yine motorlu taşıtların etrafa yaydığı zararlı maddelerdendir. Özellikle dizel motorları kükürt dioksit ve kurumun en başta gelen üreticisidir. Karbon monoksit gazı kapalı yerlerde insanları öldürebilmekte, azot bileşikleri ise tarım ürünlerine zarar vermekte ve binalarda aşınmalara yol açmaktadır. Motorlu taşıtların

havayı kirletmelerinin temel sebebi motorların yeterince verimli çalışamamalarındandır (URL-2 2007).

ABD, Japonya ve Avrupa ülkelerinde taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazları emisyonlarına ilişkin 1970'li yıllarda başlatılan yasal düzenlemeler nedeniyle, taşıtlardan kaynaklanan kirletici emisyonlarda önemli azalmalar sağlanmıştır. Benzin ve dizel motorlu araçlarda katalitik konvertörlerin kullanılmaya başlanmasıyla emisyon önlemleri öncesi yıllara oranla taşıt başına üretilen CO ve HC emisyonlarında ortalama %95 NOx emisyonlarında ise %85 oranına ulaşan azalmalar sağlanmıştır. Ancak araç sayısının giderek artması bu kazancın etkisini yok etmiştir (Krieckaert 1993).

Gerek otto gerekse dizel çevrimine göre çalışan motorlarda gaz yakıtların kullanımı motor ve yakıt özelliklerinin uyum göstermesiyle mümkündür. Gaz yakıtlardan biri olan LPG yüksek kaliteli bir enerji kaynağıdır ve ısınmada, endüstride, tarımda, el sanatları ile ilgili alanlarda olduğu kadar, otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılır.

LPG, benzine karşı uygun bir alternatiftir. R.O.N. (Araştırma Oktan Sayısı) ve M.O.N. (Motor Oktan Sayısı) değerleri bütan ve propanın benzine göre daha üstün bir vuru-önleme gücüne sahip olduğunu göstermektedir. LPG kullanan motorlara ilişkin testler göstermiştir ki, benzin kullanan motorlarla karşılaştırıldığında, propan ve bütanın eşdeğerlik katsayıları teorik eşdeğerlik katsayılarına göre %8 düşüren, %8'lik bir verimlilik artışı elde edilir. LPG çok yüksek vuru-önleme değerlerine sahiptir. Teknik açıdan özetlemek gerekirse, LPG;

- Daha az zararlı emisyon üretir,
- Gaz halinde kullanıldığından motor yağı ömrünü uzatır,
- Karbon birikimi olmadığından motorun ömrünü uzatır.

Trafikteki artış çevreyi ve enerji tüketimini giderek daha kötü biçimde etkilemektedir. Karbon ve azot monoksit, yanmamış hidrokarbon, kurşun, karbondioksit, kükürt dioksit, is partikülleri (dizelde) gibi emisyonların çevreye yayılmasından özellikle motorlu araçlar sorumludur.

Dizel motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar her ne kadar benzin motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlara göre düşükse de emisyon standartlarını karşılamaları için yaydıkları emisyonların daha da aşağı çekilmesi gerekmektedir. Bunun için son zamanlarda örneğin doğalgaz (CNG, LNG), LPG, DME (Dimetil Eter) ve hidrojen gibi alternatif yakıtlar kullanan dizel motorlar geliştirilmeye başlanmıştır.

Gaz yakıtların performans ve emisyonlar açısından kullanılabilirliği ile ilgili bazı araştırmalar yapılmıştır. Bunların çoğu doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanılabilirliği ile ilgilidir. Metan ve propanın yakıt olarak kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda pilot dizel yakıtın püskürtme zamanının ve miktarının performans ve emisyona etkisi araştırılmıştır (Abd Alla et al. 2008).

Yüksek yükte pilot dizel yakıtının arttırılması vurutuya sebep olurken düşük yükte pilot dizel yakıtının püskürtme zamanının öne alınmasının veya pilot dizel yakıt miktarının arttırılmasının verim ve emisyonu önemli miktarda iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Çift yakıtla çalışabilecek şekilde dönüştürölen normal emişli, tek silindirli Ricordo E6 motoru dizel, metan ya da LPG ile değişik çalışma koşullarında denenmiştir (Selim Muhammed 2004).

Ayrıca, LPG faydalı bir alternatif yakıt olarak dikkat çekmeye başlamıştır. Yapılan bir çalışmada LPG'ye uygun oranda DEE ilave edilmesiyle yüksek verim ve sifıra yakın NOx emisyonu ile çalışabileceği görölmüştür (Zhili 2001).

Direkt püskürtmeli bir dizel motorun performans, yanma ve emisyon karakteristiklerini çalışmak için ateşlemesini düzeltmek amacıyla DEE kullanarak esas yakıt olarak LPG kullanmayı başarmıştır ( Jothi et al. 2007).

Değişik LPG karışım oranının dizel motor performans ve emisyonuna etkisi araştırılmış ve yüksek bütan içeren yakıtın NOx emisyonunu düşürdüğü ve yüksek propan içeren yakıtın ise CO emisyonunu düşürdüğü tespit edilmiştir (Saleh 2008).

Daha önce de söz edildiği gibi LPG ve doğalgaz gibi yakıtlara ilgi artmaktadır. Ancak gaz yakıtla birlikte kullanılan dizel yakıtın yapısının etkisi ile ilgili literatüre rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, sıkıştırma ateşlemeli, tek silindirli, hava soğutmalı bir motor LPG (%30 propan + %70 bütan) ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtları ile çalıştırılarak, LPG ile çalışmanın motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Selim et al. (2008) Jojoba tohumundan türetilmiş pilot dizel yakıtı, esas yakıt olarak doğalgaz ya da LPG ile çalışan çift yakıtlı bir dizel motorun performansının iyileştirilmesi adlı çalışmada sıkıştırma oranı değiştirilebilen Ricardo E6 çift yakıtlı dizel motorunu kullanmıştır. Dizel yakıtını da karşılaştırma için referans yakıt olarak kullanmıştır. Deneysel çalışmada özgül yakıt tüketimine bağlı olarak motor verimini, motor fren gücünü ve maksimum basınç ve maksimum basınç artış oranına bağlı olarak motor gürültüsünü, emisyonları, vuruşu sınırı gibi ölçümleri yapmıştır. Testler, gaz yakıt tipi, motor hızı ve yükü, pilot yakıt püskürtme zamanı, pilot yakıt miktarı ve sıkıştırma oranına göre incelenmiştir. Sonuç olarak jojoba pilot yakıtıyla çift yakıtlı motorun performansının arttığı, gürültü emisyonunun azaldığı, yanma süresinin kısaldığı ve vuruşu limitinin genişlediğini tespit etmiştir.

Ramadhas et al. (2007) kauçuk tohumu yağı ve hindistancevizi lifi özü üretici gazı gibi yinelenabilir yakıtlarının dizel motorlarında çift yakıt biçiminde kullanıldığı çalışmalarında, gaz dönüştürücüsündeki biokütlenin kısmi yanması ile içten yanmalı motorlarda ilave veya tek yakıt olarak kullanılabilen üretici gazını oluşturmuşlardır. Hindistancevizi lifi özünden elde edilen üretici gazı ve pilot yakıt olarak kauçuk tohumu yağının kullanıldığı çift yakıt çalışmasını, farklı yük durumlarında değişik üretici gaz-hava akış oranları için analiz etmişlerdir. Deneylerde kullandıkları motoru, çift yakıt çalışmasında maksimum pilot yakıt tasarrufuna göre deneysel olarak en uygun hale getirmişlerdir. Farklı yük durumlarında, çift yakıt motorunun performans ve emisyon karakteristiklerini dizel motoruna göre kıyaslamışlardır. Bütün yük koşullarında, çift yakıtlı çalışmadaki özel enerji tüketiminin daha yüksek tarafta olduğunu bulmuşlardır. Saf dizel/yağ çalışması ile kıyaslandığında çift yakıtlı çalışma durumunda egzoz emisyonunun daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Yinelenabilir yakıtlı motor çalışmasının, motor performans karakteristikleri bakımından tümüyle aşağı derecede olduğu fakat sabit motor uygulamaları ve elektrik üretimi için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Duc et al. (2007) Tarım uygulamalarında kullanılan küçük bir endirekt enjeksiyonlu ön karışım odalı dizel motorunda biyogaz kullanıma yönelik deneysel araştırmalar yapmışlardır. Biyogaz, selülozlu biokütle materyallerinin anaerobik fermantasyonu yardımıyla üretilen, içten yanmalı motorlar için temiz bir yakıttır. Biyogaz, petrol krizi durumlarında, fosil yakıtların oldukça büyük bir miktarını karşılayabilecek, özellikle dizel motorlar için umut verici alternatif bir yakıt olarak görev yapabilir. Dizel motorlar kolaylıkla çift yakıtlı motorlara dönüştürülebilirler. Bu, kendiliğinden kaynaklanan yüksek tutuşma sıcaklığına sahip biyogaz gibi alternatif yakıtları değerlendirmek için en pratik ve verimli yoldur.

Qi et al. (2007) LPG-dizel karışımı ile çalışan sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun yanma ve egzoz emisyon karakteristikleri adlı çalışmalarında, saf dizel ve LPG-dizel karışımlarının (%10, %20, %30, %40) tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda değişik motor hızları ve yüklerine göre yanma ve emisyonlara etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak; karışım içersindeki LPG oranının artmasıyla maksimum silindir basıncının düştüğünü, tutuşma gecikmesinin arttığını, NO<sub>x</sub> ve is emisyonunun azaldığını, diğer yandan düşük yüklerde CO emisyonunun arttığını ancak tam yükte CO emisyonunun önemli miktarda düştüğünü, HC emisyonunun arttığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla LPG'nin hem NO<sub>x</sub> emisyonunu hem de is emisyonunu kontrol altına almak için dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Junjun Ma et al. (2007) Çift yakıtlı HCCI-DI (homojen karışımlı sıkıştırma ateşlemeli-direkt enjeksiyonlu) bir dizel motorda manifolda püskürtülen n-heptanın yanma ve emisyonlar üzerine etkilerinin incelendiği deneysel çalışmada; test motoru, sabit bir hızda tutulurken, direkt püskürtmeli dizel yakıtına ek olarak ön karışımlı n-heptanın nicelikleri ayarlanarak yük koşullarının geniş bir aralığında farklı ön karışım oranları elde edilmiştir. Ön karışım oranı ( $r_p$ ) ve direkt enjeksiyon zamanlamasının HCCI-DI yanma karakteristikleri ve emisyonlar üzerine etkileri araştırılmıştır. HCCI yanmasının özelliklerini geliştirmek için, klasik dizel ve HCCI motor performansları sonuçlarıyla karşılaştırılarak ortaya konulmuştur. Üstelik, birleştirilmiş yanma süreci analizine özel vurgu yapılmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonlarının kısmi ön karışırmayla dramatik olarak azaldığı bulunmuş ve ön karışım oranı, 0,3 ten düşük olduğu zaman ön karışım oranına bağlı olarak alçalan bir eğilim sergilemiştir; ama ön karışım oranı daha yüksek olduğunda, artmak için büyük bir eğilim göstermiştir.

Papagiannakis et al. (2007) pilot yakıt miktarının püskürtme zamanının çift yakıtlı bir dizel motorunun performans ve emisyonu üzerine etkilerinin kuramsal çalışması adlı deneysel çalışmalarında, geleneksel dizel motorların yanma prosesinin iyileştirilmesi ve egzoz emisyonlarının düşürülmesi için motor üzerinde ciddi değişiklikler yapılmaksızın klasik dizel yakıtına ilave olarak doğal gazın kullanıldığı çift yakıtlı doğal gaz dizel motorları olarak adlandırılan değişik çözümler teklif etmişlerdir. Bunların en genel olanı pilot ateşlemeli doğal gaz dizel motoru olarak bilinmektedir. Burada, ilk yakıt olarak doğal gaz kullanılırken, pilot dizel yakıtı sıkıştırma zamanının sonuna doğru püskürtülerek gaz yakıt karışımının yanması için etrafta bir ısı kaynağı oluşturması için kullanılmaktadır. Önceki araştırma çalışmaları, çift yakıt yanmasının asıl dezavantajının motor verimliliği üzerindeki olumsuz etkisi ve normal dizel çalışmasına göre artan karbon monoksit emisyonları olduğunu göstermiştir. Pilot yakıt miktarı ve püskürtme avansı yanma mekanizmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Sonra, performans ve emisyonlar üzerindeki bu iki parametrenin etkisini sınamak için laboratuvar koşullarında yüksek hızlı, pilot ateşlemeli bir doğal gaz dizel motoru üzerinde kapsamlı çift bölge fenomenolojik bir model üzerinde çalışmış ve uygulama yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre, eş zamanlı olarak pilot yakıt miktarının ve enjeksiyon zamanının artışının sonuçlarından biri motor veriminin artması CO emisyonlarının düşmesi ve negatif olarak NO emisyonlarının artmasıdır.

Nwafor (2006) doğalgaz ile çalışan dizel motorunda gelişmiş enjeksiyon zamanlamasının emisyon karakteristikleri üzerine olan etkisini araştırmıştır. Petter model AC1 tek silindirik, hava soğutmalı, direkt püskürtmesiz, yüksek hızlı, dört zamanlı dizel motorunda test sonuçları, alternatif yakıtların gecikme karakteristiklerinin motor yükü ve hızından etkilendiğini göstermiştir. Gelişmiş enjeksiyon zamanlaması, her alternatif yakıtın kendi gecikme periyoduna ayrılması gerektiğini göstermiştir. Gelişmiş enjeksiyon zamanlamasının yakıt tüketiminde ufak bir artışa eğilimi olduğu bulunmuştur. Gelişmiş zamanlamayla karbondioksit emisyonlarında önemli bir azalma olmuştur. Standart zamanlamaya oranla gelişmiş zamanlama ünitesi ile egzozdaki CO konsantrasyonları çok düşmüştür. Çift yakıt sistemlerindeki HC emisyonları yüklenme koşulları boyunca yüksek olmuştur. Gelişmiş enjeksiyon zamanlaması, çift yakıtlı standart ünite üzerindeki HC emisyonlarında marjinal bir gelişme göstermiştir. Motor, standart zamanlamaya göre 3.5° ilerlemeyle, çift yakıtla hafif yük koşullarında düzgünce çalışmıştır.

Carlucci et al. (2006) direkt enjeksiyonlu çift yakıt bir dizel-doğal gaz motorunun deneysel araştırması ve yanma analizi adlı çalışmalarında, tek silindirli bir dizel motorunu, CNG-hava karışımını ateşlemek için kullanılan bir pilot dizel yakıt enjeksiyonu ile beraber doğall gaz ile çalışan çift yakıtlı bir motor haline dönüştürmüşlerdir. CNG, bu uygulama için bilerek tasarladıkları bir gaz enjektörü yoluyla emme manifolduna CNG püskürtmüşlerdir. Akış katsayısı, ani kütle akış oranı, elektrik sinyali ve enjektör açılışı arasındaki gecikme zamanı gibi gaz enjektörünün ana performansını, enjektörü optik bir sabit-hacim kabında test ederek tanımlamışlardır. CNG fiskiyesini dahi, gölge grafiğı tekniğı yoluyla tanımlamışlardır. Farklı motor yükü ve hızlarına bağılı olarak geniş bir çalışma koşulları aralığında motoru çift yakıtlı çalıştırarak test etmişlerdir. Bütün test edilen çalışma koşulları için, CNG ve dizel yakıt enjeksiyon basıncının etkisi, pilot enjeksiyon esnasında püskürtülen yakıt miktarı ile beraber, motor performansında ve özel emisyon düzeyleri ve yakıt tüketimi bakımından yanma gelişimi üzerine inceleme yapmışlardır.

Aydın (2006), Sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sisteminin deneysel olarak incelenmesi adlı yüksek lisans tez çalışmasında, içten yanmalı motorlarda kullanılan 4. kuşak LPG sisteminin çalışma şartlarını tespit etmeye çalışmıştır. LPG sistemlerinin geldiğı son noktadaki 4. kuşak sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sistemini inceleyerek, sistemi tanıtmıştır. 1., 2. ve 3. kuşak LPG sistemlerinin problemlerine değinmiş ve 4. kuşak sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sisteminde bu problemlerin olmadığını belirlemiştir.

Üzerinde 4. kuşak LOVATO marka sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sistemli cihaz monte edilmiş, çok noktadan enjeksiyon sistemli 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS marka otomobil üzerinde deneyler yapmıştır. Aracı LPG ve kurşunsuz benzine çalıştırarak emisyon ve güç değerlerini tespit etmiştir.

Sonuç olarak, 4. kuşak sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sisteminde eski sistemlerde görülen performans düşüklüğünün olmadığını tespit etmiştir. LPG'nin kurşunsuz benzine göre en za %40 ekonomik olması, LPG'nin ısı değerin ve yanma hızının kurşunsuz benzine yakın olması nedeniyle, 4. kuşak sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sistemlerinin benzin sistemine sahip araçlarda kullanılabileceğı tavsiyesinde bulunmuştur.

Jothi et al. (2005) tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda tutuşturucu yakıt olarak dietil eter (DEE) ve esas yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol



gazı (LPG) kullanılmasının yanma, performans ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. LPG karıştırıcı yardımıyla emme manifolduna gaz olarak verilmiş ve ateşlemeyi arttırıcı DEE de sıvı fazda karıştırıcının önüne damlatılmıştır. Değişik yüklerde (yüksüzden tam yüke kadar) ve değişik yakıt oranlarında (LPG oranı %62-%72) çalışma gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda tam yükte dizel yakıtı göre termik verimin yaklaşık olarak %23 kadar düştüğünü ve azot oksit (NO) emisyonunun ise %65 azaldığını tespit etmişler. Dizel yakıtı göre duman koyuluğunda maksimum azalmanın yaklaşık %85 ve partikül madde emisyonunda yaklaşık %89 olduğunu, ancak CO ve HC emisyonunun bir miktar arttığını belirtmişlerdir.

Solmaz (2005), LPG dönüşümü yapılmış bir motorun soğukta ilk hareketini kolaylaştırıcı sistemin tasarımı ve imalatı adlı yüksek lisans tez çalışmasında, LPG dönüşümü yapılmış bir motorun soğukta ilk hareketini kolaylaştırıcı sistemin tasarımı ve imalatını yapmıştır. Deneylerinde LPG'yi yakıt olarak kullanan taşıtların soğukta ilk hareketini kolaylaştırmak için geliştirilen ısıtma sisteminin performansını araştırmış ve LPG sisteminde dolaşan motor soğutma suyu ve LPG'nin sıcaklıklarındaki değişimleri izlemiş ve değerlendirmiştir. Bu amaçla, 4 silindirli su soğutmalı bir benzinli motoru LPG yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye etmiştir. Çalışmasında farklı çevre sıcaklıklarında ve ısıtma sistemi devrede / devrede değil iken olmak üzere çeşitli deneyler yapmıştır.

Elde ettiği sonuçlara göre, tasarladığı ısıtma sistemi devrede değil iken 0°C'nin altındaki çevre sıcaklıklarında motorun LPG ile ilk harekete geçmediğini tespit etmiştir. Fakat ısıtma sistemi devrede olduğunda, sıcaklık kontrol cihazının ayarı 50°C'ye ayarla olduğunda ve çevre sıcaklığı -10°C olduğu durumda motorun 5 saniyelik süre sonunda ilk harekete geçtiğini gözlemlemiştir.

Selim (2004) motor parametreleri ve gaz yakıt tipinin çift yakıtlı motorların çevrim değişkenliği üzerine etkisi adlı deneysel çalışmasında, yanma basıncı bilgisini gösterebilen, tek silindirli, doğal emişli, 4 zamanlı Ricardo E6 motorunu dizel ve LPG gaz yakıtı veya metan ile çalışabilen çift yakıtlı bir dizel motoruna dönüştürmüş ve çevrim-çevrim yanma değişkenliğinin analizi yapmıştır. Bir piezo-elektrik basınç sensörü ile şarj yükselteci ve üzerinde hızlı veri kazanç kartı bulunan bir IBM mikrobilgisayarından oluşan bir ölçme düzeneğini, motor çalışma ve tasarım parametreleri, çeşitli silindir içi bileşimleri ve ardışık yanma çevrimlerinden oluşan 1200'den fazla verinin bir araya getirilmesi için kullanmıştır. Bu parametreler gaz yakıt çeşidi, motor yükü, sıkıştırma oranı, pilot yakıt enjeksiyon zamanı,

pilot yakıt kütlesi ve motor hızını kapsamaktadır. Her çalışma koşulu verisini, maksimum basınç, maksimum basınç artış oranı, yanma gürültüsü oluşumu ve görülen basit efektif basınç için analiz etmiştir. Çevrim-çevrim değişme miktarını, basit anlamda standart sapma ve bu parametrelerin değişim katsayısı olarak ifade etmiştir. Gaz yakıt tipi ve motor çalışma ve tasarım parametrelerinin yanma gürültüsü ve çevrimsel değişme miktarı ve bunların etkilerine tesir ettiğini ortaya koymuştur.

Selim et al. (2004) Gaz yakıt karışımları için çift yakıtlı motorun yanma ve vuruşu sınırlarına duyarlılığı adlı çalışmalarında ikinci yakıt olarak metan, LPG ve CNG kullanmışlardır. Ricardo E6 dizel motorunu çift yakıtlı dizel motoruna dönüştürmüşlerdir. Silindir basıncı, krank açısı ve motor çalışma parametreleri bilgisayara kaydedilir hale getirilmiştir. Motor hızının, yükünün, pilot yakıt püskürtme açısının, pilot yakıt miktarının ve sıkıştırma oranının yanma gürültüsü, vuruşu, termik verim ve maksimum basınç üstündeki etkisi çift yakıtlı dizel motorda üç gaz yakıt için ayrı ayrı incelenmiştir. Yanma gürültüsünün, vuruşu ve ateşleme sınırlılıklarının gaz çeşitleri, motor tasarımı ve çalışma parametreleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Chen et al. (2001), LPG yakıtlı, homojen ön karışım şarjlı sıkıştırma ateşlemeli motor üzerine yaptıkları çalışmalarında, sıkıştırma ateşlemeli bir motorda homojen LPG karışımı kullanmışlardır. Tutuşurma ve yanmayı kontrol etmek için küçük bir miktar DME (Di metil eter) LPG ile karıştırmışlardır. Yanma, motor performansı ve egzoz karakteristikleri üzerindeki deneysel ve analitik çalışmaları, CI (sıkıştırma ateşlemeli) motorlardaki LPG uygulamasını olasılıkları ve problemlerini araştırmak için gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda, uygun bir miktarda DME eklendiğinde motorun yüksek bir verimlilikle geniş bir yük aralığında çalıştırılabileceğini ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının sıfıra yakın bir düzeye azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Çarman vd. (2001) dizel motorlarında dizel yakıtı + lpg kullanımının performans ve emisyon etkisi adlı deneysel çalışmalarında, dizel yakıtı ve ağırlıklı olarak %30 LPG ve %70 dizel yakıtının, performans ve emisyon parametrelerine etkisi incelemişlerdir. Bu amaçla tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoru LPG+Dizel yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye etmişlerdir. Sonuçta çift yakıtlı çalışmada motor torku ve gücü %5,8 oranında arttığı, emisyonda ise NO<sub>x</sub>'te %5,9, is emisyonunda ise 1/9 oranında tek yakıtlı çalışmaya göre iyileşme olduğunu ortaya koymuşlardır.

Abd Alla et al. (1998) Esas yakıtın metan ya da propan ve pilot yakıtın dizel olduğu çift yakıtlı tek silindirli bölünmüş yanma odalı bir araştırma dizel motorunda (Ricardo E6) düşük yükte püskürtme avansının motor performansına etkisini araştırmışlardır. Gaz yakıt emme manifolduna gaz halinde dahil edilmiş, pilot dizel yakıtı da sıkıştırma zamanında bilinen yöntemle püskürtülmüştür. Deneysel araştırma sonucunda pilot dizel yakıtının avansının arttırılmasıyla hafif yüklerde termik verimin ve emisyonların iyileştirebildiğini tespit etmişlerdir.

Pirouzpanah et al. (1995), endüstriyel bir indirekt enjeksiyonlu dizel motorunun LPG ve dizel yakıtı yardımıyla çift yakıtlı hale getirilmesi adındaki deneysel çalışmalarında, geleneksel dizel yakıtı ile LPG yakıtının kısmi yer değiştirilmesi için indirekt enjeksiyonlu bir dizel motoruna, sözüme ona karışık dizel gazı yaklaşımını uygulamışlardır. Bu maksatla, karbüratörlü bir yakıt sistemini tasarlayarak motor emme manifoldu üzerine yerleştirmişlerdir. Hem saf dizel hem de dizel LPG motorlarında tam yük koşullarında geniş ölçüde performans testleri gerçekleştirmişlerdir. Motorların eşit güç ve orantılı hızlarında çift yakıt içersindeki LPG miktarının arttırılmasının özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve isi düşürdüğü, ancak yanmamış HC ve CO gibi kirleticileri, silindir tepe basıncı ve basınç artış oranını yükselttiğini tespit etmişlerdir.



## BÖLÜM 3

### DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR

#### 3.1 DİZEL MOTORLARINDA YANMA

Benzin ve dizel motorları, çevrimin termodinamiği bakımından birbirlerine son derece benzer olmakla birlikte yanma olayının geçirdiği safhalar ve olayın kontrolü bakımından çok önemli farklılıklar ortaya koyarlar.

Dizel motorlarında, hava, emme zamanı sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 12–20 arasında olduğundan sıkıştırma sonuna doğru silindirde gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. ÜÖN'dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar (Altın 1998).

##### 3.1.1 Yanma Olayının Safhaları

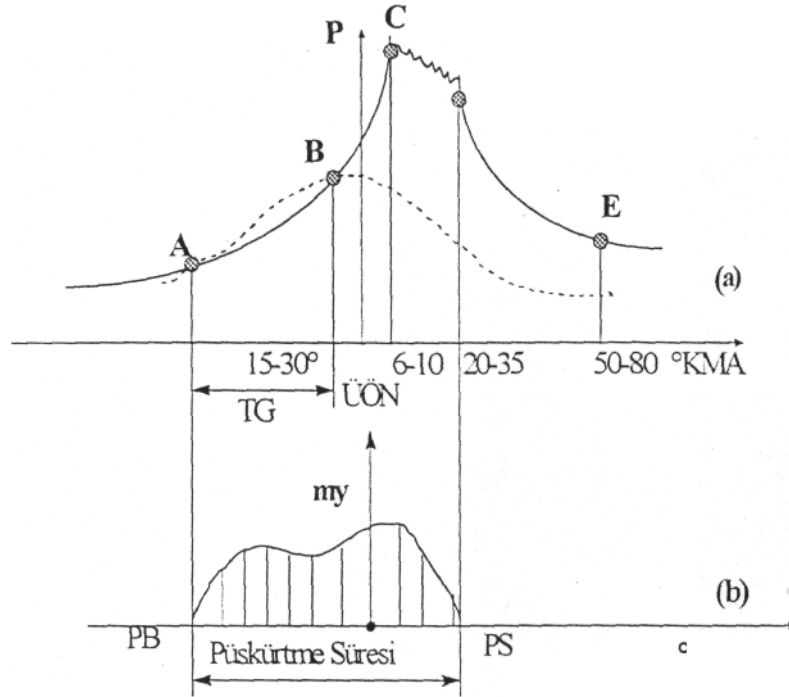
Dizel motorlarında yanma üç kısımda incelenebilir. Dizel motorlarındaki yanma ile ilgili indikatör diyagramları incelendiğinde maksimum basınç noktası yanma prosesinin ilk fazının bitim noktası olarak bilinir. Maksimum sıcaklık noktasında ikinci faz yavaş yanma fazının bittiği ve üçüncü faz, art yanmanın başladığı an kabul edilir (Safgönül vd. 1999).

##### 3.1.1.1 Gecikme Periyodu

Yanma odası içerisine yakıt enjeksiyonunun başlaması ile yanmanın başlangıcı arasındaki periyodu veya püskürtme başlangıcı ile tutuşma başlangıcına kadar geçen gecikme süresidir. Bu periyodun süresi yakıt ile havanın karışımına bağlıdır. Basınç, sıcaklık, yanma odasının biçimi ve yakıtın kalitesi bu periyodu etkileyen en önemli faktörlerdir. Basınç ve sıcaklığın yüksek olması, gecikme periyodunu kısaltır. Sıkıştırılan havanın içerisine yakıt püskürtüldüğü zaman hava ile karışır. Bunun sonucunda aşırı zengin karışım bölgesinde yanma başlar fakat

fakir bölgelerde yanma daha sonra başlar. Yüksek hava hareketi (türbülans) ve homojen karışım gecikme periyodu süresini azaltır. Bu aradaki sürenin uzaması içeriye daha fazla yakıtın girmesine sebep olur. İlk tutuşmanın ardından silindire dolmuş olan tüm yakıt kontrolsüz olarak (patlayarak) yanar. Tutuşma periyodu süresince silindire püskürtülen yakıt miktarının artması dizel vuruntusunun oluşmasına neden olur (İlkılıç 1999).

Şekil 3.1 (a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç-krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.1 (b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi A noktası ile ifade edilen püskürtme başlangıcından B noktası ile ifade edilen tutuşma noktasına kadar dikkate değer bir gecikme vardır. Bu tutuşma gecikmesi olarak belirtilir (Altın 1998).



Şekil 3.1 Bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı ve püskürtme seyri diyagramı (Borat vd. 1994).

Şekil 3.1.(a)'da tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler sırasıyla yakıt-hava karışımı ve sadece hava ile elde edilen basınç-krank açısı kayıtlarını ifade ederler. Sadece birinci durumda ateşleme olacağından iki eğri B noktasında birbirlerinden ayrılırlar. Tutuşma gecikmesi süresi daha önce de ifade edildiği gibi yakıtın buharlaşması (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu (kimyasal tutuşma gecikmesi)

safhalarından ibarettir. Söz konusu ön reaksiyonlar benzin motorlarındaki son gaz bölgesi reaksiyonları ile aynı özelliktedir (Borat vd. 1994).

Yukarıda belirtildiği gibi yakıt damlacıklarının buharlaşmasının belli bir süre aldığı kabul edilmektedir. Ancak damlacıkların etrafından püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasından başlamaktadır. Ondan sonraki buharlaşma ise TG'ni zaten etkilemez. Dolayısıyla buharlaşma olayının TG'ne katkısı çok fazla olmaz. Bununla birlikte tutuşma sonrası reaksiyon hızı buharlaşma hızı ile doğru orantılıdır. Keza buhar fazındaki yakıtın yanma hızı da buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Bu gözlemler dizel motorlarında yanmanın, buharlaşma tamamlanmadan önce başladığını gösterir (Altın 1998).

Tutuşma gecikmesi süresi uzun ise yakıt ile havanın karışması için daha çok zaman var demektir. Tutuşma gecikmesi süresince ki krank dönme açısına gecikme açısı denir. Bu açı krank açısal hızı ile tutuşma gecikmesi süresinin çarpımına eşittir. Yakıt pompası krank miline bağlı olduğundan tutuşmadan önce püskürtülen yakıt miktarı gecikme açısı ile orantılıdır (Borat vd. 1994).

Dizel motorları gibi yakıtın püskürtüldüğü motorlarda yakıt/hava oranı yanma olayının başlaması bakımından pek önemli değildir. Çünkü silindir içerisinde yakıt/hava oranı sıfır ile sonsuz arasında değişen birçok nokta vardır. Yanma olayı tutuşma için en uygun orana sahip nokta veya noktalardan başlar. Püskürtme karakteristiği veya atomizasyon derecesi de yakıt/hava oranındaki bu sonsuz değer değişimini etkilemez. Dolayısıyla bunların TG üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıt kalitesi, basınç ve özellikle sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık ve basınç TG süresini kısaltır. Yakıt jetinin duvarlara kadar ulaşması durumunda, eğer duvarlar çok sıcak ise TG süresi önemli ölçüde kısalır. TG süresince püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesini etkilemez (Borat vd. 1994).

### 3.1.1.2 Hızlı Yanma

Bu faz, ateşleme gecikmesi periyodu boyunca yanabilirlik sınırları içerisinde hava ile karışan yakıtın hızlı yanması ile oluşur. Bu süre zarfında silindir içerisinde basınç yükselmesi meydana gelir. Bu periyotta maksimum çevrim basıncı oluşmaktadır. Her tarafa yayılmış olan alevden dolayı yakıt kimyasal değişimlere uğrar (İlkılıç 1999).

Yanmanın bu ikinci safhasındaki basınç artışı şu faktörlerden etkilenir:

- Yakıtın atomizasyon derecesi; bu vasıtanın enjeksiyon sisteminin dizaynına bağlıdır.
- Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı; bu da, TG süresinin uzunluğuna bağlıdır.
- Tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışımının ne derece iyi olduğu. Karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve bir dereceye kadar silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren TG ve yüksek motor hızında karışım daha mükemmel olur.
- Tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı, bu süre zarfında fazla yakıt püskürtülürse bunun bir kısmı oksijenle birleşerek basınç yükselme hızının daha da artmasına sebep olur.

Yukarıdaki açıklamalardan basınç yükselme hızı ve süresinin tutuşma gecikmesi süresi ile mutlak ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Tutuşma öncesi yakıt ile hava karışımına daha az imkan vermek için TG süresi kısa, motor devri de hava hareketini azaltacak şekilde düşük tutulmalıdır (Altın 1998).

### 3.1.1.3 Kontrollü Yanma

Ateşleme gecikmesi boyunca karışan hava ile yakıt, birbirleri ile karışabilme oranı ile kontrol edilir. Kontrollü yanma, yanma başladıktan sonra son püskürtülen yakıtın yanmasının tamamlandığı zaman arasındaki geçen süredir. Hızlı yanmadan sonra 2000°C'nin üzerindeki bir sıcaklık ile yanan yakıt 6° krank açısına kadar devam eder ve bu sıradaki alev parlak olmayan bir karışım alevi şeklindedir. Egzoz supabının açılmasına kadar bu periyodun tamamlanması gerekir (İlkılıç 1999).



Verimin yüksek olabilmesi için yanmanın Ü.Ö.N.'ya mümkün mertebe yakın tamamlanması gerekir. Bu bakımdan üçüncü safhada oksijen/yanmamış yakıt oranının yüksek, karışımın çabuk ve mükemmel olması istenir. Yakıtın püskürtülmesi, tutuşmadan önce tamamlanmış bile olsa kötü bir püskürtme karakteristiği üçüncü safhadan yanmanın uzun sürmesine sebep olabilir. Düşük devirli dizelerde olduğu gibi püskürtmenin üçüncü safhaya da sarktığı durumlarda, karışım hızı yanı sıra püskürtme hızı da yanma olayını etkiler. Bu motorlar üçüncü safhada yakıt-hava karışımını çok etkili kılacak şekilde dizayn edilmelidir (İlkılıç 1999).

### 3.2 DİZEL YAKITININ SINIFLANDIRILMASI

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir.

No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.

No.2-D: Damıtık ve kriting ürünlerini ihtiva eden, No. 1-D' ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.

No.4-D: Damıtma ve kriting ürünlerinden ve bazı artıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır (Karakuş 2000). Yukarıdaki dizel yakıtı tiplerine ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge.3.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler (ASTM standardı).

Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan	40	40	40
Parlama Noktası °F	100	125	130
Viskozite	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütlesel	0,01	0,02	0,10
% Kükürt, Kütlesel	0,50	1,0	2,0

### 3.3 DİZEL YAKITININ ÖZELLİKLERİ

Düz yanma odalı bir dizel motorunda yanma süreci, yakıtların özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Dizel yakıtının çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Dizel motorlarında kullanılan yakıt özelliklerinin değerleri ile ilgili bilgiler

Çizelge 3.2'de verilmiştir (Karakuş 2000).

Çizelge 3.2 DIN 51601'e göre dizel yakıtından (motorinden) istenen özellikler.

1) Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
2) 15°C'de yoğunluk	0,820-0,860 g/ml	DIN 51757
3) Kaynama olayı hacimsel Olarak 360°C'e kadar en az	% 90	DIN 51752
4) 20°C'de viskozite 1,8-10 cst veya 1,1-1,85 Engler		DIN 51550
5) Parlama noktası Abel-Pensky'ye göre	55°C	DIN 51755
6) Filtrasyon (Hageman ve Hammerich'e göre) yazın	0°C, kışın -12°C	DIN 51770
7) Kükürt'ün maksimum kütleli yüzdesi	% 1,0	DIN 51768
8) Konradson'a göre koklaşma artığının Kütleli maksimum yüzdesi	% 0, 1	DIN 51551
9) Kütleli değişiklik olarak çinkoya Karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
10) Tutuşma kabiliyeti en küçük setan Sayısı olarak	40 SS	DIN 51773
11) Kül miktarı, kütleli yüzde olarak Maksimum	% 0,02	DIN 51575

Dizel yakıtları için uygun değerde olması istenen bazı performans özellikleri aşağıda verilmiştir.

### 3.3.1 Tutuşma Kabiliyeti (Setan Sayısı)

Dizel yakıtında en önemli özellik setan sayısıdır. Setan sayısı, dizel yakıtının yanma kalitesini gösteren ve benzindeki oktan sayısı gibi ölçülebilen bir sayıdır. Setan sayısı tayininde iki ayrı özellikte sıvı yakıt kullanılır (Setan ve Alfa-metil naftalin). Bunların muhtelif oranlarda

karışımıyla elde edilen yakıt, numune yakıtın vuruntusuna eşit vuruntu verdiğinde, bu durum o yakıtın setan %'desi olarak tespit edilir. Örneğin, % 45 setan ve % 55 alfa-metil naftalin karışımının standart deney motorundaki vuruntusu, setan sayısı belirlenecek dizel yakıtının vuruntusuna eşit ise bu yakıtın setan sayısı 45'dir (Karakuş, 2000).

Setan sayısının belirlenmesi, zor, pahalı ve zaman alan bir deney metodu gerektirdiğinden setan sayısı yerine bu değer hakkında bilgi verecek olan "Dizel İndeksi" kullanılır. Dizel indeksi formüller vasıtasıyla hesaplanabilir. Bunun için yakıtın anilin noktası ve API gravitesi gibi değerlerinin bilinmesi gerekir. Bunun dışında, setan sayısının belirlenmesi' yöntemi olarak nomograflar kullanılır.

$$\text{Dizel İndeksi} = \frac{\text{API Gravite}(60 \text{ } ^\circ\text{F da}) \times \text{Anilin noktası } (^\circ\text{F})}{100}$$

Nomograflar, API gravite ve yakıtın % 50'sinin destile olduğu ortalama kaynama noktasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Nomograflar normal destilasyon ürünü, termal ve katalitik kraking ünitelerinden alınan dizel yakıtları için iyi netice verirler. Şayet setan sayısını yükseltmek amacıyla yakıtta katık konmuşsa ve yakıtın içinde fuel oil, gazyağından daha uçucu maddeler, zift, hayvani ve nebati yağlar ve sentetik yakıtlar mevcutsa, yapılan dizel indeks tayini, deneyle bulunan setan sayısına tekabül etmez.

Normal dizel yakıtının setan sayısı 45 olmalıdır. Netice olarak yakıtın dizel indeksi yükseldikçe kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar. 45 ila 50 arasındaki setan sayısı ve dizel indeksi aşağı yukarı aynıdır. 45'in altında değerlerde dizel indeksi setan sayısından çok küçük, aksine 50'nin üstündeki değerler için ise çok az büyüktür. Normal dizel yakıtının dizel indeksi asgari 45 civarındadır (Karakuş 2000).

Bir dizel yakıtının ihtiva ettiği hidrokarbon cinsleriyle çok yakından ilgilidir. Parafinik hidrokarbonlar setan sayısını yükseltir. Naftenik hidrokarbonlar vasat setan sayısını temin eder. Olefinlerin setan sayısına etkisi kesin olarak belirlenememiştir. Aromatik hidrokarbonlar düşük setan sayısı temin ederler (Karakuş 2000).

### 3.3.1.1 Setan Sayısının Belirlenme Yöntemleri

Dizel yakıtlarının tutuşma kabiliyeti yakıt moleküllerinin yapısına ve içindeki bileşenlere kuvvetle bağlıdır. Dizel vuruntusunda, vuruşu temayülüne esas alınacak bağımsız değişken tutuşma gecikmesidir. Dolayısıyla tutuşma gecikmesini olumlu veya olumsuz yönde etkileyen bütün faktörler dizel vuruntusunda da etkili demektir.

Belirli tasarım ve çalışma şartlarındaki motorda TG azalırsa yanma hızı da azalır ve yanma sabit hacimden ziyade, sabit basınç yanma olayı görünümü arz eder. Dizel yakıtlarının vuruşu özellikleri tutuşma kabiliyetlerine bağlanmaktadır. Tutuşma kabiliyetlerini de TG değerleriyle tarif etmek mümkündür. Tutuşma gecikmesi süresinin belirlenmesi için iki tip metod kullanılmaktadır. 1) Kritik sıkıştırma oranı metodu, 2) Kritik emme basıncı metodu

- Kritik sıkıştırma oranı metodu: Bu metotta kullanılan CFR-Dizel motoruna ait bazı özellikler Çizelge 3.3'de belirtilmektedir (Karakuş 2000).

Çizelge 3.3 CFR-Dizel motoruna ait bazı özellikler (Karakuş 2000).

Firma	: Waukesha
Silindir Sayısı	: 1
Motor Devri	: 900 1/min
Soğutma Suyu Sıcaklığı	: 373 K
Emme Hava Sıcaklığı	: 339 K
Püskürtme Avansı	: 13° KMA
Tutuşma Gecikmesi	: önce ÜÖN: 13° KMA
Sıkıştırma Oranı	: Değişken

ASTM Designation D613-61T'ye göre CFR-Dizel motorun üç yakıt haznesinden birine araştırılacak yakıt konulup motor 900 1/min hızda elektrik motoruyla döndürülür. Sadece 3 saniye (~ 23 defa) süren püskürtme esnasında TG-Metre 13° KMA değerinde bir TG verecek

şekilde sıkıştırma oranı değiştirilir.  $PA = 13^\circ$  KMA olduğundan  $TG = 13^\circ$  KMA değerine geldiğinde basınç artışı tam Ü.Ö.N.'ya ayarlanmış olacaktır. Bu sıkıştırma oranı, söz konusu yakıtın kritik sıkıştırma oranıdır. Mesela n-heptan için kritik sıkıştırma oranı  $\varepsilon_k = 8,6$  ; i-oktan için  $\varepsilon_k = 17,4$  dür.

Referans yakıt adı verilen setan ( $C_{16}H_{34}$ , yani hegzadekan) ve heptametilnonan'ın ( $C_{16}H_{34}$ ) konulduğu diğer iki yakıt haznesinden motora bu defa hacimsel karışımları belirli olan referans yakıt sevk olunur. Aynı TG ve  $\varepsilon_k$  değerini veren referans yakıttaki setanın hacimsel yüzdesi ( $Y_S$ ) tespit edilir. İncelenen yakıtın setan sayısı (SS) ise;  
 $SS = Y_S + 0,15 (100 - Y_S)$  bağıntısı ile bulunur.

Burada setan 100 ve heptametilnonan'ın 15 birim setan sayısında olduğu kabul edilmektedir. Genellikle denenen yakıtın  $\varepsilon_k$  değeri bulunduktan sonra diyagramlardan  $\varepsilon_k$  ya tekabül eden SS değeri bulunabilmektedir. Hassas olarak SS tespiti için referans yakıtlar kullanılmaktadır. İncelenen yakıtın  $\varepsilon_k$  değeri, setan sayıları SS, ve SS; olan iki tip referans yakıtın sıkıştırma oranları arasına düşünce ( $\varepsilon_{k1} > \varepsilon_k > \varepsilon_{k2}$ ) interpolasyon yapılabilir. Ancak standartlarda  $SS_2 - SS_1, \leq 5$  birim için interpolasyona müsaade edilmektedir. Eskiden heptametilnonan yerine alfa metilnaftalin ( $C_{11}H_{10}$ , 1-metilnaftalin) kullanılıyordu ve bunun SS değeri sıfır (0) olduğundan, doğrudan doğruya referans yakıttaki setan yakıtının hacimsel yüzdesi, araştırılan yakıtın SS değeri olarak alınmaktaydı.

- Kritik emme basıncı metodu: Herhangi bir dizel motoru bu amaçla kullanılabilir.

Ancak bir silindirli olması tercih edilmektedir (DIN 51773).

Bu motorda püskürtme başlangıcını, yanma odasındaki basınç artışını ve krank açılarını kaydetmek gerekir. Bunun için indüktif verici, piezo-kuars verici, foto-verici ve osilograf kullanılabilir. Motor maksimum hızının yarısının üzerinde sabit hızda döndürülür. Kısmi yükte çalışırken püsküren yakıt miktarının sabit kalması daha önemlidir. Deneyde  $TG = 20^\circ$  KMA sabit değeri seçilir ve basınç yükselmesinin (tutuşmanın) tam ÜÖN' da olması hedef alınır (Karakuş, 2000).

Bu amaçla  $PA = 20^\circ$  KMA ayarlanmalıdır. Sonra motora denenecek yakıt sevk olunur ve emme ağzındaki bir kelebek ile hava kısılmaya başlanır. Bu işlem tutuşma başlangıcı ÜÖN' ya gelinceye kadar tekrarlanır. Bu kritik durumda emme manifoldundaki vakum değeri tespit

edilir. Aynı şartlarda 20° KMA TG veren referans yakıt yardımıyla SS önceki metotta olduğu gibi bulunabilir.

### **3.3.2 Viskozite**

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite: birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m<sup>2</sup> alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden biriside kinematik viskozite kabiliyetidir (Altın 1998).

Açık yanma odalı bir dizel motorunun çalışması, yanma için uygun bir yakıt karışımı hazırlayacak iyi bir enjeksiyona bağlıdır. Yakıtın viskozitesi, yakıt bir enjektörden veya dar bir kanaldan hava içine püskürtüldüğünde oluşacak yakıt demetini çok etkiler. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin nüfuzu fazlalaşır (Borat, vd. 1994). İri yakıt zerreciklerinin yanmayı ayrıştıracak ve iyi bir performans sağlayacak olan enjeksiyon sistemi üzerinde büyük etkisi vardır. Düşük viskozite, özellikle parçalar aşındığında, aşırı iç pompa sızıntısına ve sapkın yakıt dağıtımına yol açabilir. Yüksek viskozite ise, sistem basıncını kabul edilemez bir düzeye yükseltip enjeksiyon sürecini ve püskürtme atomizasyonunu etkileyebilir.

### **3.3.3 Isıl Değer**

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değeri denir (Borat vd. 1994). Dizel yanma süreci geniş bir ısıtma değeri aralığını kabul etse de, kg başına ısı enerjisi yüksek olduğunda, hem enjeksiyon sisteminin aldığı miktarı azaltmak hem de araç/ekipman işleyiş süresini arttırmak için pratik sistemler en uygun yol olarak kabul edilmektedir (Oğuz 1998).

### **3.3.4 Akma Noktası**

Akma yada katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Katılaşma durumunda, gerekli yakıt akışı sağlanamayacağından motor çalışmayacaktır. Akma noktası sıcaklığı, motor çalışmasını garantiye almak üzere, ortam

sıcaklığının 5-100 °C daha altında olmalıdır (Karakuş 2000).

### **3.3.5 Uçuculuk**

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmesede, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 1800-3700 °C arasında değişmektedir (Altın 1998).

### **3.3.6 Alevlenme-Parlama Tehlikesi**

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptan ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinden yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 K'dir (Ulusoy 1999).

### **3.3.7 Yanma ve Yanma Ürünleri**

Dizel yakıtlarında kükürt muhtevası hem korozif hem de partikül teşekkülü bakımından son derece mahsurludur. Su, tuzlu-su ve tortular yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir (Altın 1998).

### **3.3.8 Yanma Atıkları Birikimi**

Dizel yakıtların en önemli problemlerinden biri önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmeleridir. Yanma sonunda oluşan artıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikirler. Setan sayısı belli bir değere kadar muhtemelen yanma olayını iyileştirmek suretiyle bu temayülü azaltır. Ancak bu değer üstünde is teşekkülüne olumsuz etki eder (Altın 1998). Herhangi bir maddenin dizel yakıt ilavesi olarak kabul edilmesinden önce, yukarıdaki

özelliklerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir (Karakuş 2000, Altuntaş 2002).

### **3.4 DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR**

Dizel motorlarda motorin haricinde alternatif yakıt olarak adlandırılan bazı yakıtlarda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; doğalgaz, biyogaz, LPG ve biyodizeldir.

#### **3.4.1 Doğal Gaz**

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, bütan, 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 düşüğe neden olmaktadır (Hatipoğlu, 1996). Doğalgazın özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Doğalgaz özellikleri (Acaroğlu 2003).

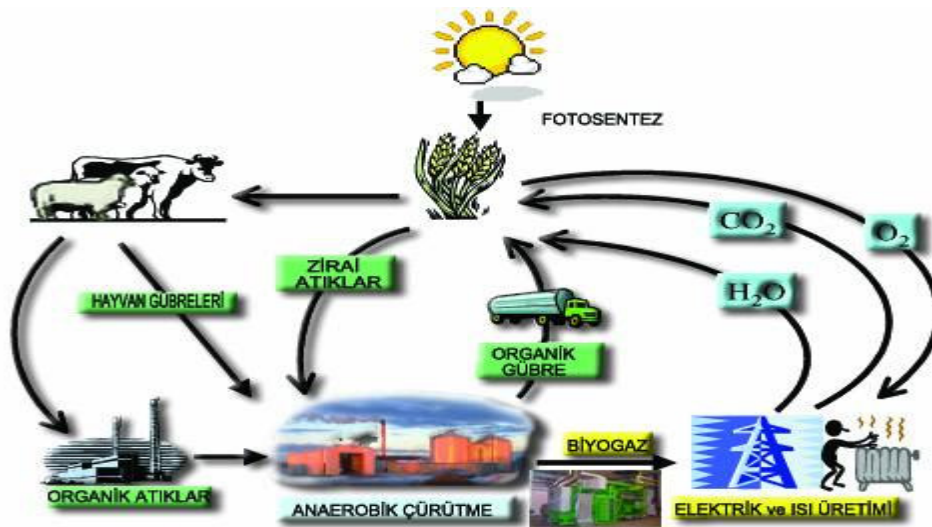
Özellikler	Doğalgaz
Kimyasal Denklemi	CH <sub>4</sub>
C/H Oranı	0,25
Molekül Ağırlığı	16,04
Özgül Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	0,424
Sıvı Gaz	0,78.10 <sup>-3</sup>
Isıl Değeri (MJ/kg)	50,8
(MJ/l)	20,8
Stokiyometrik Karışım hava/yakıt (kütleli)	17,2
hava/yakıt (hacimsel) kJ/l	9,53
mol <sub>ürün</sub> /mol <sub>reactantlar</sub>	3,4
Buharlaştırma ısısı (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  $\text{NO}_x$  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).

### 3.4.2 Biyogaz

Biyogaz organik maddelerin anaerobik (oksijensiz) ortamda, farklı mikroorganizma gruplarının varlığında, biyometanlaştırma süreçleri (havasız bozunma- biyolojik bozunma - mikrobiyal bozunma - anaerobik fermentasyonun kontrollü süreci) ile elde edilen bir gaz karışımıdır. Şekil 3.2’de fotosentez-biyogaz üretimi-kullanımı döngüsü şematik gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Fotosentez-Biyogaz döngüsü.

### 3.4.2.1 Fotosentez Biyogaz Döngüsü

Biyogaza “Bataklık Gazı”, “Gübre Gazı”, “Gobar Gaz” gibi isimler de verilmektedir. Biyogaz; renksiz, yanıcı, ana bileşenleri metan ve karbondioksit olan, az miktarda hidrojen sülfür, azot, oksijen ve karbon monoksit içeren bir gazdır. Genellikle organik maddenin %40-%60 kadarı biyogaza dönüştürülür. Biyogazın genel bileşimi %60 CH<sub>4</sub> ve %40 CO<sub>2</sub>’den oluşmakta ve ısı değeri 17-25 MJ/m<sup>3</sup>’tür. Geri kalan artık ise kokusuz, gübre olarak kullanmaya uygun bir katı veya sıvı atıktır. Çizelge 3.5’de biyogaz bileşim değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 3.5 Biyogaz bileşimi (URL-3 2008).

BİLEŞENLER	Hac. %’si
CH <sub>4</sub> : Metan	40-80
CO <sub>2</sub> : Karbon dioksit	20-50
H <sub>2</sub> S: Hidrojen sülfür	0.0005-0,0002
NH <sub>3</sub> : Amonyak	0.0005-0,0001
N <sub>2</sub> : Azot	0-3
H <sub>2</sub> : Hidrojen	0-5

### 3.4.2.2 Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogaz doğal gaza alternatif bir gaz yakıt olarak aşağıdaki alanlarda kullanılabilir:

- Doğrudan yakma-Isınma ve ısıtma
- Motor yakıtı olarak kullanım
- Türbin yakıtı olarak kullanım-Elektrik eldesi
- Yakıt pili yakıtı olarak kullanım
- Doğalgaz içine katkı olarak kullanım
- Kimyasalların üretiminde kullanım

Biyogaz sistemleri, kullanıcılar için pek çok bakımdan avantaja sahiptir. Her şeyden önce biyogaz sistemlerini kullananlar bu sistemleri organik gübre ve enerji üretiminin doğal bir kaynağı olarak görmelidirler. Pek çok kesim tarafından, biyogaz üniteleri enerji üreten sistemler olarak görülmektedir. Bu yaklaşım doğrudur. Fakat bir biyogaz sisteminden elde edilen en önemli ürün enerji değil, organik gübredir (URL-3 2008).

### 3.4.3 Biyodizel

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol ve ya etanol ) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Eysel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir.

Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

Biyodizel, dizel ile karışım oranları bazında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : % 5 Biyodizel + %95 Dizel

B20 : % 20 Biyodizel + %80 Dizel

B50 : % 50 Biyodizel + %50 Dizel

B100 : %100 Biyodizel

Biyodizelin alevlenme noktası, dizelden daha yüksektir (>110 °C). Bu özellik biyodizelin kullanım, taşınım ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt olmasını sağlar.

Biyodizel petrol kaynaklı dizel ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu özellik petrol kaynaklı dizelin kalitesini yükseltir. Örneğin yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini düşürür, motordaki yağlanma derecesini artırır ve motor gücünü azaltan birikintileri çözer.

Biyodizelin setan sayısı dizelin setan sayısından daha yüksek olduğu için motor daha az vuruntulu çalışmaktadır.

Biyodizel, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. 1996 yılı öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi biyodizel ile uyumlu kullanılamamıştır. Çünkü biyodizel, doğal kauçuktan yapılan hortum ve contaları tahrip etmiştir. Ancak, bu problemler B20 (% 20 biyodizel - % 80 dizel) ve daha düşük oranlı biyodizel/dizel karışımlarında görülmez. Bununla birlikte, biyodizelin çözücü özelliği nedeniyle dizel yakıtının depolanmasından kaynaklanan yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları- tortuları çözdüğü için filtrelerin tıkanmamasına yönelik önlemler alınmalıdır. Ayrıca yakıt istasyonları ve araç tamirhanelerinde herhangi bir değişikliğe gerek yoktur (URL-4 2008).

Çizelge 3.6'da dizel ile biyodizelin yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge 3.6 değerleri incelendiğinde her iki yakıt arasında büyük farklılıklar olmadığı görülür.

Çizelge 3.6 Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri (URL-4 2008).

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri Min-Max	Biyodizel	Dizel
<b>Kapalı Formül</b>			$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
<b>Molekül Ağırlığı</b>	g/mol		296	120-320
<b>Alt Isıl Değeri</b>	MJ/kg		37,1	42,7
<b>Kütlesel</b>	MJ/L		32,6	35,5
<b>Hacimsel</b>				
<b>Özgül Ağırlığı 15°C</b>	kg/L	0,875-0,90	0,87-0,88	0,82-0,86
<b>Kinematik Viskosite (40°C)</b>	mm <sup>2</sup> /s	2-4,5	4,3	2,5-3,5
<b>Tutuşma Noktası</b>	°C	55-..	>100	>55
<b>Kükürt İçeriği</b>	% Kütlesel	..-0,05	<0,01	<0,05
<b>Tutuşma Katsayısı</b>	Setan Sayısı	49-..	>55	49-55
<b>Kül</b>	% Kütlesel	..-0,01	<0,01	<0,01
<b>Su Miktarı</b>	mg/kg	..-200	<300	<200

### 3.4.4 LPG

LPG, yani Sıvılaştırılmış Petrol Gazı, ham petrolün rafinerilerde damıtılması sırasında veya petrol yataklarının üzerinde bulunan doğal gazın ayrıştırılması ile elde edilen ve basınç altında sıvılaştırılan, renksiz, kokusuz, havadan ağır ve yanıcı bir gazdır. Bir sızıntı halinde, gaz kaçağının hemen anlaşılması için rafineriler tarafından özellikle kokulandırılmıştır. Ülkemizde kullanılan mix LPG'nin bileşimi genelde %70 bütan, %30 propan'dır. Bir litre LPG gazlaştığında, normal şartlarda yaklaşık 250 litre gaz hacmine ulaşır. LPG doğal gaz gibi uçucu olmayıp, dibe çöker.(URL-5 2008)

- LPG, doğalgazın sağladığı bütün faydaları sağlayan ve herhangi bir merkezi altyapı gerektirmeyen bir enerji türüdür.
- LPG, basit kimyasal yapısından dolayı diğer enerji kaynaklarına göre çevreci bir yakıttır.
- LPG, ambalajlanabilen ve taşınabilir bir enerji türüdür.
- LPG ayrıca, diğer yakıt türlerine göre ısı değeri yüksek ve verimli bir yakıttır.
- LPG herhangi bir yaşam biriminin yaklaşık tüm enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir.

## BÖLÜM 4

### İÇTEN YANMALI MOTORLARDA LPG KULLANIMI

#### 4.1 LPG'NİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

LPG'nin tanımı ve özellikleri, kullanımının gelişimi, genel durumu ve kullanım oranları aşağıda belirtilmiştir.

##### 4.1.1 LPG Nedir?

LPG ticari propan ve ticari bütanın genel adıdır. Petrol ve gaz endüstrisinde üretilen hidrokarbon ürünüdür. Çoğunlukla propan üç karbon atomu içeren hidrokarbonlardan meydana gelmektedir. Çoğunlukla ticari bütan dört karbon atomu içeren hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Başlıca normal ve izo-bütandan oluşmaktadır.

Türkiye'de daha çok mutfaklarda, ısınma, aydınlatma ve sanayimizin birçok alanlarında kullanılan, dünyada ve özellikle ABD, Japonya ve AB ülkelerinde otomotiv sektöründe araçlara enerji elde etmede, havalandırma cihazlarının çalıştırılmasında, petrol kuyuları sondaj donanımlarına güç elde etmede karşımıza çıkan LPG; Propan ( $C_3H_8$ ) ve Bütan ( $C_4H_{10}$ ) 'ın belli oranlardaki karışımından oluşan ve Liquefied Petroleum Gases kelimelerin baş harfleri ile ifade edilen sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Dünyadaki LPG üretiminin %61 'i doğal gaz, %39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir.

Çizelge 4.1'de propan ve bütan yakıtlarının fiziksel özellikleri ve yanma karakteristikleri verilmiştir. LPG gazı; basınç altında depolanan, uçucu sıvılaştırılmış hidrokarbondur. Üzerindeki basınç kaldırıldığında hava ile hacimsel olarak %2-9 oranında karışımlarda yanıcı bir gaz haline gelir. Düşük buharlaşma nedeniyle sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıklarına sebep olmaktadır. Ayrıca bu gazın tenefüsünde de

sakınılmak ve kullanımı sırasında dikkatli olunmalıdır. LPG ile temas ihtimali olan durumlarda eldiven ve gözlük gibi koruyucular kullanılmalıdır.

Çizelge 4.1 Propan ve bütanın fiziksel ve yanma karakteristikleri (Ciniviz 2001).

<b>Özellikler</b>	<b>Propan</b>	<b>Bütan</b>
Hava/Yakıt Oranı	15,1	15,0
Alt ısı değeri	46,4	45,6
NŞA fiziksel hali	Gaz	Gaz
Atmosfer basıncında buharlaşma sıcaklığı (°C)	-42,0	-0,5
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	426	385
NŞA Stokiyometrik orandaki karışımı yakmak için gereken tutuşturma enerjisi (MJ)	0,3	0,3
Maksimum laminer yanma hızı (m/s)	0,4	0,4
Tutuşma sınırları	0,65-3,2	0,53-2,2
Stokiyometrik karışımın birim hacimdeki kimyasal enerjisi (MJ/m <sup>3</sup> )	3,49	3,45

#### 4.1.2 LPG'nin Özellikleri

Bütan ve propanın belirleyici temel özelliklerinden biri buharlaşma basıncıdır, yani sıvının kapalı hacimdeki buhar ile dengede olduğu basınçtır (Ciniviz 2001).

LPG'nin yüksek ısı değerlere sahip olması önemli bir avantajdır. Ancak daha dikkatli kullanmayı gerektiren bir faktördür. Isı artıca basınç artar ve LPG'nin sıvı haldeki hacminde büyük değişiklikler oluşur. Sıvı haldeki LPG ile dolu olan bir ortamda sıcaklık artıca basıncın da artması, içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olur. Tank hiçbir zaman LPG ile tamamen doldurulmamalıdır. Bütan ve Propan arasındaki diğer ayırıcı özellik ise kaynama noktası sıcaklığıdır. Sıvı fazdan, gaz faza geçtikleri sıcaklık derecesidir. Propanın -43°C'de sıvı faza geçerken, bütan ise 0°C'de geçer. Özellikle soğuk havalarda daha yüksek propan oranına sahip karışımlara gereksinim duyulur. Böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Türkiye'de hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının tüm koşullara uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.



Soğuk iklimli bölgelerde kullanılan LPG'lerin içerisindeki propan oranının artırılarak sıvı fazdan gaz faza geçişi kolaylaştırılmalıdır. Dünyada LPG, otomobillerde özellikle Avrupa ülkelerinde, Amerika'da ve Japonya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Avrupa ülkelerinde otomobillerde kullanılan LPG'nin propan ve bütan karışım oranları Çizelge 4.2'de verilmiştir. LPG'ye basınç uygulandığında toplam hacim içerisindeki bütan ve propan yüzdelerine bağlı olarak 1/230 ile 1/267 oranında küçülür. Örneğin 267 m<sup>3</sup> LPG sıkıştırıldığında sıvı olarak 1m<sup>3</sup>'lük bir hacme sığar.

Çizelge 4.2 Avrupa ülkelerindeki yaz ve kış aylarında LPG içerisindeki propan ve bütan oranları (Ciniviz 2001).

Ülke Adı	Propan/Bütan Oranları (%)	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Almanya	Propan	Propan
Danimarka	30/70	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan

LPG'nin bir özelliği de yağ ve boyayı eritebilmesidir. Ayrıca doğal lastiği deforme eder. Bu nedenle motorlu araçlarda kullanılan esnek borular uygun kalitede sentetik malzemenin yapılmaktadır. Yakıt tankı ve regülatör arasında yer alan basınç altındaki LPG hatları için ise özel bakır veya çelik boru kullanılmaktadır. LPG'yi oluşturan propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri (Ciniviz 2001).

<b>Gaz</b>	<b>Propan</b>	<b>Bütan</b>
Kimyasal Formülü	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Molüküler Ağırlığı	44	58
Özgül Ağırlığı (kg/l)	0,51	0,58
Kaynama Noktası	-43	-0,5
Alt Isıl Değeri (Kcal/kg)	11070	10920
Tutuşma Noktası	510	490
Tutuşma Sınırları (Hacim %)	2,1-9,5	1,5-8,5
Yanma Hızı (cm/s)	32	32

Çizelge 4.4'te bazı yakıtların ve LPG'nin alt ısıl değerleri verilmiştir, LPG'nin kalori ve alt ısıl değeri dizel yakıtından daha yüksektir.

Çizelge 4.4 Bazı yakıtların ve LPG'nin alt ısıl değerleri (Ciniviz, 2001).

<b>Yakıt</b>	<b>MJ/kg</b>	<b>MJ/l</b>
Dizel yakıtı	42-45	35,7-38,25
LPG	46,2	102900
Benzin	45-47	33-34,5
Etanol	24	19,2
Metanol	29	-
Gazyağı	46	-
Taşkömürü	29,4	-

Geleneksel yakıtlar taşıt üzerinde yakıt depolarında, atmosfer basıncı altında sıvı fazında saklanabilirken LPG'nin yakıt tankında sıvı fazında depolanması için yüksek basınca gerek vardır. Bu nedenle LPG taşıt üzerinde 4-10 bar arasında değişen basınçlar altında depolanmaktadır. Dizel ve benzine oranla LPG'nin birim kütesinin alt ısıl değeri daha

yüksektir. Bu değer LPG bünyesindeki propan/bütan oranına bağlı olarak değişimi Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Çeşitli motor yakıtlarının karşılaştırılması (Ciniviz, 2001).

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin	Dizel Yakıtı
Yoğunluk 15°C (kg/l)	0,508	0,584	0,73-0,78	0,81-0,83
Buhar Basıncı 38°C (bar)	12,1	2,6	0,5-0,9	0,003
Kaynama Noktası (°C)	-43	-0,5	30-225	150-560
R.O.N.	111	103	96-98	
M.O.N.	97	89	85-87	
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	46,5	45,46	44,03	42,4
Alt Isıl Değeri (MM)	23,42	26,55	32,32	35,62
Stokiyometrik Oran	15,8	15,6	14,7	-
Karışımın Isıl Değeri (kJ/m <sup>3</sup> )	3414	3446	3482	-

Propan ve bütan arasındaki diğer bir farklılık ise kaynama noktasıdır. Kaynama noktası atmosfer basıncı altında gaz fazından buhar fazına geçiş sıcaklığını vermektedir. Propan, -43°C sıcaklıkta sıvı fazda bulunurken bütan 0°C sıcaklıkta sıvı fazda bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle soğuk iklim şartlarında LPG içerisindeki propan arttırılarak sıvı fazdan gaz fazına geçişi kolaylaştırılmaktadır.

İçerdiği enerji bakımından benzin yakıtına oranla LPG’nin birim kütesinin alt ısıl değeri daha yüksektir. Dolayısıyla, yakıt olarak LPG kullanan motorlar, özgül yakıt tüketimi (g/kWsaat) bakımından benzin motorlarına göre daha avantajlıdır. LPG’nin hava ile daha iyi karışım oluşturması nedeniyle motor performansında %8-10 mertebesinde iyileşme olmaktadır. LPG’nin gaz olarak emilmesi halinde volümetrik verimde ve buna paralel olarak maksimum güçte %5-10 kadar bir azalma olmaktadır. Benzin püskürtmeli ve elektronik kontrollü motorlarda ise güç düşüşü tamamen önlenemez. LPG’nin oktan sayısı benzine oranla daha yüksektir ve motor tasarımı sırasında sıkıştırma oranı yüksek tutularak motor gücü arttırılabilir.

LPG'nin diğerk özellikleri ise;

- LPG'nin havadan ağır olmasından dolayı zemine çökerek ortama yayılma ve havasızlıktan boğulmaya neden olmaktadır.
- Parlayıcı ve patlayıcı bir gazdır.
- Buhar basıncı yüksektir.
- Korozif değildir.
- Bileşiminde az miktarda kükürt içermektedir (20-100mg/m<sup>3</sup>).
- İçten yanmalı motorlarda silindir içinde daha homojen bir yakıt/hava karışımı sağlamaktadır.
- Atmosferik basınçta propan -43°C sıcaklıkta sıvı fazda bulunmaktadır.
- Sıvılaştırılmış petrol gazının kısa sürede ve az miktarda solunması halinde insanlarda zehirlenme etkisi göstermez. Havada %10 nispetinde LPG bulunan ortamdaki havanın 2 dakika solunması halinde baş dönmesi meydana gelebilir.
- LPG için yanabilirlik sınırları %2,4'ten %9,5'e kadardır. Yani %9,5 LPG ile %90,5 havanın karışmasıyla yanma oluşacaktır. Buna yanabilirliğin üst sınırı denir. Yanabilirliğin alt sınırı ise %97,6 ile %2,4 LPG karışımından oluşmaktadır.

### 4.1.3 LPG Çeşitleri

LPG çeşitleri iki ana başlık altında incelenebilir.

#### 4.1.3.1 Motorlu Araçlarda Kullanılanlar

Ticari propan: Başlıca propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) ve propilen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)'den meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu yüksek olan bir hidrokarbondur.

Bu yakıt, evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımlarda özellikle soğuk iklimli bölgelerde, homojen yakıt istenen durumlarda uygundur. Ticari propan ayrıca, düşük süratli motorlar için uygun bir yakıttır. Kütlece %95 saflıktadır.

Özel hizmet propanı: Bu gaz; esas itibarıyla propandan meydana gelen, çoğunlukla içten yanmalı motorlarda vuruntusuz çalışmayı sağlayan hidrokarbondur. Kütlece %98 saflıktadır.

Özel hizmet propanı, orta süratte ve vuruntusuz çalışması gereken içten yanmalı motorlar için elde edilen özel bir sıvılaştırılmış petrol gazıdır.

#### **4.1.3.2 Motorlu Araçlarda Kullanılmayanlar**

Ticari bütan: Başlıca bütan ( $C_4H_{10}$ ) ve bütilen ( $C_4H_8$ )'den meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Ticari bütan uçuculuğu düşük olan bir hidrokarbondur. Bu ga karışımı ılıman iklimli bölgelerde evlerde ve buharlaşma problemi olmayan sanayi kuruluşlarında yakıt olarak kullanılabilir. Kütlece %95 saflıktadır.

Ticari propan-bütan karışımı: Bu karışım; ticari propan ve ticari bütan karışımından meydana gelen gazdır. Uçuculuğu orta seviyededir. Karışım nispetleri geniş aralıklarda olabileceğinden belirli ihtiyaçları karşılayabilecek yakıt elde edilebilir. Evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımlarda zaman ve iklim şartlarındaki uygulamalara göre elverişli özelliklerde yakıt elde edilmesi uygundur.

#### **4.1.4 LPG Yakıt Sisteminin Avantaj Ve Dezavantajları**

LPG kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre avantajları şunlardır;

- Benzinli ve dizel araçlara göre daha ekonomiktir. LPG, benzin ve motorinden litre fiyatı olarak oldukça ucuzdur.
- LPG içersinde kurşun, vernik ya da karbon atığı çıkarmadığı için motor yanma odası ve karterini kirletmez.
- Otomobil üzerinde kullanılan orijinal yakıt sistemi arızalarını azaltır.
- Ateşleme bujisinin ömrü uzun olur.
- Motorun yağlaması için kullanılan yağın ömrü yaklaşık 3 kat uzun olur.
- Tamamen kapalı bir sistem olduğu için çevreyi kirletmez. Akma ve buharlaşma yapmaz.
- Yakıt olarak kullanılmadan önce çok az rafine edilmektedir.
- Egzoz borusu ve susturucuların ömrü uzun olmaktadır.
- Egzoz emisyonları açısından daha çevrecidir.

- LPG renksiz, kokusuz ve toksit özelliği bulunmayan bir maddedir. Gaz kaçaklarının tespit edilmesi için sonradan kokulandırılmaktadır. Sıvı halde suya benzer.
- LPG basınç altında depolanabilir, kalın elik tank yada borularla taşınabilir.

LPG kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre dezavantajları şunlardır;

- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kapladığı için bagaj hacmini küçültür.
- Uzun atmosferik süreklilikten dolayı sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından karbondioksite oranla 20 kez daha etkilidir.
- NOx emisyon problemleri olabilmektedir.
- LPG sistemi ekstra yapım maliyeti getirmektedir.
- Karakteristik özelliklerine bağlı olarak motor performansı bir miktar düşmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır. Havalandırma gerçekleştirilmez ise tehlike yaratabilir.
- LPG zehirli değildir. Ancak miktarı fazlaştıkça boğuculuk etkisi ortaya çıkar.
- Düşük sıcaklıkta buharlaşması nedeniyle sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıkları oluşur.
- Isı arttıkça basıncı artarak kritik bir sıcaklık ve basınçta içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olabilir.

#### **4.1.5 Dünyada ve Türkiye’de LPG Sektörü**

##### **4.1.5.1 Dünyada ve Türkiye’de LPG’nin Yakıt Olarak Kullanılması**

Hava kirliliği, bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de, günlük hayatımızda karşı karşıya aldığımız en büyük problemlerden birisi olarak varlığını sürdürmektedir.

Ülkemizde, 1986 yılında, doğal gazın ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanılmaya başlanmasından sonra motorlu taşıtlarda da doğal gaz kullanımını gündeme gelmiştir. Özellikle şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinde yakıt olarak doğal gaz kullanılması yolunda yapılan çalışmalar başarılı olmuş ve Ankara’da dönüşümü yapılan otobüsler bir dönem toplu taşımacılıkta kullanılmıştır. evre Bakanlığı ve Otomotiv Sanayicileri Derneği ile birlikte 1993 yılının Aralık ayında, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik olarak yayınlanan bir deklarasyonla en kısa zamanda

kurşunsuz benzin kullanımının arttırılması amaçlanmış, EURO '93 Standardına ve katalizör kullanımına geçiş uyum programı oluşturularak; silindir hacmi 1800 cc ve daha yukarı otomobiller için en geç 01.01.1995, silindir hacmi 1600 ile 1799 cc olan otomobiller için en geç 01.01.1996, silindir hacmi 1400 ile 1599 cc olan otomobiller için en geç 01.01.1999 ve silindir hacmi 1399 cc'den küçük olan otomobiller için ise en geç 01.01.2000 tarihleri belirlenmiştir.

Türkiye'de özellikle 1996 yılında hızla artan ve çoğunlukla ticari araç sahiplerinin yöneldiği ve alternatif yakıt olarak seçilen, LPG kullanımı gündeme gelmiştir. Bu yakıtın seçilmesinin en önemli nedeni günümüzdeki fiyatların benzine oranla oldukça düşük olmasıdır. Haziran 1997 itibari ile normal benzin fiyatının yaklaşık 88500 TL/lt ve oto gaz fiyatının 34150 TL/lt olması bunun en güzel göstergesidir. Henüz çevre bilincinin tam oluşmadığı ülkemizde, LPG Yakıtının egsoz emisyonlarının düşük olmasının seçimde bir kriter olarak etkin rol oynadığı görüşü çok kuvvetli değildir. Çalışmanın bu bölümünde, LPG gazının alternatif yakıt olarak seçilebilecek diğer yakıtlarla karşılaştırmaları verilmiştir. İlk olarak Amerika Birleşik Devletlerinde San Diego Gas - Electric Company tarafından denenen sıvılaştırılmış petrol gazı ile motorların çalıştırılması, otomotiv endüstrisinde son derece faydalı bir uygulama olarak kabul edilmektedir. Uzmanların bu yakıtı, yer yüzünde rezervinin çok fazla olması nedeni ile büyük ümitler bağladıkları bilinmektedir.

Chicago'da düzenlenen uluslar arası bir toplantıda 1980 yılı başlarında her türlü motorlu araçta, her gün 80 milyar litre sıvılaştırılmış gaz kullanılabileceği hesaplanmıştır. Amerika'dan başka, birçok ülkede de denemeler yapılmaktadır. En son olarak 1975 Eylülünde Rusya'da sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan ilk araç piyasaya çıkarılmıştır. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) petroldeki en hafif hidrokarbonlardan oluşur. Normal hava koşullarında gaz, basınç altında ise sıvı haline dönüşürler. Kuyularda petrol çıkarılırken veya rafinelerde petrol işlenirken yan ürün olarak elde edilirler. Ayrıca yer altındaki doğal gaz yataklarından da çıkarılır.

Bu gazlara basınç uygulandığında hacimleri 230-267 misli küçülür. Örneğin, 267 metreküplük gaz sıvılaştırıldığında 1 metreküplük bir hacme sığar. Evlerde ısıtma ve mutfak işlerinde kullanılan bu gazların adları metan, etan, propan ve bütan dır. Bunlardan şimdilik motor yakıtı olarak bütan ve propandan faydalanılmaktadır.

#### 4.1.5.2 Dünyada Oto Gaz Teşvikleri

İleri sanayi ülkelerinde hükümetlerin oto gazla temel yaklaşımı ; “çevre politikalarıyla teşvik etmek, enerji politikalarıyla sınırlamak” şeklindedir. Diğer bir ifade ile LPG emisyonları sebebiyle çevre dostu yakıt olarak tercih edilir, ancak ülkelerin genel enerji politikasından ayrı düşünülemez. 1997 dünya genelinde 10 milyon tonu aşan Oto-LPG pazarı asıl gelişme fırsatını, LPG'nin düşük fiyatlarla pazarlandığı; İtalya, Hollanda, Japonya ve Avustralya gibi ülkelerde bulmuştur. Bu ülkelerde otomotiv pazarlarının çeşitli kesimleri farklılık göstermektedir. Bazı ülkelerde hangi alanların Oto-LPG den faydalanacağı pazarda güçlü oranlar, diğer ülkelerde hükümetler belirlemiş veya denetim altına alınmıştır. Oto-LPG teşviklerini değerlendirebilmek için, sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan ülkeler temel alınarak, karşılaştırma yapmak yararlı olacaktır. Bu amaçla Japonya, ABD, Hollanda, Almanya gibi ülkelerin yanında Yunanistan, Endonezya, Çin ve Güney Kore gibi ülkelerdeki teşvikler aşağıda özetlenmiştir MMO (2000) .

Japonya: Taksiler %95 oranında oto gazla çalışmakta, Nissan, Toyota her yıl 45 bin yeni taksiyi LPG'li olarak üretmektedir. Altı farklı kentte NOx sınırlamaları nedeniyle oto gazlı araç kullanımı teşvik edilmektedir.

Avustralya: Tüm gazlı yakıt kullanan araçlar vergiden muaf olup, LPG fiyatı benzinin % 50'si değerindedir. Bu nedenle pazar payı hızla büyümüştür.

ABD: LPG'nin pazardaki çeşiti ağırlıklı olarak propandır. Otomobil ve hafif araçlarda yaygın olarak kullanılan yakıt benzin olup, bazı eyaletler kendi emisyon standartlarını uygulamaktadır. Kongre 1996 yılında “propan öğretim araştırma kanunu - PERA” çıkarmış propan öğretim ve araştırma konseyi (PERC) oluşturulmuştur. Bazı eyaletlerde alternatif yakıtlı araçların satın alınmasında “vergi kredisi” uygulaması vardır. Ülke genelinde LPG vergisi galon başına 13,6 cent dir.

Hollanda: Oto gazda vergi düşüktür. Hedef tüm araçların % 10'unun LPG dönüşümlü olmasıdır. Hükümet kamu taşıması yapan şirketlerde bir “niyet beyanı” imzalamış ve 2003 yılında gaz yakıtlarla çalışan otobüs sayısının toplamının %50'sine ulaşmasını hedeflemiştir.

Almanya: Metropolitan bölgelerdeki kirliliği azaltılması düşünülen oto gaz kullanımı teşviki 1995-2000 yılları arasını kapsamakta ve yakıt satış vergileri %60 düşük tutulmaktadır. Oto gazda vergi indirimi yeni yatırım faaliyetlerinin doğmasını sağlamaya yetmediğinden bu indirim süresinin 2009 yılına kadar uzatılması düşünülmektedir. Taşıt dayısı itibariyle dünyada ilk sıralarda yer alan Almanya'da büyük bir oto gaz potansiyeli vardır.



Yunanistan: Yoğun kirlilik yaşayan günlerde getirilen, gün aşırı kullanma sınırı LPG'li taşıtlarda yoktur. 1998 yılında oluşturulan Bakanlıklar arası kurul otogaz uygulamasını kullanmayı yaygınlaştırmaya çalışmaktadır.

Endonezya: Enerji ve Maden Bakanlığınca oto gaz temiz yakıt olarak kabul edilmiş, Temmuz 1995 ten beri Jakarta ve Surabaya'da taksiler LPG' ye dönüştürülmüştür. LPG'ye dönüşüm hedefi otobüsleri de kapsayacaktır. Pazarın büyümesi beklenmektedir.

Güney Kore: Oto-LPG'ye yalnız; taksiler, otobüsler ve kamyonlarda izin verilmekte olup, oto gaz fiyatı benzinin 1/3 mertebesinde. Çevre Bakanlığının eğilimi toplu taşıma araçlarının ve büyük kamyonların dizel yerine LPG'ye çevrilmiş olmasını tercih şeklindedir.

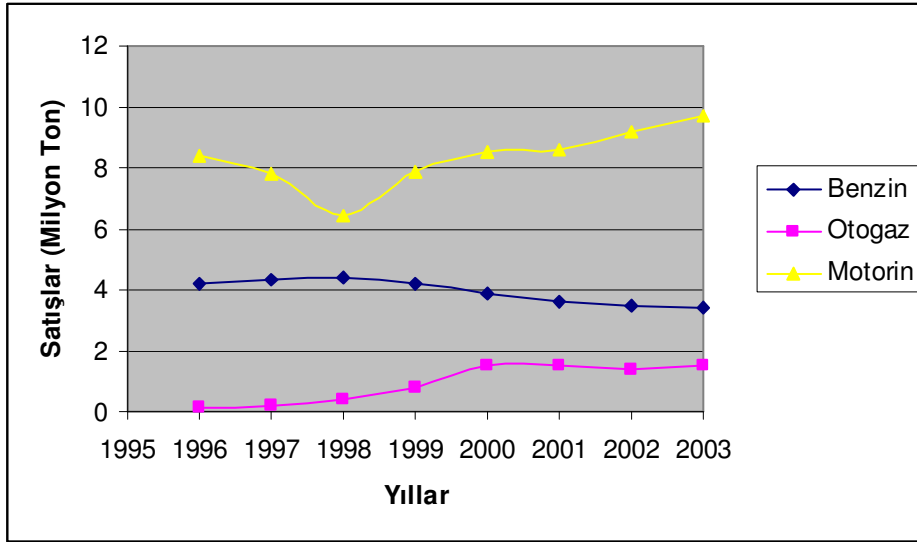
Çin: Büyük kentlerde 1995 yılından bazı resmi otolarda LPG dönüşümü yapılarak denenmiştir. Temel amaç hava kirliliğini azaltmaktır. Kamu taşımacılığında devlet desteği ilan edilmiştir. Dünyanın bu en kalabalık ülkesinde LPG pazarının büyümesi beklenmektedir.

#### 4.1.5.3 Türkiye'de LPG Pazarı

Toplumun 1960'ların başında tanıdığı LPG; hükümetlerce temel mutfak yakıtı sayılarak, akaryakıtlarda ayrı değerlendirilmiş ve tüketiciye gerçek fiyatının altında satılmasına dikkat edilmiştir. 1970 yılından itibaren LPG tüketimi, üretimi aşmış ve LPG ithal edilmeye başlanmıştır. Tükettiği petrol ürünlerinin büyük bir bölümünü ithal eden Türkiye'nin 1998 yılındaki 28 milyon tonluk petrol tüketimi içindeki LPG payı %11 olmuştur. 1998 yılının ikinci yarısında uygulamaya giren "Liberasyon uygulaması" sonucu ve LPG ve dökme LPG tüketiminin hızla artış göstermesi; LPG için yeni uygulamalar ve tedbirleri gündeme getirmiştir. Çizelge 4.6'da Türkiye'de LPG ve oto gazın üretim, tüketim ve ithalat rakamları ve Şekil 4.3'te benzin, LPG ve motorin satışları görülmektedir.

Çizelge 4.6 Türkiye'de LPG ve oto gazın üretim, tüketim ve ithalat rakamları (MMO 2000).

Yıllar	Üretim	LPG Tüketimi	Otogaz Tüketimi	İthalat %
1996	778	2,489	-	69
1997	748	2,873	70	73
1998	791	3,174	148	75
1999	660	3,364	500	80
2000	794	3,500	800	83



Şekil 4.1 Benzine, LPG ve Motorinin yıllara göre Milyon Ton değerindeki satışları (MMO 2000).

Çizelge 4.7’de LPG satışları verilmiştir. Eylül sonuçlarına bakıldığında, 2005 Senesi LPG kullanımının tüm sektörlerde toplam 3.7 milyon ton civarında tahmin edilmektedir. Otogaz kullanımı ise 1.5 milyon ton civarında gerçekleşebilir. Geçen sene otogaz kullanımı 1 milyon 387 bin ton olarak gerçekleşmişti. Otogaz sektörünün gelişmesindeki en kritik yıl 2000 senesidir. Otogaz satışları 2000 yılında 1 milyon 281 bin ton olarak gerçekleşmiş ve kalıcı olarak otomobil yakıtları içerisine girmiştir.

Çizelge 4.7 Milyon ton olarak LPG satışları (MMO 2000).

Yıllar	Tüplü	Dökme	Otogaz
2005	1,730	0,45	1,5
2004	1,803	0,569	1,387
2003	1,656	0,57	1,262
2002	1,724	0,723	1,146
2001	1,810	0,794	1,231
2000	2,131	0,069	1,281
1999	2,035	0,944	1,362
1998	2,156	0,988	0,145

Bu gelişmeden de anlaşılacağı gibi doğalgazın yaygınlaşması Tüplü ve Dökmegaz sektörlerinde düşümlere neden olurken otagaz sektörü büyümesini sürdürmüştür.

PETDER Petrol Sanayi Derneği olarak LPG Kanunu bünyesinde hazırlanan Lisans Yönetmeliği sektör ile yakın işbirliği ve iletişim içinde hazırlanmış, kanunun öngördüğü ve tanımladığı çerçevede piyasada faaliyet gösteren ve göstermeyi planlayan tüm kuruluşlar lisans almak durumunda bırakılmıştır. Lisans Yönetmeliği, LPG Sektörünün en temel düzenlemesi ve bu yönde yapılan çalışma sektördeki bir çok sorunu düzenleme altına alabilecek yapıdadır MMO (2000).

## **4.2 YAKIT SİSTEMİN PARÇALARI VE ÇALIŞMASI**

LPG sisteminde kullanılan parçalar işlevsel olarak aynı görevi yapmaktadır. LPG sisteminde kullanılan dönüşüm kiti ile doğal gazda kullanılan dönüşüm kitleri birbirlerinde kullanılmaz. LPG düşük basınçla çalıştığı için kullanılan bağlantı elemanları ve regülatör, doğal gaza yakıt sistemi parçalarına göre daha zayıf yapıdadır. Doğal gazdaki sistem basıncını emniyet altına almak daha dayanıklı ve pahalı malzeme ile sağlanmaktadır. LPG yakıt sistemlerinin belli başlı parçaları şunlardır.

### **4.2.1 Gaz Dolum Ağzı**

LPG yakıt sistemlerinde tüpler içine basınçlı gazı pompalayabilmek için dolum kapağı konulmuştur. Dolum kapağı depo içerisine gaz girişini sağlar ve depo üzerinde bulunan multi valf bağlıdır. Multi valf üzerinde depo içerisine gaz akışını sağlayan tek yönlü bir valften gaz dolumu sağlanılmaktadır. Herhangi bir durumdan dolayı dolum kapağı gaz kaçırsa multi valf sayesinde sistem emniyet altına alınmıştır. Şekil 4.2'te bazı araçlarda kullanılan dolum kapağı gösterilmiştir.

Dolum kapağı tek yönlü çek valf gibi çalışmaktadır. Gaz dolumu sırasında gazın depo içerisine girmesini sağlar ve tabanca dolum ağzından çıkarıldığı anda depodan gelen gazın dışarı çıkmasını engeller.



Şekil 4.2 LPG/doğal gaz dolum ağzı ve kapağı.

Dolum kapakları araçlarda sağ arka tampon üzerinde olmalıdır. Dolum kapağı ağzının sürekli plastik bir kapak ile kapatılması gerekmektedir. Aksi takdirde dolum ağzına gelen çamur, toz ve pisikler gaz dolumu sırasında depo içerisine girerek sistemde arızalara yol açabilir. Şekil 4.2’de dolum ağzı ve plastik kapağı verilmiştir.

#### **4.2.2 Yüksek Basınç Boruları, Bağlantı Rekorları ve Sızdırmazlık Yüzükleri**

LPG dönüşüm sistemlerinde yüksek basınç boruları ve bağlantı elemanları çelik ve bakır borulardan yapılmaktadır. LPG/doğal gaz sisteminde dolum ağzından depoya, depodan regülâtöre gaz götüren borular kesinlikle TSE kurumunun onay verdiği ECER 67- 01 standartlarında olmalıdır. Yüksek basınç boruları LPG sistemi için 1 mm kalınlığında bakır boru ve üzeri PVC kaplı olmalıdır. Doğal gaz boruları ise, sistemde 250 bar basınç olduğu için, basınca dayanıklı 1 mm kalınlığında çelik boru ve üzeri PVC kaplı olmalıdır. Şekil 4.3’de LPG sistemlerinde kullanılan bakır boru verilmiştir.



Şekil 4.3 Bakır boru.

### 4.2.3 LPG Tankı



Şekil 4.4 Simit şeklinde LPG deposu.

LPG tankları içerisinde bulunan gazın cinsine ve basıncına göre farklılık gösterirler. LPG için tasarlanmış tank, 2–4 bar basınca rahatlıkla dayanacak ve otomobil bagajında fazla yer kaplamayacak şekilde olmalıdır. LPG dönüşüm sistemlerinde tanklar genellikle silindirik uzun, silindirik kısa ve elips (simit) şeklinde çelikten yapılırlar. LPG montaj kurallarına göre bu tankların her 10 yılda bir yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir.

Şekil 4.4'te simit şeklinde LPG depoları araçta Stepne yerine montaj edilmesinden dolayı bagajda yer kaplamamaktadır. Silindirik uzun ve kısa depolar ise bagajın ön veya yan kısmına monte edilerek kullanılmaktadır. Bu şekilde bagajın fazla küçülmesinin önüne geçilmiştir. Şekil 4.5'de silindirik bir LPG deposu gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Silindirik LPG deposu.

#### 4.2.4 Multivalf

Multivalf, LPG gaz sisteminin en nemli parçalarından birisidir. Depo içerisinde bulunan gazın emniyeti bu valf tarafından sağlanmaktadır. multivalf depo kapağı üzerindedir. Multivalfin parçaları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 LPG multivalfi.

#### 4.2.5 Giriş Supabı ve Vanası

Giriş supabı ve vanası dolum ucuna bağlıdır. Depo çerisine alınan gaz bu supap ve vanadan geçer. Şekil 4.6'da 2 numaralı parça giriş supabını göstermektedir. Dolum ucu 2 nolu parçanın üzerinde bulunan rekora bağlanmaktadır. Depo içerisine gaz girişi 2 nolu parça üzerinden olmaktadır. Dolum ucunda ve borusunda meydana gelebilecek kaçak, kesik vb. arızalardan dolayı depodan ani gaz çıkışını giriş supabı önlemektedir. Giriş supabı bir çeşit emniyet valfidir. Multi valf üzerinde bulunan 3 nolu parça ise giriş vanasıdır. Bu vana el ile kapatılabilmektedir. Giriş vanası kapatıldığı zaman depo içerisine gaz girişi yapılamaz.

#### 4.2.6 Çıkış Supabı ve Vanası

Şekil 4.6'da 4 numara ile gösterilen, parça çıkış vanasıdır. Bu vana el ile kapatılabilmektedir. Vana kapalı olduğu zaman depodan regülátöre gaz çıkışı yapılamaz. Multivalf üzerinde 5 numara ile gösterilen para ise çıkış supabıdır.

Çıkış supabı sisteme giden gazın emniyetli bir şekilde sisteme gitmesini sağlar. Yüksek basınç borusunda meydana gelebilecek kaçak, yırtılma vb. arızalarda çıkış supabı kendini kapatarak sistemi koruma altına almaktadır.

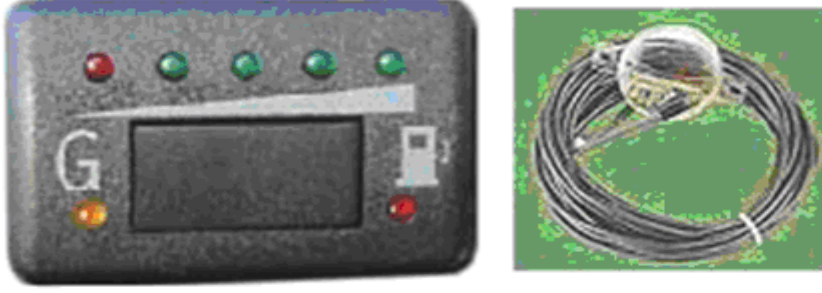
#### **4.2.7 Şamandıra**

Şamandıra, multivalf üzerine monta edilmiş depo içerisindeki gazın miktarını ölçmek ve deponun %80’den fazla dolmasını engellemek için konulmuştur. Şekil 4.6’da 1 numaralı parça ile gösterilmektedir. Deponun içerisine dolmuş ucundan giren gaz giriş supabını geçerek şamandıranın açık tuttuğu kanaldan deponun içerisine dolar. İçeri alınan LPG ve sıvı olduğu için şamandıra yüzerek sıvının üstünde durur. Depo içerisinde seviyenin yükselmesi ile şamandıra yukarı kalkar. Depo içerisinde gaz miktar %80’e geldiğinde şamandıra depo içerisine gaz alınan kanalı kapatarak içeri gaz girişi engellenir. Şekil 4.6’de 6 numaralı parçadan sisteme gaz gönderilmektedir. Kontak anahtarı açıldığı zaman yüksek basınç hattında ve regülatör girişinde bulunan elektro valfler açılarak 6 numaralı borudan sisteme gaz gider. Bu durumda depo içerisinde bulunan sıvının seviyesi düşer. Şoför mahallinde bulunan sürücü yakıt seçme anahtarı üzerindeki elektronik göstergeden depo içerisindeki, gaz miktarını görebilir.

#### **4.2.8 Gösterge**

Depodaki gaz miktarını sürücüye bildirmek için kullanılmaktadır. LPG sistemlerinde aynı yöntem kullanılmaktadır. Depodaki gaz miktarı maksimum 250 barı göstermektedir. Sistem basıncı 25 barın altına düştüğü zaman otomatik olarak diğer yakıt sistemi çalışmaya başlamaktadır. LPG gibi sıvı gazların ölçümünde şamandıra yöntemi kullanılmaktadır. Depo içerisindeki gaz miktarı tespiti elektronik veya mekanik olarak yapılmaktadır. Elektronik olarak göstergede gaz miktarını gösteren sistemde multivalf üzerine takılan sinyal alıcı ile yapılmaktadır. Sinyal alıcı, şamandıraya bağlı bir mıknatısın yönüne göre depo içerisindeki gaz miktarını elektronik olarak göstergeden vermektedir.

Şamandıra aşağı yukarı hareket ettikçe mıknatıs da aynı yönde hareket eder ve depo içerisindeki seviye ölçülmüş olur. Şekil 4.7’de multivalf üzerine takılan sinyal alıcı gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Elektronik gösterge.

Depo içerisinde LPG gaz miktarı mekanik olarak da ölçülür. Yine multivalf üzerinde bulunan şamandıranın hareketini bir gösterge üzerine verdiğimizde depo içerisindeki gaz miktarını bize vermektedir. Bu sistemin dezavantajı göstergenin deponun üzerinde olmasıdır. Şekil 4.8’de multivalf üzerinde mekanik gaz göstergesi verilmiştir.



Şekil 4.8 Mekanik gösterge.

#### 4.2.9 Havalandırma ve Hortumlar

Havalandırma sistemi, bu tür yakıt sistemine sahip araçlar için çok önemli bir emniyet tedbiridir. Bagaj içerisinde bulunan deponun sürekli havalandırılması gerekmektedir. Depo



üzerinde bulunan multivalf havalandırma kabının içerisine yerleştirilir. Havalandırma kabının ağzı bagajın altından dış havaya açılmaktadır. Sistemde her hangi bir gaz kaçağı olduğu zaman, sistem bu kapak üzerinde bulunan havalandırma hortumundan gazı tahliye eder. Şekil 4.9'da havalandırma sistemi gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Havalandırma kapağı.

#### 4.2.10 Elektro Valfler ve Filtre

LPG sisteminde iki çeşit elektro valf vardır. Depodaki gazı sisteme iletmek veya kesmek için kullanılan gaz valfi ve sistem gaz ile çalıştığı zaman motora giden benzini kesmek için kullanılan benzin elektro valfidir. Şekil 4.10'da LPG için kullanılan elektro valf gösterilmiştir. Elektro valf üzerine filitreleme sistemi monte edilmiştir. Bu şekilde LPG deposundan gelen gazın regülâtöre gitmeden gaz filtresinden geçmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.10 LPG için elektro valf.

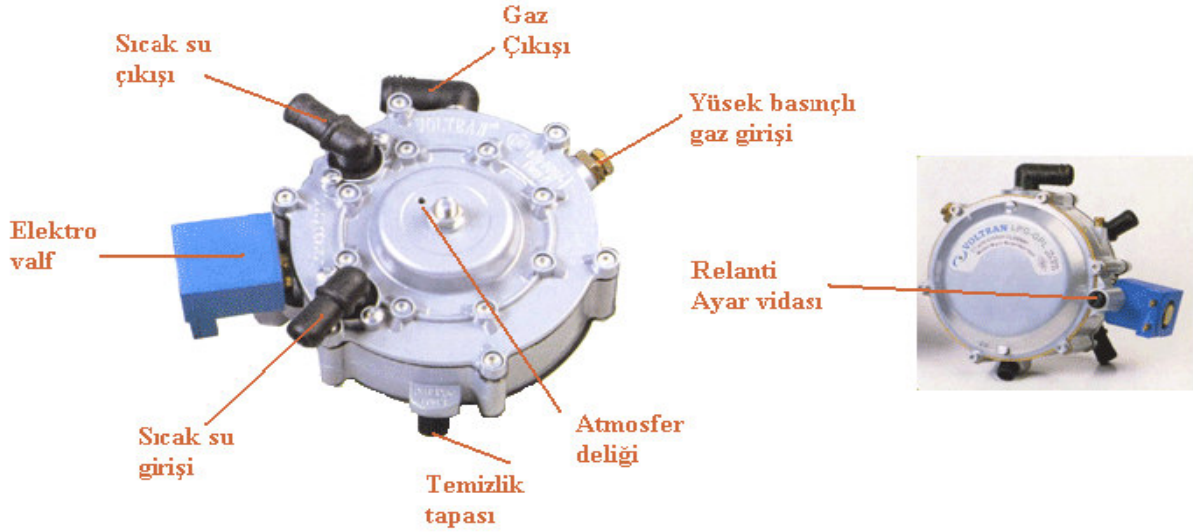
#### 4.2.11 Buharlaştırıcı ( Regülâtör)

LPG sistemlerinde motorun ihtiyacı olan yeterli miktarda gazı karbüratör üzerinde bağlı olan mikserle yollayarak motorun çalışmasını sağlamaktadır. LPG sisteminde kullanılan buharlaştırıcı depodan gelen sıvı LPG'yi motorun soğutma sisteminden aldığı ısı ile buharlaştırmak ve manifold vakumuna göre motorun ihtiyacı olan gaz miktarını ayarlamak için kullanılır.

Regülâtörün özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Gövde ve kapak tamamen kompozit alüminyum malzemeden yapılmıştır.
- Su ısıtma odası, gaz odasından su/gaz muhafaza koşulu sağlanarak ayrılmıştır.
- Diyafram, contalar, yaylar, ECE-R 67. 01 standartlarına göre LPG kullanımına uygun materyalden yapılmıştır.
- Test basıncı 67,5 bardır. (LPG regülâtörü için)
- Kademe çıkışında gaz akımının tamamen kapatılması bir elektro valf ile yapılır. Regülâtörün elektronik ve vakumlu olarak iki tipi vardır. Elektronik tipinde regülâtörden karbüratöre giden hattı kontak ile birlikte çalışır. Gaz hattı açık olsa bile elektro valf ile gazın motora akışı kesilir.

Pnomatik tiplerde yani vakumlu regülâtorlerde alt basınçtan yararlanılır. Sadece motor çalıştığında (manifold da vakum olduğunda) regülâtor devreye girer. Şekil 4.11’de LPG sisteminde kullanılan buharlaştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 4.11 LPG regülâtorü (elektronik).

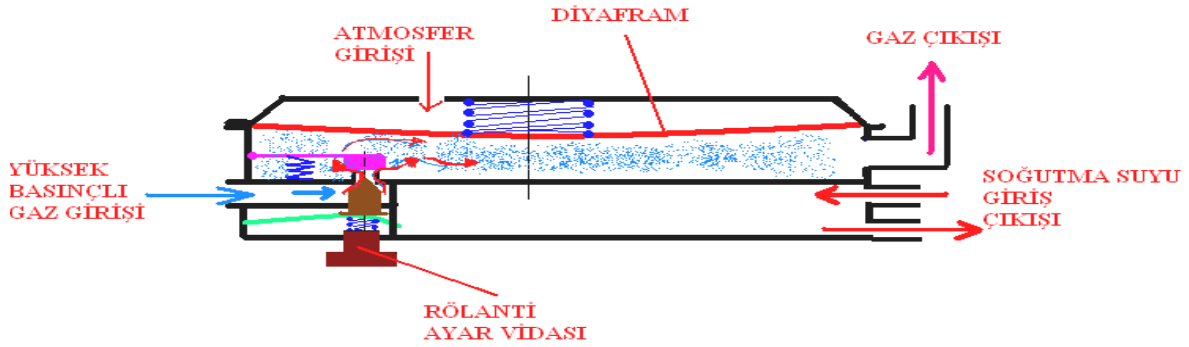
LPG regülâtorleri daha yüksek basınç için kullanılmaktadır ve özel olarak tasarlanmıştır. LPG regülâtorleri depoda bulunan gazın basıncını 3 kademede motorun kullanacağı 0,8 bar basınca indirmektedir. LPG sistemi regülâtorleri hem elektronik hem de vakumlu olmak üzere iki tip üretilmektedir. Şekil 4.12’de LPG sisteminde kullanılan regülâtorler görülmektedir.



Şekil 4.12 LPG sistemlerinde kullanılan regülâtorler (a) Elektronik ve (b) Vakumlu.

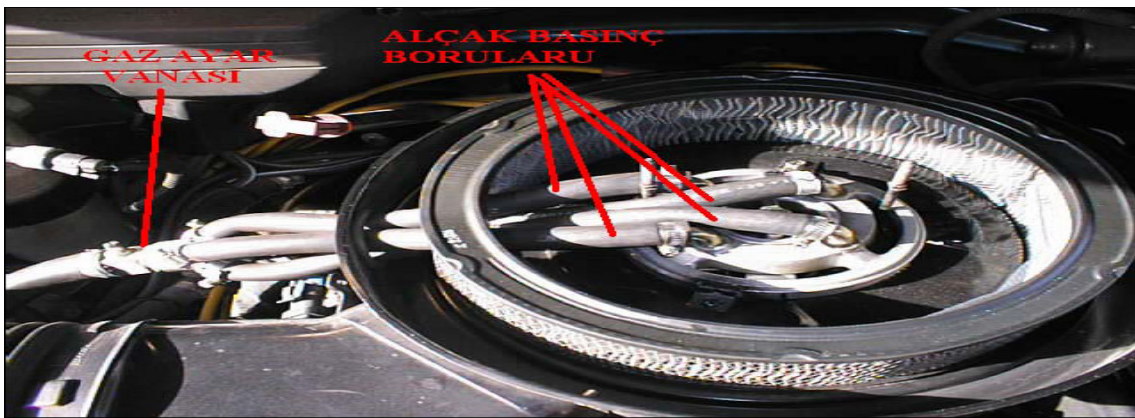
#### 4.2.12 Yüksek Basınç Bölümü ve Parçaları

Regülâtör içine depodan gelen basınçlı LPG bu bölüme dolmaktadır.Yüksek basınç bölümü girişi Şekil 4.13’de gösterilen elektro valf ile kapatılmaktadır. Yüksek basınç bölümü çıkışında ise motorun manifold vakumunu algılayan küçük bir valf bulunmaktadır. Bu valf motor çalışmadığı zaman (manifold vakumu yok iken) bir yay vasıtası ile yüksek basınç bölümü çıkışını kapatmaktadır. Motor çalıştığı zaman regülâtör gaz çıkış borusundan etki eden manifold vakumu ile yüksek basınç bölümünde bulunan valf açılarak burada bulunan sıvı gaz, diyaframın bulunduğu geniş hazneye ulaşarak bu bölümde buharlaşarak gaz haline geçmektedir. Şekil 4.13’de basit bir regülâtörün şematik resmi verilmiştir. Yüksek basınç bölümüne gelen sıvı gazın basıncı bu bölümde atmosferik basınca düşürülmektedir.



Şekil 4.13 Regülâtör içyapısı.

#### 4.2.13 Alçak Basınç Bölümü ve Parçaları



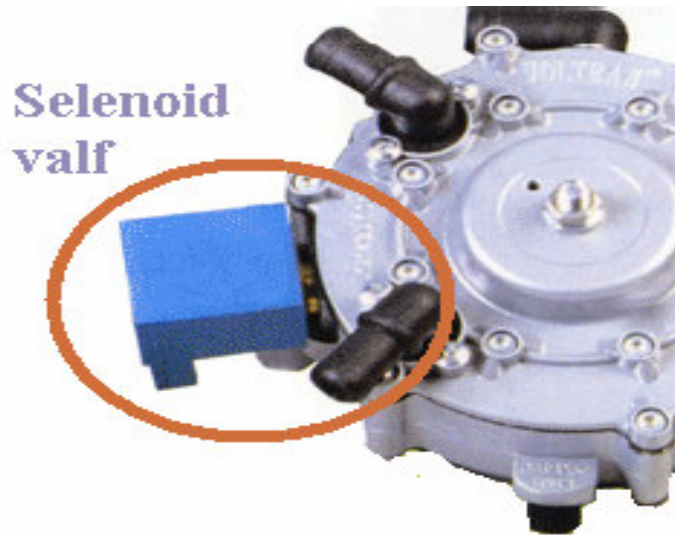
Şekil 4.14 Alçak basınç boruları ve gaz ayar vanası.

Alçak basınç bölümü diyafram ile soğutma suyu arasında kalan boş hacimdir. Yüksek basınç bölümüne gelen sıvı gaz, alçak basınç bölümüne geçerken sıvı halden gaz hale geçmektedir. Bu bölümde LPG'nin hal değişiminden dolayı ortamdan ısı çekmektedir. Bu durumdan dolayı regülatör bu ısı kaybını motor soğutma suyundan aldığı ısı ile karşılamaktadır. Alçak basınç bölümünde motorun yakabileceği LPG bu bölümde hazırlanmaktadır. Regülâtörde hazırlanan gaz alçak basınç borusunda bulunan gaz ayar vanasından geçerek karbüratör üzerinde bulunan mikserde gelmektedir. Gaz, mikserde hava ile karışarak motorun içine girmektedir. Şekil 4.14'de alçak basınç borusu ve gaz ayar vanası gösterilmiştir.

#### 4.2.14 Selonoid Valf

Regülatör üstünde bulunan ve kontak anahtarına bağlı olan gaz kesici valftir. Motor çalışmadığı zaman regülatördeki gazın kesilmesi gerekmektedir. Vakumlu tip regülâtörler gazı, manifold vakumuna göre ayarlamaktadır ve motor çalışmadığı zaman regülâtöre giren gaz kesilmektedir.

Elektronik regülâtörde ise motor çalışmadığı zaman veya kontak anahtarı açıldıktan 3–5 saniye sonra motorun çalışmaması durumunda gaz otomatik olarak kesilmektedir. Motor çalıştığı sürece regülatörün üstünde bulunan selonoid valf gaz girişini açık tutmaktadır. Şekil 4.15'de regülatör üstünde bulunan selonoid valf verilmektedir.



Şekil 4.15 Selonoid valf.

#### 4.2.15 Radyatör Suyu Giriş-Çıkış Boruları

Motor soğutma suyu regülâtöre girerek içinde bulunan gazın buharlaştırılmasını sağlar. Motor soğutma suyu kauçuk esaslı plastik boru ile regülâtörün sıcak su giriş ve çıkışına bağlanır. Soğutma suyu motor çalıştığı sürece regülâtörden de devirdaim eder. Şekil 4.16'da regülâtörde kullanılan sıcak su boruları verilmiştir.



Şekil 4.16 Sıcak su borusu ve kelepçeleri.

#### 4.2.16 Temizlik Tapası

Regülâtörün içinde biriken pisliklerin periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Regülâtör üzerinde bulunan temizlik tapası sökülerek içerisinde bulunan pislikler temizlenir. Şekil 4.13'de verilen regülâtörün üzerinde temizlik tapası gösterilmektedir.

#### 4.2.17 Rölanti Ayar Vanası

Regülâtörün yüksek basınç bölümünde bulunan gazın rölanti hızında motorun içerisine girebilmesini sağlar. Şekil 4.13'de regülâtörün şematik resminde rölanti ayar vidası gösterilmektedir. Şemada gösterilen rölanti vidasının önünde bulunan yayın tansiyonu değiştirilerek valfin açılması kontrol edilir. Rölanti ayar vidası sıkılarak yayın tansiyonu arttırılsa motorun rölanti devri düşer. Ayar vidası gevşetilerek yayın tansiyonu düşürülürse motorun rölanti devri artar.

#### 4.2.18 Alçak Basınç Borusu

Regülâtörün alçak basınç ucundan, karbüratörün üzerinde bulunan miksere gazın iletilmesi için kullanılan kauçuktan yapılmış plastik borudur. Motorun ısısından dolayı boruda her hangi bir delinme olmaması için alçak basınç borusunun dış kısmı çelik tellerden örülmüş koruma bulunmaktadır. Şekil 4.17’de alçak basınç hattında kullanılan kauçuk boru verilmektedir.



Şekil 4.17 Alçak basınç borusu.

#### 4.2.19. Gaz Ayar Vanası

Motorun düzenli bir şekilde LPG’de çalışması için alçak basınç borusu üzerine gaz ayar vanası bulunmaktadır. Gaz ayar vanası motorun maksimum gaz ayarının yapılması için kullanılır. Gaz ayar vanası çok kısılırsa motorun yüksek devirde gaz ihtiyacını karşılayamaz ve motorun çekişi düşer. Gaz ayar vanası gerektiğinden fazla açılırsa LPG tüketimi artar. Şekil 4.18’de karbüratörlü motorlar için kullanılan gaz ayar vanası gösterilmektedir.



Şekil 4.18 Gaz ayar vanası.



#### 4.2.20 Karıştırıcı (Mikser)

Karbüratörlü motorların gaz ile çalışması için karbüratörün üst veya alt kısmına takılan alüminyumdan yapılan aparatdır. Gaz ayar vanasından gelen gazın mikserde hava ile karışması sağlanmaktadır. Karbüratör tiplerine göre mikser özeliği değişmektedir. Şekil 4.19'da çeşitli karbüratörler için kullanılan mikser çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 4.19 LPG/doğal gaz mikserleri.

#### 4.2.21 Yakıt Seçme Anahtarı ve Elektrik Bağlantıları

LPG sistemlerinde aracın istenilen yakıt ile çalıştırılması için kullanılan bir elektronik kumanda sistemidir. Sürücü seyir halinde iken istenilen yakıt ile motoru çalıştırmak veya LPG deposunda bulunan gaz miktarını öğrenmek için yakıt seçme anahtarını kullanmaktadır. Yakıt seçme anahtarı üzerinde bulunan yakıt seçme düğmesi LPG pozisyonuna alındığında, benzin hortumu üzerinde bulunan elektro valf benzin akışını keserek LPG akışını sağlamaktadır. Bu konumda regülatörün içine LPG dolmaktadır. Eğer motor 3–5 saniye içerisinde çalıştırılmazsa yakıt seçme anahtarı içerisindeki elektronik devre LPG hattı üzerinde bulunan LPG elektro valflerini kapatarak gaz akışını keser.

Yakıt seçme düğmesi benzin pozisyonuna alındığında, yakıt seçme anahtarı LPG sistemi üzerindeki elektro valfleri kapatarak benzin valfini açar. Bu durumda motor sadece benzin ile çalışır.



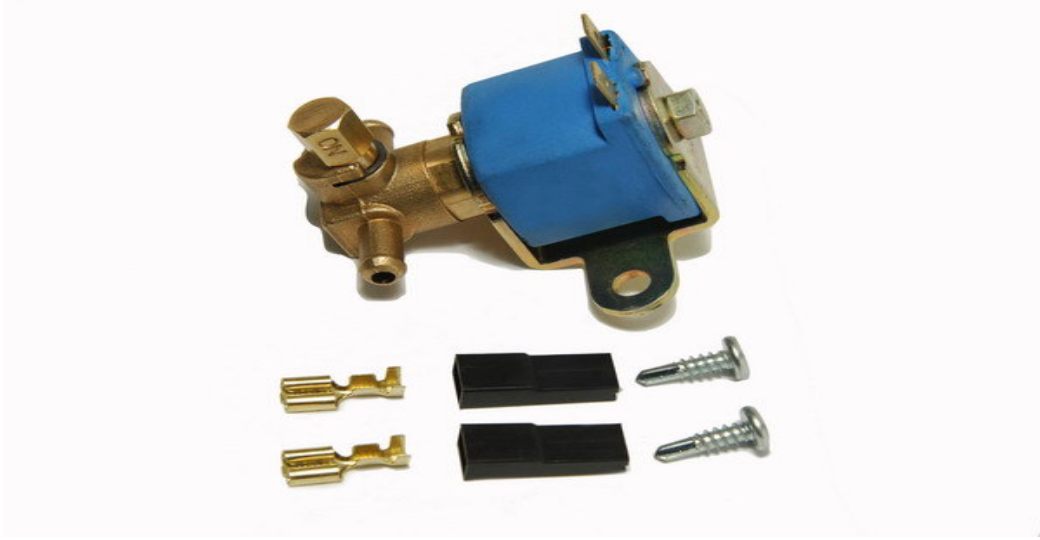
Yakıt seçme anahtarı, multivalf üzerinde bulunan yakıt seviyesi ölçme sensöründen aldığı sinyaller ile LPG deposunda bulunan gaz miktarını yakıt seçme anahtarı üzerinde göstermektedir. Kontak anahtarı kapatıldığı zaman yakıt seçme anahtarı benzin ve LPG yakıt sistemi üzerinde bulunan elektro valfleri kapatarak sistemde herhangi bir yakıt kaçağını engellemektedir. Şekil 4.20’de yakıt seçme anahtarı ve elektrik bağlantıları verilmiştir.



Şekil 4.20 Yakıt seçme anahtarı ve elektrik bağlantıları.

#### 4.2.22 LPG Yakıt Seçme Anahtarı

Depodan gelen benzinin karbüratöre gitmesini engellemek için benzin pompası ile karbüratör arasında Şekil 4.21’de gösterilen benzin elektro valfı takılmaktadır. Elektro valf benzin akışını kestiği zaman diyaframlı tip yakıt pompası çıkışında basıncın artmasından dolayı diyafram askıya alınır ve yakıt pompası çalışmaz. Motor benzin ile çalıştırılmak istenildiğinde benzin elektro valfı yakıt kanalını açar ve benzin pompası tekrar çalışmaya devam eder.



Şekil 4.21 Benzin için elektro valf.

Benzin pompası elektrikli olan sistemlerde ise benzin elektro valfı yakıt akışını kestiği zaman elektrikli yakıt pompasının elektriği kesilerek sistemin korunması sağlanmaktadır.

### **4.3 KARBÜRATÖRLÜ MOTORLARDA LPG YAKIT SİSTEMLERİNİN AYAR VE BAKIMI**

Karbüratörlü araçta LPG yakıt sisteminde ateşleme avans ayarı, LPG ayarı ve gaz kaçağı gibi ayar ve kontrol yapılmaktadır. Benzin ile LPG'nin yanma hızı farklı olduğu için ateşleme avans ayarının yakıt değiştiği zaman değişmesi gerekmektedir. Genelde ateşleme avans ayarı LPG sistemine göre değiştirilmektedir. Karbüratörlü motorlar için yapılan ayar, bakımlar ve kontrolleri şunlardır.

#### **4.3.1 Karbüratörlü Motorlarda LPG Yakıt Sisteminde Gaz Kaçak Kontrolü**

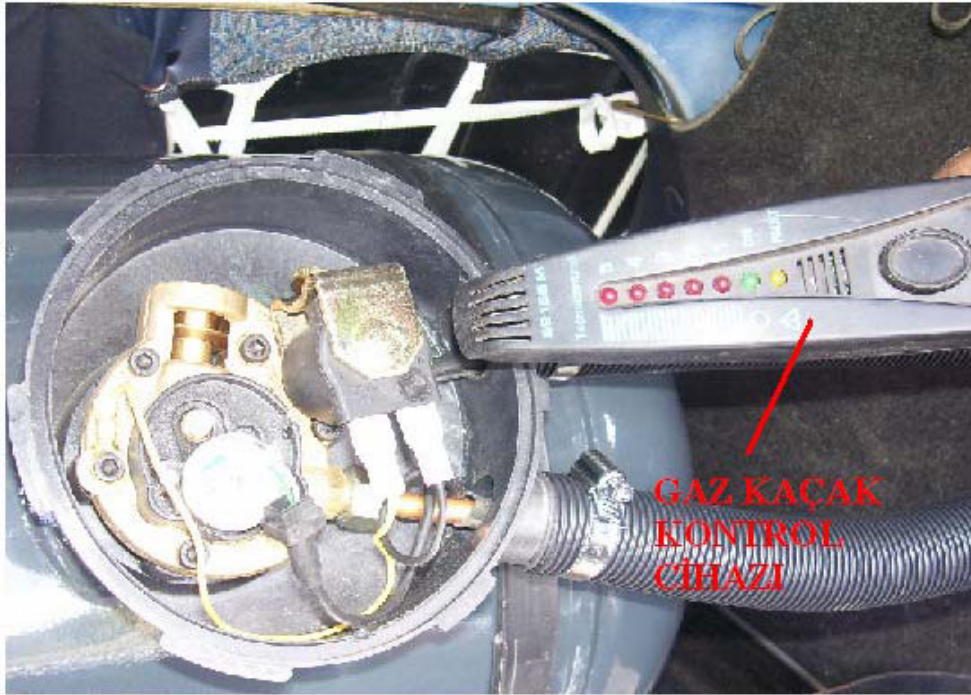
LPG sisteminde kaçak ve sızdırmazlık kontrolleri çok önemlidir. LPG yakıt sistemi kullanılan bir aracı olası bir gaz kaçağında kesinlikle çalıştırmamalıdır.

Yakıt dönüşüm sistemi yapılmış araç Makine Mühendisler Odasından sızdırmazlık raporu almadan trafiğe çıkması kesinlikle yasaktır. LPG dönüşümü yapılmış bir aracın güvenle kullanılması için sızdırmazlık kontrollerinden geçmesi gerekmektedir.

LPG dönüşümü yapılmış bir araç düz bir zemine alınarak gaz deposu normal şartlarda doldurulmalıdır. LPG dolumu yaptıktan sonra yakıt seçme anahtarı LPG pozisyonuna getirilir ve motor çalıştırılır.

LPG yakıt sisteminin el tipi gaz detektörü ile sızdırmazlık kontrolü sırasında;

El tipi gaz detektörü ile bagaj içerisinde bulunan deponun gaz giriş çıkış rakorları ve boruları kontrol edilmelidir. Şekil 4.22’de bagaj içerisinde bulunan deponun gaz kaçak kontrolünün yapılması verilmektedir.



Şekil 4.22 Multivalf gaz kaçaklık kontrolü.

El tip gaz detektörü deponun bağlantılarında herhangi bir gaz kaçağı bulunduğu anda detektör sinyal vermektedir. Bu şekilde hangi bağlantıda kaçak olduğu saptanmaktadır. Rekor yeniden anahtar ile sıkılır ve tekrar gaz kaçağı kontrol edilir. Eğer hala rekor gaz kaçırmaya devam ederse gaz kaçıran rakorun yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Değişim sonunda gaz dedektörü ile kontrol edilir. Eğer herhangi bir gaz kaçırmaya yok ise diğer bağlantılar kontrol edilir. LPG elektro valflerinin gaz giriş ve çıkış rakorları kontrol edilir.

Regülatörün gaz girişi, regülatör gövdesi ve alçak basınç borusu gaz kaçak kontrolü yapılmalıdır. Şekil 4.23’de regülatörün rekor bağlantılarının gaz dedektörü ile kontrol edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.23 Regülatör gaz kaçaklık kontrolü.

LPG yakıt sisteminde bütün bağlantı elemanları kontrol edilir. Gaz dedektörü kaçak gaz uyarısı yapıyor ise arızalı bağlantının mutlaka tamir edilmesi gerekmektedir..

#### **4.3.2 LPG Yakıt Sisteminin Bakım ve Onarımı**

Karbüratörlü araçlarda belli başlı yapılan ayar ve bakımlar şunlardır:

- Elektro valfin içerisinde bulunan kâğıt elemanlı gaz filtresi yenisi ile değiştirilir.
- Motorun hava filtresi yenisi ile değiştirilir.
- Bujiler sökülerek kontrol edilir değiştirilmesi gerekiyorsa yenisi ile değiştirilir.
- Motorun soğutma suyu seviyesi kontrol edilir.

- Bütün bakımları yapılan motorun LPG ayarı yapılır. Gaz ayarı yapılırken egzoz gazının CO, CO<sub>2</sub>, HC ve AFR (hava yakıt oranı) kontrol edilir.

#### 4.3.3 İşlem Basamakları, Öneriler

- LPG yakıt sistemi kullanılan aracı müşteri kabul bölümüne alınız.
- Servise gelen müşterinin araç ile ilgili şikâyetlerini dinleyiniz.
- Aracın kontrol ve ayarlarını yapmak için gerekli ön hazırlıkları yapınız.
- Aracın çamurluk örtülerini örtünüz.
- Emniyet kurallarına göre çalışınız.
- Yangın tüpünü aracın yanına getiriniz.
- LPG sisteminin göz ve cihaz ile sızdırmazlık kontrolü yapınız.
- Gaz detektör cihazı ile aracın genel olarak gaz kaçak kontrolünü yapınız.
- Gaz kaçağı kontrolü sırasında, aracın yanında yangın söndürücü bulundurunuz.
- Kaçak gaz kontrolünü kesinlikle ateş ile yapmayınız.
- Aracın LPG bağlantılarında gaz kaçağı tespit ederseniz gerekli onarımı gerçekleştiriniz.
- Bütün bağlantı elemanları kontrol edildikten sonra aracı gaz ayarı için hazırlayınız (8).

#### 4.3.4 Uygulama Faaliyeti

- Hava filtresi, buji vb parçaları kontrol ederek yenisi ile değiştiriniz.
- Hava filtresini yerinden sökerek temizleyiniz, gerekiyorsa yenisi ile değiştiriniz.
- Aracın bujilerini dikkatli bir şekilde sökünüz. Bujileri temizleyerek ayarını kontrol ediniz ve dikkatli bir şekilde takınız.
- LPG sisteminde gaz ayarına geçmeden önce motorun son kontrollerini yapınız.
- LPG ile çalışan motorlarda ateşleme avansının artırılması gerekir.
- Ateşleme avansını distribütörden 2–3 derece arttırınız.
- Ateşleme avansını motor gazda çalışırken yapmalısınız.
- Aracı LPG’de çalıştırınız.
- Gaz ayarı için motoru çalıştırınız ve motorun normal çalışma sıcaklığına gelmesini bekleyiniz.
- Aracın atölye içerisinde çalışması esnasında ortamı havalandırınız.

- Gaz analiz cihazı ile egzoz gazının analizini yapınız.
- Gaz analizör cihazını aracın yanına getiriniz ve çalıştırınız.
- Gaz analiz cihazının hortumunu egzoz borusuna 20–30 cm girecek şekilde yerleştiriniz.
- Gaz analiz cihazının ekranından egzoz gazlarının oranlarına bakınız.
- Ekranda verilen değerleri kontrol ediniz. CO ve Lambdayı kontrol ediniz.
- CO oranı normal benzinli karbüratörlü motorlarda %2–3 olmaktadır. Fakat gazlı araçlarda bu oran çok düşmektedir.
- LPG ile çalışan motorun rölanti ve maksimum gaz ayarını yapınız.
- Yakıt seçme düğmesinin LPG pozisyonunda olduğundan emin olunuz.
- Regülatörün üzerinde bulunan rölanti ayar vidası ile motorun normal rölanti devrinde çalışması için ayar yapınız.
- Yüksek devirde gaz ayarı yapmak için alçak basınç borusu üzerinde bulunan gaz ayar vanası ile karbüratöre giden gaz miktarını ayarlayınız.
- Yüksek devir gaz ayarı yapmak için motoru 2500–3000 devirde çalıştırınız.
- Gaz ayar vanasını yavaş yavaş çeviriniz ve biraz bekleyiniz.
- Motorun devrinde değişmeyi gözlemleyiniz.
- Gaz analiz cihazı ile egzoz gazlarını kontrol ediniz. Unutmayınız egzoz gazında değişme bir müddet sonra olmaktadır.
- Gaz analiz cihazının gösterdiği AFR ve CO oranını LPG sistemi üreten firmanın verdiği değere gelene kadar ayara devam ediniz.
- Gaz ayarı sırasında motorun çalışmasını sürekli kontrol ediniz.
- Gaz ayar işlemi bittikten sonra motorun rölanti devrinden yüksek hıza çıkışını kontrol ediniz.
- Bu işlem sırasında motorun kendini hemen toparlayarak yüksek hıza geçmesidir.

#### 4.4 ÇİFT YAKITLI MOTORLAR

Çift yakıtlı dizel motorları gaz-dizel yakıtı ya da sadece dizel yakıtı ile çalışan motor olarak tanımlanmaktadır. Çift yakıtlı motor da gaz, hava ile karıştırılarak silindir içerisine alındıktan sonra karışım sıkıştırılır ve sıkıştırma zamanının sonuna doğru da dizel yakıtı enjektörden püskürtülerek iş zamanı gerçekleştirilir.

Çift yakıtlı yanmanın karakteristikleri tek yakıtlı yanmadan farklı olmaktadır. Dizel yakıt buharı silindir içerisine püskürtüldüğü için yüksek sıcaklıkta sıkıştırılan hava ile karıştıktan sonra kendi kendine tutuşan ve buharlaşan damlacıklar içinde çabucak çözülür. Çift yakıtlı çalışmada ise yanma tersine alevin yayılması ile kontrol edilme eğilimindedir. Pilot dizel yakıtıyla sağlanan enerji bir buji kıvılcımıyla sağlanan enerjiden daha büyüktür. Bu durum motorun yeterli derecede fakir hava-yakıt oranında çalıştırılması için bir çift yakıtlı motora uygulanabilmektedir.

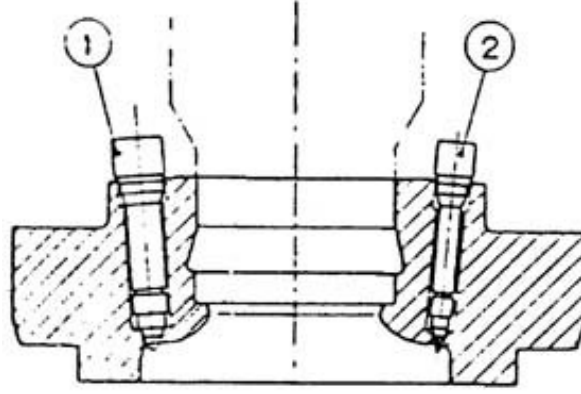
Pilot püskürtme demetinin enerjisi, bujide sağlanan enerjinin  $10^2-10^4$  katı kadardır. Böylece hava fazlalık katsayısının 1,4-2'lik değerlerinde de ilk tutuşma garanti edilmektedir. Bundan daha önemlisi, pilot püskürtme ile oda şekline uygun püskürtme demeti oluşturularak, ayrıca silindir içinde yaratılan hava hareketinin de yardımıyla, yanmanın odanın her noktasında aşağı yukarı aynı anda başlaması sağlanmaktadır. Bu şekilde 16-17'lik sıkıştırma oranlarında vuruntusuz yanma elde edilebilmektedir. Pilot püskürtme dizel motorunun orjinal enjektörü ile yapılırsa, bu enjektörün deliği pilot püskürtme debileri için göreceli olarak büyük kaldığından, demetin kalitesi kötü olacaktır (demet derinliği az, damlacık çapları büyük). Yanma odası içine oldukça homojen dağılmış olan gaz-hava karışımı, bazı noktalarda tam olarak yanamaz.

Bu durumda zararlı egzoz gazı emisyonlarında ve yakıt tüketiminde artış görülmektedir. Ancak orjinal püskürtme enjektörü kullanmanın en büyük avantajı motorun çalışması sırasında doğalgaza veya dizel yakıtına geçişe olanak vermesidir.

Delik çapı pilot püskürtmenin yakıt debisine uydurulmuş, daha küçük delikli enjektör kullanılırsa, yanma verimi ve emisyon açısından bir sorun olmayacaktır. Bu durumda yakıt tüketimi ve emisyon değerleri yaklaşık normal dizel yakıtı ile elde edilen seviyeye, bazen de daha aşağıya inmektedir.

Doğalgazın silindir içerisine enjekte edilmesi istendiğinde motor konstrüksiyonunda değişiklik yapılması gerekmektedir. Motor silindir kafasında değişiklik yapılarak ve yakıt olarak gelen doğalgazın basıncı yükseltilerek işlem yapmamız gerekecektir. Sıkıştırma prosesi sonuna doğru gaz yakıt, ayrı bir enjektör vasıtasıyla silindir içerisine enjekte edilir. Burada sıkıştırma sonunda silindir içerisine enjekte edilen pilot yakıtın püskürtme avansı önemlidir. Bu avansın azaltılması gerekir, azaltılmadığı takdirde bu sebeple güç düşmesi olur. Pilot yakıt yardımıyla sıkıştırma sonunda silindir içerisinde tutuşma temin edilir. Bu sistemde, silindir

kafası içinde, bir gaz diğeri pilot yakıt olmak üzere iki enjeksiyon valfine ihtiyaç duyulmaktadır. Motorun normalde olduğu gibi aynı güçte çalışabilmesi için ya yüksek basınçlı gaz enjeksiyonu ya da gaz yakıtla beraber diesel yakıtının birlikte kullanılması gerekmektedir.



Şekil 4.24 Gaz yakıt enjeksiyonu.

Gaz yakıt enjektörü ve pilot yakıt enjektörünün silindir kafasındaki yerleri Şekil 4.24'te gösterilmiştir.

#### 4.4.1 Doğalgazın Otto Motorlarında Kullanımı

Doğalgaz benzin motorlarında fazla bir değışiklik yapılmadan kullanılabilir. Benzin motorları istenildiği zaman benzinle, istenildiği zaman doğalgazla çalıştırılabilir. Doğalgazı benzin motorlarında çok az miktarda kullanmamız mümkün olduğu gibi, tek yakıt olarak da kullanmamız mümkündür. Her iki durumda da egsoz emisyonlarında kirlilik azalmakta, özellikle karbonmonoksit miktarında önemli azalmalar olmaktadır. Motor her iki yakıtta Otto çevrimi ile çalışabilir. Elektrikli ateşleme sistemi aynen kullanılır. Doğalgazın benzin motorlarında kullanılması halinde pilot yakıt, ateşleme sistemi ile karışımın ateşlenmesi durumu mevcut olduğundan gerekmemektedir.

Bir benzin motoruna gaz/hava karbüratörünün ilavesi ve ateşleme sisteminin motora uygun olarak yeniden düzenlenmesi ile motorun doğalgaz moturu olarak kullanılabilmesi mümkündür. Bunların dışında doğalgazın depolanması ve depodan motora sevki için gerekli basınç regülâtörü, emniyet sübabı gibi elemanlar ile sistemin donatılması gerekmektedir.



Yüksek basınçta depolanan doğalgazın basıncının regülâtörlerde düşürülmesinden sonra gaz karbüratöründe hava ile karışım sağlanmaktadır. Gaz karbüratörlerinin karışımı homojen bir şekilde ve istenen yakıt/hava oranında hazırlanması, motor gücünü düşürmeyecek şekilde akış direncinin mümkün olduğu kadar az olması, motorun tüm çalışma şartlarında emniyetli çalışması, bütün silindirlere aynı yakıt/hava oranında hazırlaması, motor gücünü düşürmeyecek şekilde akış direncinin mümkün olduğu kadar az olması, motorun tüm çalışma şartlarında emniyetli çalışması, bütün silindirlere aynı yakıt/hava oranında karışım göndermesi ve kirletici egsoz emisyonunu düşük seviyede tutacak şekilde karışımın hazırlanması gerekmektedir.

Benzin motorlarında dizel motorlarında olduğu gibi venturi karbüratörü, orifis (delikli) karbüratör, girdap (vorteks) karbüratör ve değişken sınırlamalı karbüratör kullanılmaktadır.

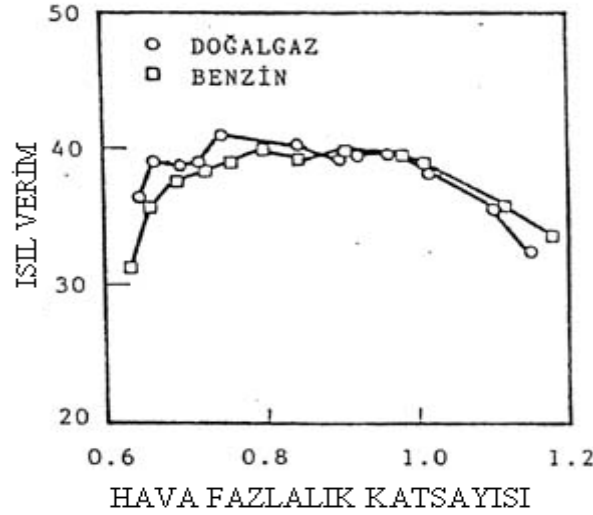
Doğalgaz sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeniyle Otto ilkesine göre çalışan motorlar için uygun bir yakıttır. Ancak, benzine oranla birim kütlelerinin sahip olduğu enerji yoğunluğu daha fazla olduğu halde, stokiyometrik oranlardaki karışım enerji yoğunluğu benzine oranla daha düşüktür. Bu nedenle aynı motordan alınacak güç, doğalgaz kullanıldığında düşmektedir. Ayrıca yanma hızının da düşük olması, ısı verim açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğalgazın tutuşma sınırının, fakir karışımlara doğru gidildikçe, benzine oranla daha geniş olması ısı veriminin bu şartlarda daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

Şekil benzine oranla daha düşüktür. Bu nedenle aynı motordan alınacak güç, doğalgaz kullanıldığında düşmektedir. Ayrıca yanma hızının da düşük olması, ısı verim açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğalgazın tutuşma sınırının, fakir karışımlara doğru gidildikçe, benzine oranla daha geniş olması ısı veriminin bu şartlarda daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

Şekil 4.25'de hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı veriminin değişimi görülmektedir. Diğer taraftan doğalgaz kullanımı sırasında maksimum momenti sağlayabilmek için ateşleme avansının artırılması gerekmektedir.

Diğer taraftan doğalgaz kullanımı sırasında maksimum momenti sağlayabilmek için ateşleme avansının artırılması gerekmektedir. Hava fazlalık katsayısının daha fakir değerlerinde bu fark daha da belirgin olmaktadır.

Dizel motorlarının sıkıştırma oranları 18:1 gibi oldukça büyük değerlerdedir, doğalgaz motorlarında bu değerin daha düşürülmesi gerekmektedir. Bunun içinde ya daha küçük pistonlar kullanılır ya da pistonlar talaş kaldırma işlemi ile istenilen 12:1 mertebesinde sıkıştırma oranlarına ulaşılabılır. Doğalgazı oluşturan elemanlardan metan diğer hidrokarbonlara göre daha az reaktif olduğu için tutuşturulması için de daha yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Bunun içinde daha yüksek enerji veren buji kullanılması gerekir.



Şekil 4.25 Hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı veriminin değişimi.

#### 4.4.2 Etanolün Otto ve Dizel Motorlarında Kullanımı

Etanol, içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Etanol patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilir. Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi tarım ürünlerinin bolca yetiştirildiği ülkeler için geçerlidir. Bu sebeple etanol yakıtının alternatif bir yakıt olarak motorlarda kullanılması dünya çapında sınırlı kalmıştır. Ayrıca günümüzdeki etanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani etanolün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır.

Etanol temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Etanolün ısı değeri benzinden daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir.

Etanolün, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler yaratır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının arttırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir.

Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Çizelge 4.8’de uygulanabilecek metodlar ve bu metodların avantaj ve dezavantajları gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 Etanolün dizel motorlarında kullanımını için geliştirilen metodlar.

<b>METOD</b>	<b>AVANTAJLAR</b>	<b>DEZAVANTAJLAR</b>
Kimyasal Katkı Maddesi	Motorda Değişikliğe Gerek Yok	Katkı Maddelerinin Pahalı Olması Ve Gerekli Miktarının Çokluğu
Emülsiyon	Motorda Çok Az Değişiklik Gerektirir	Yakıtın % 50’sinin Dizel Olması Nedeni İle İki Ayrı Yakıt Tankı Gerektiriyor
Etanolün Ve Dizel Enjektörlerinin Ayrı Kullanımı	Pilot Enjeksiyon İçin Az Miktarda Dizel Yakıtı Gereksinimi	Karmaşık Kontrol Sistemi Ve İki Ayrı Enjeksiyon Sistemi Gereksinimi
Yüzey Ateşlemesi	Tekbir Yakıt Gerektirmesi	Sıcak Yüzey Eldesi İçin Gerekli Enerjinin Büyük Olması
Buji Ateşlemesi	Tek Bir Yakıt Gerektirmesi	Ateşleme Sisteminin Fiyatı

Etanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksek, buhar basıncı düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi etanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir.

İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması olmaktadır. Çeşitli deneyler sonucunda varılan sonuçlar şu şekilde sırlanabilir:

Benzine etil alkol katılması yanmayı iyileştirmekte vurutuya dayanıklılığı artırmaktadır. En iyi karışımın % 10 hacimsal oranlı etil alkol – benzin karışımı olduğu belirlenmiştir. Bu karışımda düşük sıkıştırma oranlarında ( $\epsilon=7,5$  için) %7; yüksek sıkıştırma oranlarında ( $\epsilon=9,5$  için) %15 verim artışı sağlanmaktadır. Ayrıca alkol kullanımı hava kirliliğini önemli düzeyde azaltmaktadır.

Alkollerin buhar basıncı düşük olduğundan alkol karışımları kullanıldığında özellikle soğuk havalarda ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekir. Ayrıca alkolün (ve içinde bulunabilecek suyun) emme ve yakıt sistemi ve diğer motor elemanları üzerindeki korozif ve aşındırıcı etkileri incelenmeli, bu etkilere karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

Güncel tekniklerde etil alkol üretimi pahalıdır ve genellikle gıda kaynaklarına dayanmaktadır. Ucuz alkol üretimi için yeni yöntemler geliştirilmelidir.

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi daha çok geniş tarım alanlarına sahip ülkelerde yaygındır. ABD’de tarımla uğraşılan eyaletlerde, %80 etanol %20 benzin karışımı olan E80 yakıtı, yıllardan beri otomobillerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Petrol rezervlerinin hemen hemen olmadığı fakat özellikle şeker kamışının bol bulunduğu Brezilya’da otomobiller 15 yıldan fazla bir süredir etanolle çalışmaktadır.

#### **4.4.2.1 Yanma Performansı**

Etanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğukta çalışmayı güçleştirmektedir. Kendi kendine ateşleme direncinden dolayı etanol Otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Etanol yakıtı metanol gibi dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır. Yanma enjeksiyon zamanlamasına bağlıdır. Enjeksiyon zamanlamasının iyi olmaması karışımın erken yanmasına neden olabilir.

#### **4.4.2.2 Egzoz Emisyonu**

Etanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanma işleminin iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO<sub>x</sub> ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır..

#### **4.4.2.3 Günümüzün Etanol Yakıtlı Taşıtları**

Volkswagen: Brezilya'da etanolün taşıtlarda kullanılmaya başlanmasından sonra VW firması tarafından geliştirilen %85 etanol ve %15 benzin karışımından oluşan E85 yakıtı kullanabilen arabalar kullanılmaktadır.

General Motors: Amerikanın Wisconsin ve Illinois şehirlerinde kullanılmak üzere, etanol yakıtı kullanabilen 50 adet prototip geliştirdi. Bu taşıtlarda %85 etanol %15 benzin karışımından oluşan E85 yakıtı kullanılmaktadır ..



## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, tek silindirli, hava ile soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda sabit gaz kolu konumunda değişik pilot dizel yakıtlarıyla LPG kullanılmasının motor performans ve emisyonuna etkileri araştırılmıştır.

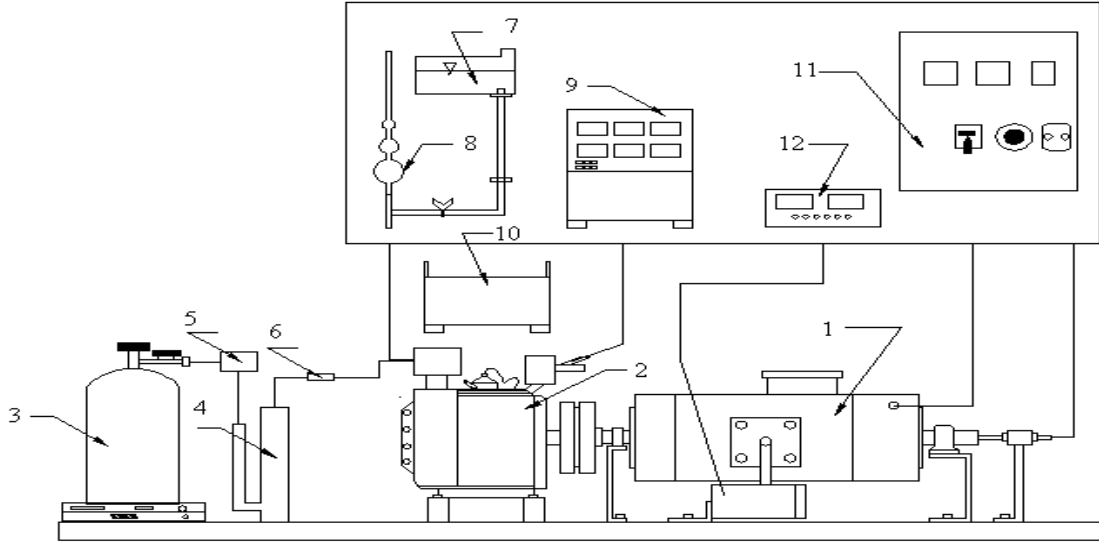
#### 5.2 DENEY MATERYALİ

##### 5.2.1 Deney Yeri ve Deney Tesisatı

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



Şekil 5.1 Deney tesisatının genel görünümü.



Şekil 5.2 Deney tesisatının şematik görünüşü.

1- Dinamometre, 2- Deney Motoru 3- LPG Tüpü ve Elektronik Terazi, 4- Sulu Güvenlik, 5- Hassas Vana, 6- Alev Geri Tepme Valfi, 7- Yakıt Deposu, 8- Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi, 9- Emisyon Ölçüm Cihazı, 10- Is Emisyon Ölçüm Cihazı, 11- Dinamometre Kontrol Panosu 12- Load Cell İndikatörü.

### 5.2.2 Deney Motoru

Yapılan deneylerde, Şekil 5.3’de görülen tek silindirli, direkt püskürtmeli, 4 zamanlı, atmosferik emişli, hava soğutmalı sıkıştırma oranı 18/1 olan Katana KM 170 F marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.3 Deney motoru (Katana KM 170).



Çizelge 5.1 Deney motoruna ait teknik özellikler.

Model	Katana KM 170 F
Motor Tipi	4 Zamanlı, Üstten Valfli, Tek Silindirli, Yatay Şaftlı
Çap x Strok	70 x 55 mm
Hacim	211 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma Oranı	18/1
Yakıt Sistemi	Direkt püskürtme
Maksimum Çıkış Gücü	3,46 kW
Devamlı Çıkış Gücü	3,1 kW
Maksimum Motor Hızı	3600 d/d
Çalıştırma Sistemi	Otomatik Mekanizmalı İpli, Marşlı
Elektrik Sistemi	12 V- 18 AH
Hava Filtresi	Çift Elemanlı- Yağ Banyolu
Yakıt Depo Kapasitesi	2,5 L
Yakıt Cinsi	Dizel
Soğutma Sistemi	Cebri Hava Soğutmalı
Boyutları	332 x 384 x 416 mm

### 5.2.3 Deneylerde Kullanılan Yakıtlar

Yapılan deneysel çalışmada Çizelge 5.2’de gösterilen dizel yakıtlar ile Çizelge 5.3’te gösterilen propan-bütan karışımı LPG yakıtı kullanılmıştır.

Çizelge 5.2 Dizel yakıtlarının teknik özellikleri.

Yakıtın Adı	Yoğunluk (kg/l)	Kükürt (ppm)	Tutuşma Noktası (°C)	Su İçeriği (ppm)	Setan Endeks	Destilasyon
D49,8 <sup>a</sup>	0,8425	1670	62	132,18	49,8	-
D55,6	0,828	22	60	87	55,6	-

<sup>a</sup>Dizel yakıt özellikleri: Şeyhoğlu Tic. Ltd. Şti.’den alınmıştır (Shell İst. Atatürk Bulvarı Karabük).

Çizelge 5.3 LPG yakıtının teknik özellikleri.

Özellikler	Propan-Bütan	Miks LPG
Kapalı Kimyasal Formülü	$C_3H_8 - C_4H_{10}$	%30 $C_3H_8$ +%70 $C_4H_{10}$
Molekül Ağırlığı (g/mol)	44,09 – 58,12	53,91
<b>Likid Halinde</b>	<b>Birim</b>	<b>Miks LPG<sup>b</sup></b>
Normal Kaynama Noktası	°C	-13
Normal Erime Noktası	°C	-154
Normal Parlama Noktası	°C	-74
Normal Donma Noktası	°C	-153
Özgül Kütle (15°C'da)	kg/dm <sup>3</sup>	0,56
Özgül Hacim (15°C'da)	dm <sup>3</sup> /kg	1,786
1kg gazın tam yanması için gerekli hava miktarı	Nm <sup>3</sup> /kg	12,06
Buharlaşma Gizli Isısı	kcal/kg	91,55
Üst Isıl Değeri	kcal/kg	11,798
Alt Isıl Değeri	kcal/kg	10,965

<sup>b</sup>. LPG yakıt özellikleri: <http://www.ipragaz.com.tr/docs/teknik.pdf>

#### 5.2.4 Motor Deney Seti ve Dinamometresi

Deneylerde motorun yüklenmesi için Şekil 5.4'te kumanda panosu ve Şekil 5.5'te görülen Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanıldı. Deney seti motor kuvvetini, hızını ve egzoz gazı sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 5.4 Elektrikli dinamometre panosu.



Şekil 5.5 Elektrikli dinamometre.

### 5.2.5 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

Dizel yakıtının, yakıt tüketimini hacimsel olarak ölçmek için motorun 10 ml yakıtı tüketim süresi belirlenmiştir. Yakıt tüketim ölçme düzenegi Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

### 5.2.6 Kronometre

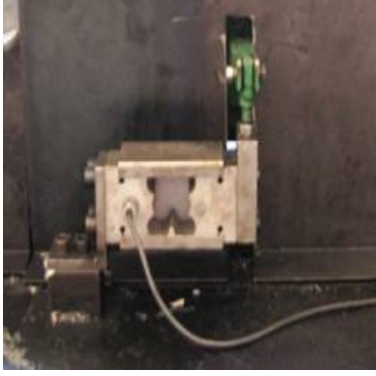
Yakıt tüketim süresinin ölçülmesinde Şekil 5.7’de verilen 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Caston ST-613D marka bir kronometre kullanılmıştır.



Şekil 5.7 Kronometre.

### 5.2.7 Load Cell

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için ESIT marka SP 100 kg C1 Load Cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonucunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor torku hesaplanmıştır. Load Cell ve indikatörün görünüşleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.8 Load cell (a) ve indikatörün (b)görünümleri.

### 5.2.8 Egzoz Gaz Analizörü ve İş Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneylerde kullanılan egzoz gaz analizörü, MRU DELTA 1600L marka olup, HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> O<sub>2</sub> ve  $\lambda$  (hava fazlalık katsayısı) parametrelerini ölçebilmektedir. Çizelge 5.4'te egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmiştir. Şekil 5.9'da egzoz gaz analizörü görülmektedir. İş emisyonu ölçümü Şekil 5.10'da görülen MRU OPTRANS 1600 iş emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. İş ölçüm cihazı, bir data kablosu ile ölçüm bilgilerini gösterge adaptörüne iş koyuluğu N ve K faktörü cinsinden gönderir.

Çizelge 5.4 Egzoz gaz analizörünün ve iş emisyon cihazının teknik özellikleri.

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyeti
Oksijen	%0 - 25	$\pm$ %0,1 - $\pm$ %3
Karbon monoksit	%0 - 15	$\pm$ %0,06 - $\pm$ %5
Karbon dioksit	%0 - 20	%5 - $\pm$ %5
Hidrokarbon	0 - 20000 ppm	$\pm$ 12 ppm - $\pm$ %5
Azot oksit	0 - 4000 ppm	$\pm$ 12 ppm - $\pm$ %5
Duman koyuluğu	% 0 - 100	$\pm$ %2



Şekil 5.9 Egzoz gaz analizörü.



Şekil 5.10 İS emisyon ölçüm cihazı (a) ve göstergesi (b).

### 5.2.9 LPG Tüpü ve Regülatörü

Deneylerde kullanılan LPG yakıtı, Şekil 5.11’de görülen İPRAGAZ marka 12 kg’lık ev tipi LPG tüpünden sağlandı. LPG gazının basıncını kontrol edebilmek için LPG tüpünün üzerine ALTINBOĞA marka gaz regülatörü takılmıştır.



Şekil 5.11 LPG tüpü ve regülatörü.

### 5.2.10 Ölçekli Vana

Deneylerde kullanılan LPG gazının debisinin hassas olarak kontrolü için Şekil 5.12’de görülen hassas bir vana kumanda ucu, ölçeklendirilmiş karton levhadan geçirilmiş ve ucuna çelik bir tel bağlanarak kullanılmıştır.



Şekil 5.12 Ölçekli vana.

### 5.2.11 Elektronik Tartı

Deneylerde tüketilen LPG gazının kütleli ölçümü DİKOMSAN JS-B 30kg x 1g Scale marka elektronik tartı cihazıyla dijital olarak yapılmıştır. Şekil 5.13’de verilen elektronik tartımın maksimum 30 kg tartma kapasitesi ve 1 g hassasiyeti vardır.



Şekil 5.13 Elektronik tartı.

### 5.2.12 Güvenlik Ekipmanları

Şekil 5.14'te gösterilen DRAGER MSI SENSIT HXG marka gaz kaçak tespit cihazı deneyler sırasında olası bir LPG gaz kaçağını tespit etmek için kullanılmıştır. Şekil 5.15'teki sulu güvenlik aparatı ve alev geri tepme valfi, LPG'nin güvenli bir şekilde motora gönderilmesi ve ve alev tepmesinin önüne geçmek amacıyla kullanılmışlardır.



Şekil 5.14 Gaz kaçak tespit cihazı.





(a)



(b)

Şekil 5.15 Sulu güvenlik aparatı (a) ve alev geri tepme valfi (b)

### 5.3 DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce motorun ayarları kontrol edildi ve motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlandı. Bu tezde esas yakıt olarak LPG ile birlikte farklı özellikteki iki pilot dizel yakıtın motor performans ve emisyonlarına etkisi araştırılmıştır.

#### 5.3.1. Motor Deneyleri

Esas deneylere başlamadan önce, belirli bir ilk gaz kolu konumu ve yük durumunda motor pilot dizel yakıtı ve LPG ile çalıştırılırken aşırı yüklememek için (dizel motor regülatörüne müdahale edilmeden) her bir gaz kolu konumu için maksimum çıkılabilecek motor devri belirlenmiştir. Bunun için değişik gaz konumlarında (%20, %25, %50, %75) motor D49,8 dizel yakıtıyla önce yüksüz olarak çalıştırıldıktan sonra dinamometre ile yüklenerek sabit 1800 d/d'da çalışması sağlandı. Sonra ilave edilebilecek maksimum LPG miktarını tespit etmek için mevcut yük altında gaz kolu tam gaz konumuna getirilerek motorun çıkabileceği maksimum devir belirlendi (örneğin %20 GKK'da sabit 1800 d/d'da çalışmayı sağlayan yük altında gaz kolu tam gaz konumuna getirildiğinde motor ancak 3000 d/d'ya çıkmıştır. Bu %20 GKK'nda başlangıç yükü altında başladığı zaman motor hızı en fazla 3000 d/d'ya çıkana kadar LPG ilave edilebilir anlamına gelir) ve gaz kolu tekrar eski konumuna alındı. Bu ön çalışma sonucunda Pilot dizel yakıtı + LPG ile geniş çalışma aralığına (1800-3000 d/d

arasında) imkan sağlayan gaz kolu konumunun %20 GKA olduğu tespit edildi. Buna göre deneysel çalışmada, 1800 d/d dan çıkılabilecek maksimum devire 200'er d/d lık artışlar sağlanacak şekilde LPG ilave edilmesi kararlaştırıldı. Bunun için önce motor %20 gaz kolu açıklığında D49,8 dizel yakıtıyla başlangıç yükü altında 1800 d/d'da çalıştırılarak kuvvet, sıvı ve gaz yakıt tüketimi ve süreleri, EGS, CO, CO<sub>2</sub>, HC, CO NO<sub>x</sub>, emisyonları kaydedildi. Sonra D49,8'e LPG ilave edilerek motor devri 2000 d/d'ya çıkarıldı ve kararlı çalıştığı görüldükten sonra veriler kaydedildi %20 gaz kolu açıklığında D49,8+LPG ile maksimum devre çıkana kadar benzer şekilde çalışmaya devam edildi. D49,8+LPG çalışması tamamlandıktan sonra D55,6+LPG için de aynı şekilde deneyler tekrarlandı. Bir mukayese yapabilmek amacıyla %25 GKK için de deneyler yapıldı. Deneylerden elde edilen veriler grafikler halinde "Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi" bölümünde verilmiştir.

## 5.4 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

### 5.4.1. Motor Momenti ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 metre uzaklıktaki Load- Cell'den okundu ..

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F \times g \times L \quad (5.1)$$

Burada;

$M_e$  : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load Cell'den okunan kuvvet (kg)

g : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

L : Motor merkezinin Load Cell'e uzaklığı (m)

Örnek olarak motor devri 2000 d/d'de iken dinamometreden okunan kuvvet F: 3 kg olduğuna göre, 2000 d/d'deki motor momenti; :(5.1)'deki eşitlikte yerine konularak 7,3575 Nm olarak hesaplandı.

Motor gücü değişimi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

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

$P_e$ : Efektif motor gücü (kW)

$M_e$ : Efektif motor momenti (Nm)

$N$ : Motor devri (d/d)

Örnek olarak; motor gücü hesabında, motor devri 2000 d/d'de eşitlik (5.1)'e göre hesaplanan motor momenti 7,3575 Nm (5.2)'deki eşitlikle yerine yazıldığında;

$$P_e = \frac{7,3575 \times 2000}{9549} = 1.54kW \text{ Olarak hesaplandı.}$$

#### 5.4.2 Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Çalışmada yakıt tüketimlerini ölçmek için kütleli ve hacimsel yöntem kullanıldı. Motor deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki dizel yakıt tüketimi kg/h cinsinden hesaplandı.

Shell firmasından temin edilen D49,8 dizel yakıtının yoğunluğu 0,8425 kg/dm<sup>3</sup> ve D55,6 dizel yakıtının yoğunluğu 0,828 kg/dm<sup>3</sup> olarak teyit edildi.

LPG yakıt tüketimi ise hassas elektronik terazi yardımıyla 1grlık gaz yakıtın tüketilme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki LPG yakıt tüketimi kg/h cinsinden hesaplandı.

İpragaz firmasından temin edilen LPG gazının yoğunluğu 0,56 kg/dm<sup>3</sup> olarak teyit edildi.

Örnek olarak motor D49,8 motorin ile 2000 d/d ile çalışırken 10ml yakıtı 86,69 saniyede tükettiğine göre;

10 ml D49,8 yakıt=0,01 litre

10 ml D49,8 yakıt=0,01x0,8425=0,008425 kg

Motorun saatteki yakıt tüketimi

$$B = \frac{0,008425 \times 3600}{86,69} = 0,35 \text{ Kg/h}$$

Olarak hesaplandı.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır;

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

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

$$b_e = \frac{0,35 \times 1000}{1,54} = 227,27 \text{ g/kWh} \text{ özgül yakıt tüketimi miktarı belirlendi.}$$

## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Direk enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel motorunda, farklı özellikteki pilot dizel yakıtları ile LPG kullanılmasının motor performans ve emisyonlarına etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bu deneysel çalışmanın sonuçları grafikleri halinde verilmiş ve bunların açıklamaları yapılmıştır. Bu sonuçlar motor performansları ve egzoz emisyonları olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir

#### 6.1 MOTOR PERFORMANSLARI

Motor performansları motor torku, gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklıkları olmak üzere dört başlıkta incelenmiştir.

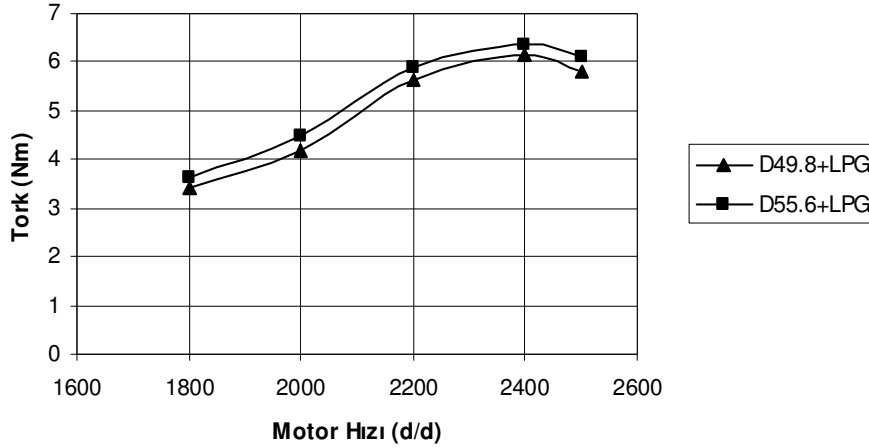
##### 6.1.1 Motor Torku

Şekil 6.1’de %20 GKK’da belirli bir dinamometre yükü altında sabit 1800 d/d motor hızında D49.8 veya D55,6 saf dizel yakıtı ile çalışan motorda vuruşta başlayıncaya kadar 200 d/d’lık hız artışı sağlayacak şekilde LPG verildiğinde motor torku değişimleri görülmektedir.

D49,8+LPG denemesinde, yukarıda belirtildiği koşullarda 1800 d/d motor hızındaki tork değeri 3,43 Nm’dir. Silindir içersine LPG verilerek, motor devri ile beraber motor torku da artmıştır. Motor hızı 2400 d/d olduğunda motor torku 6,13 Nm olarak hesaplanmıştır. 2400 d/d motor hızını geçtikten sonra silindir içersinde meydana gelen düzensiz yanma ve vuruşlar neticesinde motor torku düşmeye başlamıştır. Tork, 2500 d/d motor hızında 5,8 Nm olarak hesaplanmıştır.

D55+LPG çalışmasında 1800 d/d motor hızında tork 3,63 Nm olmuştur. LPG’nin motora verilmesiyle diğer çift yakıt çalışmasına benzer şekilde bir tork artışı olmuştur. Hesaplanan değerler diğer çift çalışmada elde edilen değerlerin üzerindedir. Benzer bir şekilde bu

çalışmada 2400 d/d da motor torku 6,37 Nm olurken, bu motor hızının üzerine çıkıldığında motor torku düşmeye başlamış ve 2500 d/d motor hızında 6,09 Nm olmuştur. Bu çift yakıt D49,8+LPG ile karşılaştırıldığında, D55,6 dizel yakıtının diğer dizel yakıtına göre silindir içersinde LPG ile birlikte daha iyi yandığı ve sonuçta daha fazla motor torku ürettiği kaydedilmiştir.



Şekil 6.1 %20 GKK'da motor hızının motor torkuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

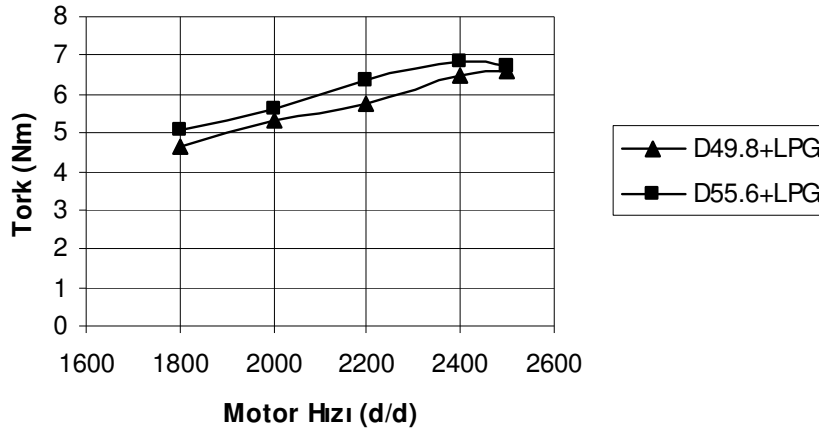
Şekil 6.2'de %25 GKK'da farklı motor devirlerindeki tork değişimi görülmektedir. %25 GKK ile yapılan çift yakıtlı çalışmalarda; D49,8+LPG çift yakıtı ile 1800 d/d da 4,65 Nm'lik bir tork elde edilmiştir. %20 GKK denemesinde olduğu gibi motora LPG eklenmesiyle tork artmış, 2400 d/d motor hızında 6,5 Nm olarak hesaplanmıştır. Bu devirden sonra düzensiz yanmalar nedeniyle 2500 d/d'da motor torku çok az bir artış ile 6,6 Nm olmuştur. Bu devirlerde vuruntunun başlaması nedeniyle daha yüksek bir motor hızında çalışılmamıştır.

D55,6+LPG denemesinde motor torku,1800 d/d motor hızında 5,05 Nm iken, LPG'nin eklenmesiyle artmıştır. 2400 d/d motor hızında maksimum 6,87 Nm olarak ölçülürken, düzensiz yanma ve vuruntular nedeniyle 2500 d/d 6,7 Nm'ye düşmüştür.

Bu gaz kolu konumunda da 2500 d/d'nın üzerine çıkılamamıştır. Bunun nedeni olarak LPG miktarının artışı ile motor hızı yükselirken, motor hızına bağlı olarak dizel yakıt regülâtörü silindir içersine püskürtülen dizel yakıtını azaltmış olmasıdır. Dizel miktarının azlığı 2400

d/d'dan sonraki motor hızlarında etkisini göstermiş silindir içersindeki LPG'nin az bir miktarını tutuşturabilmiştir. LPG'nin yanmayan kısmı düzensiz yanma ve vuruntulara sebep olmuştur.

İki GKK içinde D55,6 dizel yakıtının D49,8 dizel yakıtından daha fazla motor torku ürettiği tespit edilmiştir.



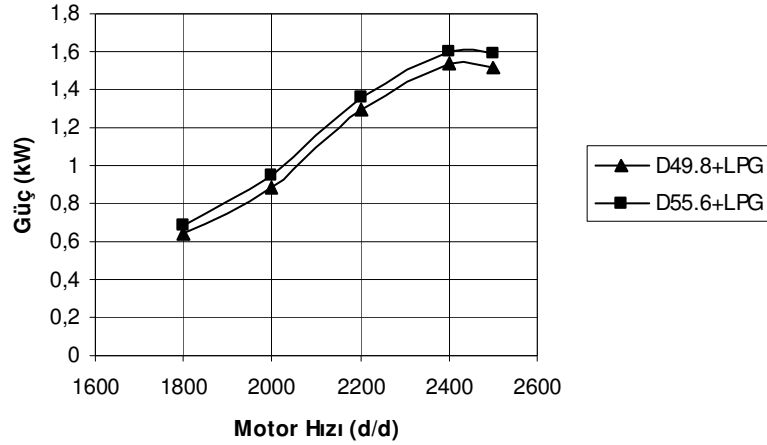
Şekil 6.2 %25 GKK'da motor hızının motor torkuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

### 6.1.2 Motor Gücü

Şekil 6.3'te %20 GKK'da motor gücü değişim grafiği görülmektedir. Deneylerde gaz kolu sabit olduğu için güç, torktaki artış ile doğru orantılı değişir.

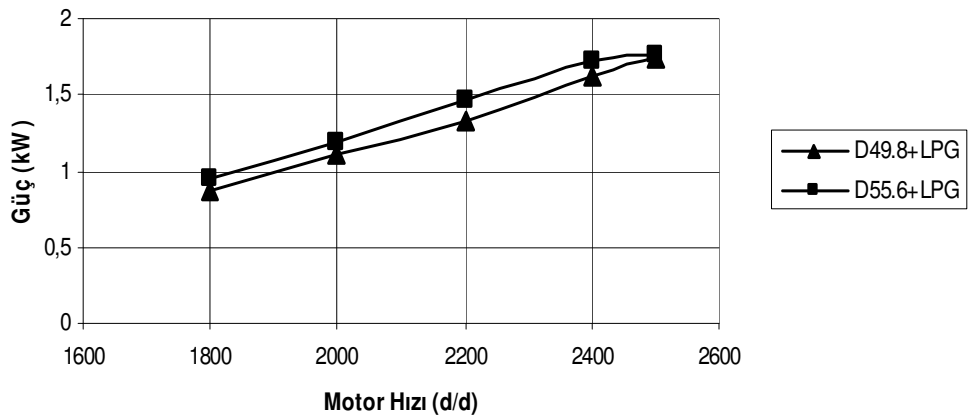
D49,8+LPG çift yakıtında LPG'nin olmadığı 1800 d/d'da motor gücü 0,65 kW'tır. LPG verilmesiyle motor gücü giderek artmıştır. 2400 d/d motor hızında en fazla 1,54 kW olarak hesaplanmıştır. Torkta olduğu gibi 2400 d/d motor hızından sonra motor gücü de düşmeye başlamıştır.

%20 GKK için D55,6+LPG çift yakıtında ise 1800 d/d'da motor gücü 0,68 kW, 2400 d/d'da 1,60 kW ve 2500 d/d'da 1,59 kW olmuştur. Grafikten anlaşıldığı gibi D55,6+LPG çift yakıtı diğer çift yakıttan daha fazla motor gücü üretmiş ama 2400 d/d'dan itibaren motor gücü düşmektedir.



Şekil 6.3 %20 GKK'da motor hızının motor gücüne etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

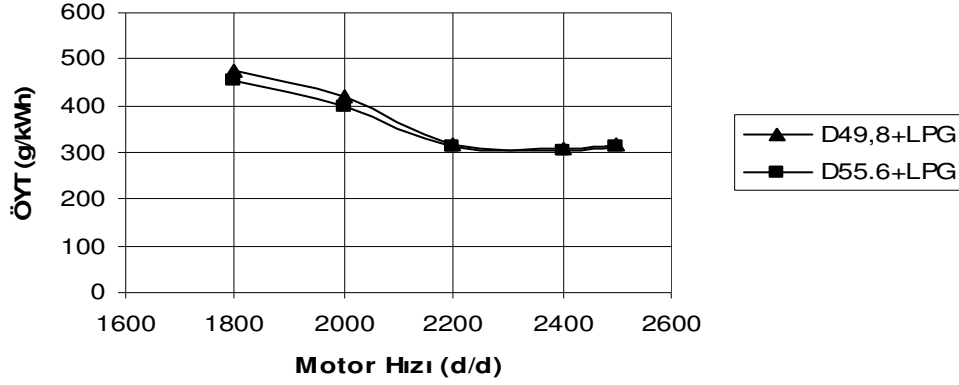
Şekil 6.4 %25 GKK'da motor gücü değişim grafiği görülmektedir. D49,8+LPG çift yakıtı, D55,6+LPG çift yakıtından daha az motor gücü üretmiştir. Her iki çift yakıt çalışmasında motor gücü 2500 d/d ya kadar sürekli artmaktadır. %25 GKK için çift yakıt uygulamalarında pilot dizel yakıt miktarının %20 GKK'na göre daha fazla olmasının önemli etkisi olduğu ve ayrıca LPG'nin yanmayı iyileştirip motor termik verimini daha iyi artırmasına bağlı olarak motor gücünü artırdığı söylenebilir.



Şekil 6.4 %25 GKK'da motor hızının motor gücüne etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).



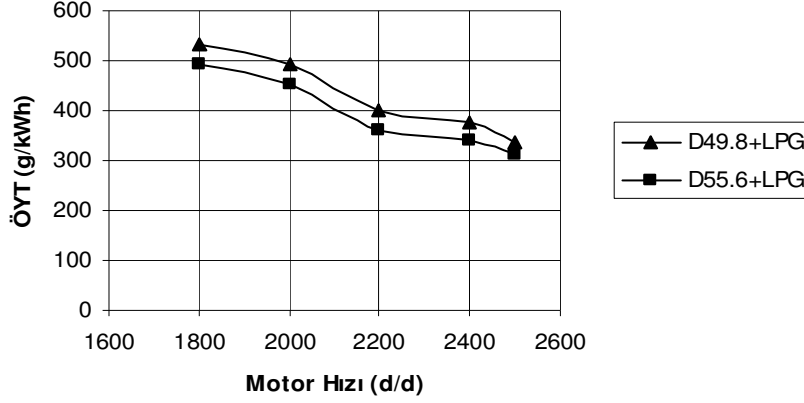
### 6.1.3 Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 6.5 %20 GKK'da motor hızının özgül yakıt tüketimine etkisi (dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

Şekil 6.5'te %20 GKK'da özgül yakıt tüketimi grafiği görülmektedir. D49,8+LPG çalışmasında, 1800 d/d da 477,65 g/kWh olan ÖYT, LPG miktarının artmasıyla beraber düşüş göstermiş 2400 d/d'da 308,46 g/kWh ve 2500 d/d'da 315,90 g/kWh olmuştur. Keza D55,6+LPG çalışması içinde 1800 d/d da ÖYT 452,74 g/kWh iken 2400 d/d'da 302,33 g/kWh ve 2500 d/d'da 312,52 g/kWh olmuştur. D55,6 dizel yakıtının D49,8 dizel yakıtına göre oldukça düşük bir özgül yakıt sarfiyatına sahip olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6.6'da %25 GGK'daki özgül yakıt tüketimi değişimi grafiği görülmektedir. Motor hızının artması ile birlikte özgül yakıt tüketimleri her iki çift yakıt uygulaması için düşerken, D55,6+LPG çift yakıt uygulamasının D49,6+LPG uygulamasından daha az bir ÖYT'ne sahip olduğu gözlemlenmiştir.

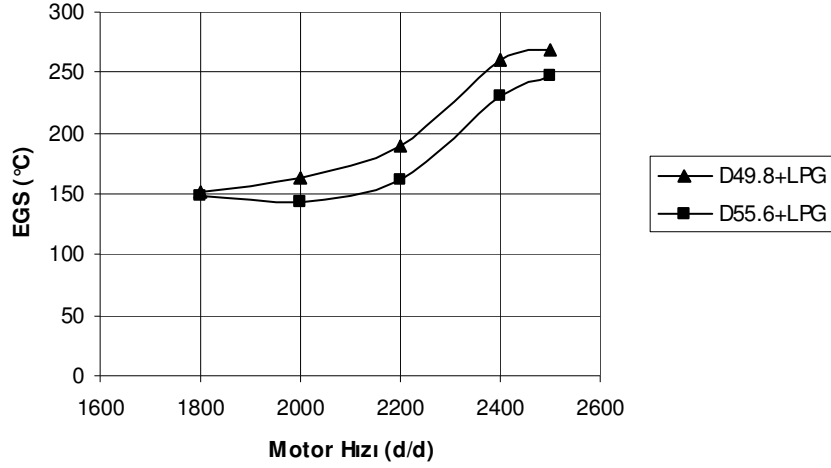


Şekil 6.6 %25 GKK'da motor hızının özgül yakıt tüketimine etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

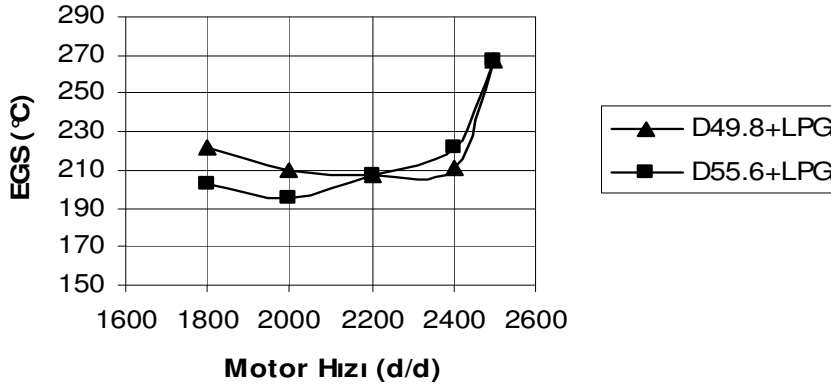
#### 6.1.4 Egzoz Gazı Sıcaklıkları

İçten yanmalı motorlarda, yanma sonucunda elde edilen enerjinin bir kısmı işe dönüşmekte, bir kısmı sürtünme ve ataletin yenilmesinde kullanılmakta, büyük bir kısmı egzoz gazları ile atmosfere atılmakta, geri kalan kısım ise motor bloğundan soğutma suyuna ve yağlama yağına geçmekte, kalan çok az bir miktarı ise ışıma yoluyla kaybolmaktadır. Silindir içi sıcaklığının artması egzoz gaz sıcaklığını da artırmaktadır. Egzoz gazının sıcaklığının artması azot oksit emisyonlarıyla dolaylı olarak bağlantılıdır.

Şekil 6.7'de verilen grafikte çift yakıtlı çalışmalara ait egzoz gazı sıcaklıkları (EGS) verilmiştir. D49,8+LPG çalışmasının egzoz sıcaklıkları D55,6+LPG çalışmasından daha yüksek değerde olmuşlardır. Bunun sebebi olarak D49,8+LPG çalışmasında silindir içinde gerçekleşen yanma sonu sıcaklıklarının diğer çift yakıtta ait silindir içi yanma sonu sıcaklıklarından daha yüksek olması ve yanma hızının daha düşük olmasından olduğu düşünülmektedir. Her iki çift yakıt deneylerinde motor hızı arttıkça EGS'da artış olduğu tespit edilmiştir. Bu motor devrinin artması ile yakıtın yanabileceği sürenin kısalması nedeniyle yanmanın egzozu sarkmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.7 %20 GKK'da motor hızının egzoz gazı sıcaklığına etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).



Şekil 6.8 %25 GKK'da motor hızının egzoz gazı sıcaklığına etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

Şekil 6.8'de verilen grafikte D49,8+LPG çift yakıtının EGS 1800 d/d motor hızında 222°C, D55,6+LPG çift yakıtının EGS 1800 d/d'da 203°C olmuştur. %20 GKK'dan farklı olarak; her iki çift yakıt çalışmasında motora LPG verilmesiyle egzoz gazı sıcaklıklarında düşmeler olmuştur. 2200 d/d motor hızında her iki çift yakıtın egzoz gazı sıcaklıkları 207°C olmuştur. Bu motor hızından sonra D55,6+LPG uygulamasının EGS değerleri hızla yükselirken, D49,6+LPG uygulamasında EGS fazla bir artış gösterememiştir. Ancak 2500 d/d motor hızlarında EGS değerleri yeniden eşitlenmiştir.

LPG gazı başlangıçta EGS'nı düşürürken, yanmanın iyileşmesi neticesinde EGS değerleri yükselmiştir. Setan indeksi (Sİ) yüksek olan D55,6 dizel yakıtının D49,6 dizel yakıtından daha iyi bir yanmaya sahip olmasından egzoz gazı sıcaklıkları yüksek değerlerde çıktığı söylenebilir.

## **6.2 EGZOZ EMİSYONLARI**

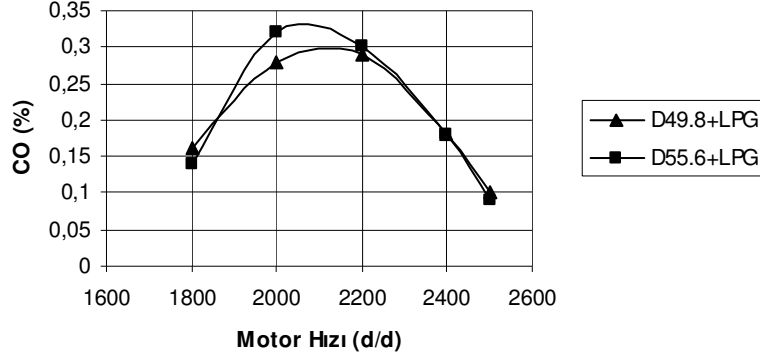
Egzoz emisyonları, karbon monoksit, karbon dioksit, hidrokarbon, azot oksitler ve is olmak üzere beş başlıkta incelenmiştir.

### **6.2.1 Karbon Monoksit Emisyonları**

Dizel motorları genellikle fakir karışım oranlarında çalışmaktadırlar. Yakıt demetinin civarında karışım genelde yerel olarak zengin olsa bile genelde silindir içinde karışım oranının fakir olması, CO emisyonlarının düşük olmasına neden olmaktadır.

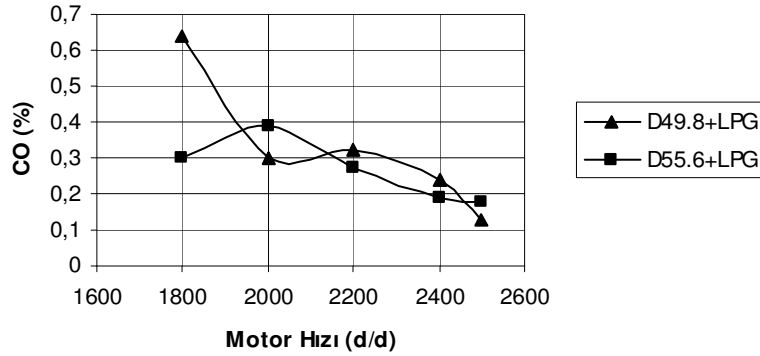
Şekil 6.9 incelendiğinde, 1800 d/d motor hızında nerdeyse birbirine eşit olan CO emisyonu değerleri, çalışmalarda LPG eklenmesiyle yaklaşık olarak 2100 d/d motor hızına kadar artmıştır. D55,6+LPG diğer çift yakıttan bir miktar daha fazla CO yayımı göstermiştir. 2200 d/d motor hızıyla birlikte CO emisyonlarında düşmeler olduğu tespit edilmiştir. Motor hızı 2500 d/d'ya kadar çıktıkça CO emisyonları başlangıç devrindeki değerlerin de altına inmiştir.

Çift yakıtlı çalışmalarda motor hızı artıkça, ilave LPG yakıtın verilmesi H/Y oranını iyice düşürmekte CO emisyonlarını artırmaktadır. Ancak elde edilen sonuçlar şunu göstermiştir ki, CO emisyonlarındaki bu artış, belli bir motor hızından sonra düşmektedir. Bunun sebebi, motor devrinin artması ile türbülans oluşması ve yakıtın hava ile daha iyi karışarak daha iyi yanması ve pilot dizel miktarının azalması CO emisyonlarının düşmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 6.9 %20 GKK'da motor hızının CO emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

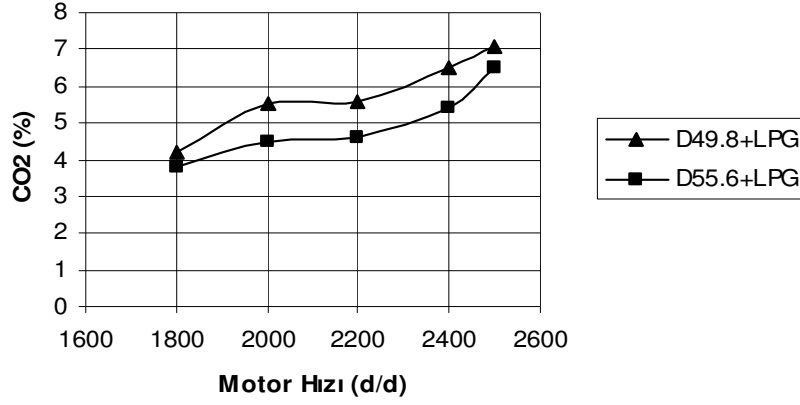
%25 GKK'da CO emisyonları için de; D49,8+LPG çift yakıtı 1800 d/d motor hızında %0,64 CO emisyonu yayarken D55,6+LPG %0,3 CO yayımlamıştır. D49,8+LPG çift yakıt çalışmasında LPG'nin kullanılmasıyla birlikte CO emisyonları düşmüştür. D55,6+LPG içinde aynı durum söz konusudur.



Şekil 6.10 %25 GKK'da motor hızının CO emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

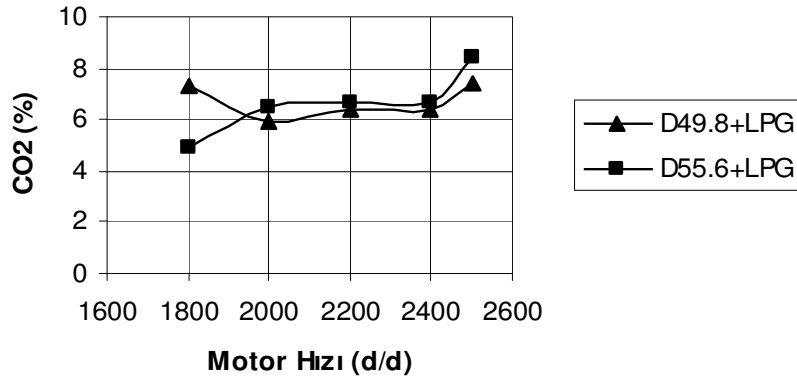
## 6.2.2 Karbondioksit Emisyonları

Şekil 6.11'deki grafik incelendiğinde, artan motor hızıyla silindir içine giren yakıt miktarının artması sonucu doğal olarak CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları artmaktadır.



Şekil 6.11 %20 GKK'da motor hızının CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

%25 GKK'da CO<sub>2</sub> emisyonlarının görüldüğü Şekil 6.12'deki grafikte ise, CO<sub>2</sub> emisyonları 1800 d/d'dan itibaren motor hızına bağlantılı olarak artış göstermişlerdir. Çift yakıtlı çalışmalarda CO<sub>2</sub> emisyonları başlangıçta daha düşük seviyede iken (saf D49,8 veya D55,6) artan motor hızına paralel olarak artmaktadır. Bunun sebebi silindire giren yakıt miktarının motor hızı arttıkça, artmasıdır. Ayrıca motor hızının artması ile türbülansın ve yanma veriminin artmasının da etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 6.12 %25 GKK'da motor hızının CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

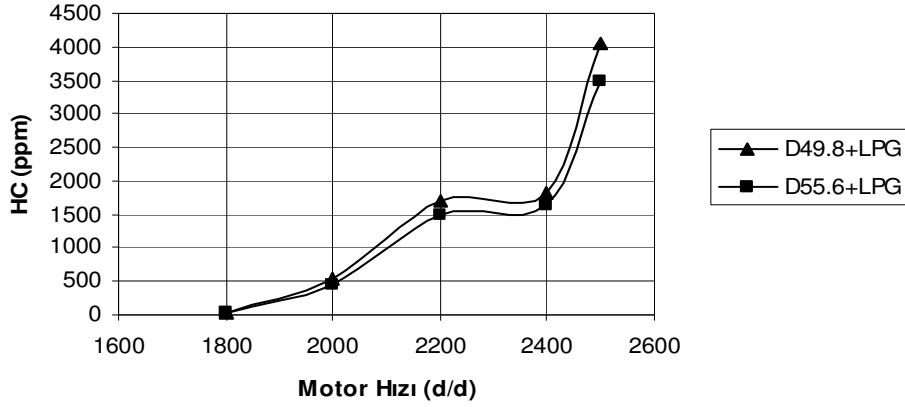
### 6.2.3 Hidrokarbon Emisyonları

Dizel motorlarında HC emisyonlarının birçok değişik sebebi vardır. Motor tasarımındaki kusurları ve hava türbülansı görmezden gelinirse özellikle normal emişli direkt püskürtmeli motorlar hafif yüklerde HC yayımlamak gibi bir sakıncaya sahiptirler. Tutuşma gecikmesi (TG) uzadıkça HC yayımı artmaktadır. TG süresini dizel yakıtlarının sınıflandırılmasında kullanılan setan indeksi (Sİ) etkilidir.

Şekil 6.13'de görüldüğü %20 GKK'da D49,8+LPG çift yakıtı daha fazla HC yayımlamıştır. D49,8 dizel yakıtının Sİ değeri D55,6 dizel yakıtının Sİ değerinden düşüktür. Dolayısıyla TG süresi daha fazladır. TG süresi az alan D55,6+LPG çift yakıtı daha az HC emisyonu yaymıştır.

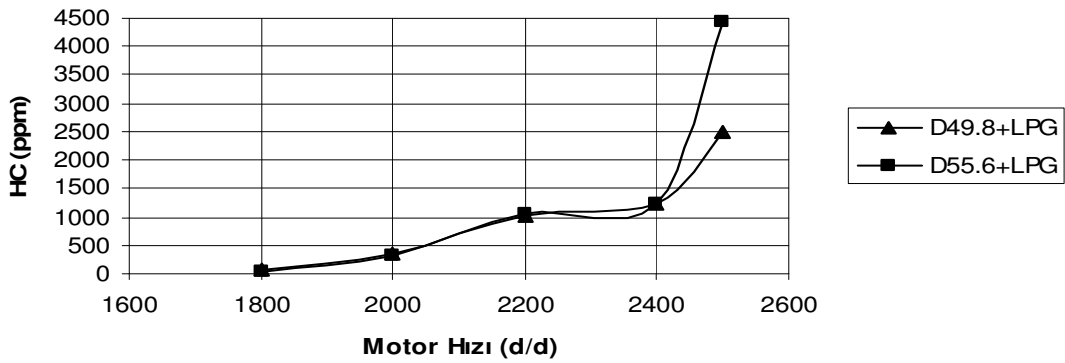
Çift yakıtlı çalışmada, LPG miktarının yükselmesiyle artan motor hızı pilot dizel yakıt miktarını düşürmektedir. Pilot dizel yakıtın miktarının düşmesi LPG'yi tutuşturacak olan ısı enerjisini de düşürmektedir. Motor hızının artması ile silindir içersindeki karışım yakıt yönünden giderek zenginleşmektedir. Tam olarak yanmayan LPG içersindeki HC'ların miktarının artmasıyla motorda düzensiz yanmalar meydana gelmektedir.

HC'ların tam olarak yanmaması HC emisyonlarını yükseltmiştir. D49,8+LPG ile D55,6+LPG çalışmalarını karşılaştıracak olursak D49,8+LPG 2500 d/d motor hızına kadar diğer çift yakıttan daha yüksek değerler vermiştir. 2400 d/d'dan sonra HC emisyonu çok büyük bir miktarda artış göstermiştir. Bunun sebebi LPG ile düzensiz çalışma sınırının aşılması olabilir. D55,6+LPG çalışmasında HC emisyon değerleri diğer çift yakıt çalışmasının altında kalmıştır. Bu farkın oluşmasında pilot dizel yakıtlarının tutuşma gecikmesi (TG) sürelerinin birbirinden farklı olması yatmaktadır.



Şekil 6.13 %20 GKK'da motor hızının HC emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

Şekil 6.14'de %25 GKK'da hidrokarbon değişimi grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde çift yakıtlı çalışmalarda D55,6 dizel yakıtının HC emisyonları D49,6 dizel yakıtının HC emisyonların 2400 d/d ya kadar birbirine yakın değerlerde olmuşlardır. TG süresinin azlığı ya da çokluğu HC emisyonlarını direkt etkilemektedir. Hal böyle olunca, %25 GKK içinde; %20 GKK'da değinilen durumlar söz konusudur. D55,6+LPG çift yakıtının HC emisyonlarının 2400 d/d'dan sonra hızla artmasının sebebi LPG oranının D49,8+LPG çift yakıtındaki LPG oranından daha fazla olmasıdır. Her ikisinde HC oranının 2400 d/d'dan sonra hızla artması ise bu devirden sonra düzensiz yanmanın başlamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 6.14 %25 GKK'da motor hızının HC emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

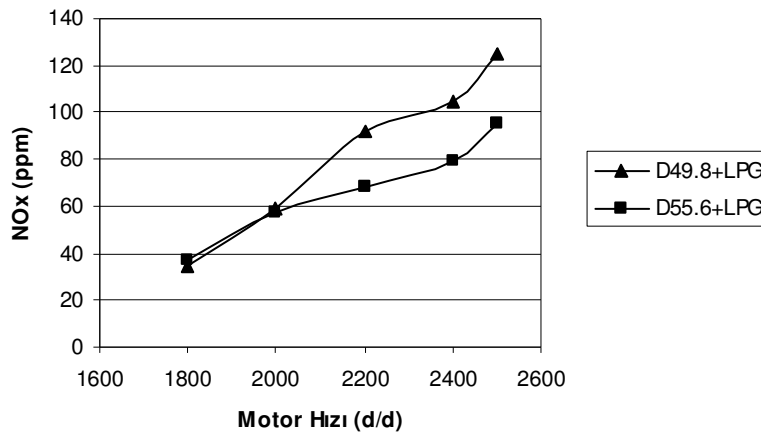


## 6.2.4 Azot Oksit Emisyonları

Dizel motorlarında azot oksit (NO<sub>x</sub>) oluşumunu gazların bileşimi ve sıcaklıkları belirler. NO<sub>x</sub>'in ekseriyeti, kontrolsüz yanma aşamasında oluşmaktadır. Püskürtmeyi geciktirmek maksimum basıncı, maksimum sıcaklığı düşürür ve TG'ni kısaltır. Bu suretle NO<sub>x</sub> oluşumu azaltılabilirse de bu, verimin düşmesine neden olur. Y/H oranını değiştirmek suretiyle de NO<sub>x</sub> oluşumu azaltılabilir.

Şekil 6.15'de çift yakıtlı çalışmalarda motor hızının artırılmasıyla silindir içersindeki sıcaklık ve basıncın yükselmesiyle NO<sub>x</sub> oluşumu artmaktadır. Burada D55,6+LPG çift yakıtı diğer çift yakıtı göre dışarıya daha az NO<sub>x</sub> yayımlamıştır. D55,6 dizel yakıtı diğer dizel yakıtına oranla çevreye daha az zarar veren bir yakıttır. Sİ değeri yüksek olan yakıtların, düşük Sİ değerli yakıtlarla olan en temel farklarından birisi de çevreye yaydıkları emisyonların daha düşük oranlarda olmasıdır.

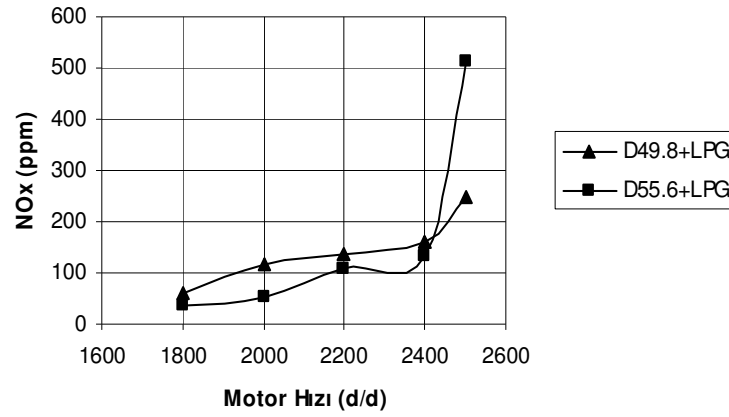
Çift yakıtlı çalışmalarda D49,8+LPG, diğer çift yakıtı göre çevreye daha fazla NO<sub>x</sub> yayımlamıştır. Düşük Sİ değeri, yüksek motor hızı, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık NO<sub>x</sub> oluşumunu artırmıştır.



Şekil 6.15 %20 GKK'da motor hızının NO<sub>x</sub> emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

%25 GKK'da yapılan deneylerde çift yakıtlı çalışmalarda %20 GKK deneylerinde olduğu gibi D49,8+LPG yakıtın daha fazla NO<sub>x</sub> oluşturduğu tespit edilmiştir. Sİ değeri daha yüksek

dizel yakıtı sahip D55,6+LPG çift yakıtı 2400 d/d motor hızı kadar daha düşük NOx oluştururken, bu devirden sonra daha fazla NOx oluşturduğu görülmektedir. Bunun sebebi 2400 d/d dan sonra NOx oluşumunu belirleyen temel etkenin karışım içerisindeki dizel yakıt oranının düşük LPG yakıt oranının fazlalaşmış olmasıdır. Bu durumda silindir içerisinde düzensiz yanmalar meydana gelmektedir. D49,8+LPG çift yakıtında 2400 d/d motor hızından sonra toplam karışım içindeki LPG oranı diğer çift yakıttaki LPG oranının altında olduğu hesaplanmıştır. 2400 d/d üzerindeki motor hızlarında LPG miktarının çok fazla oluşu ve düzensiz yanmalar sebebiyle NOx oluşumu daha fazla olmaktadır.



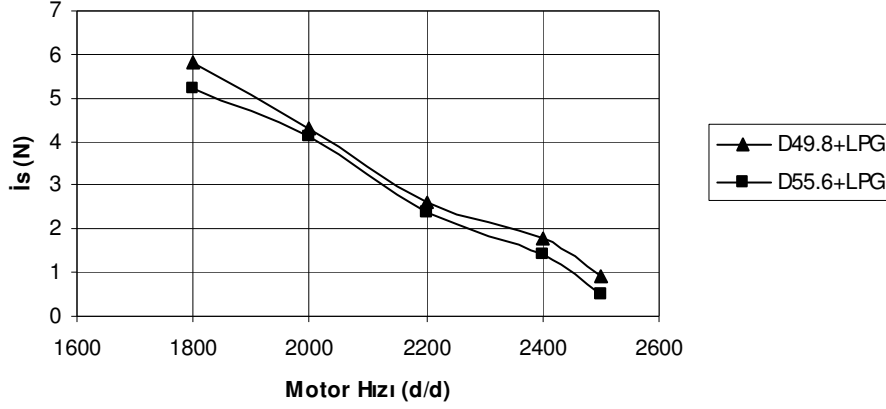
Şekil 6.16 %25 GKK'da motor hızının NOx emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

### 6.2.5 İş Emisyonları

Dizel motorunda silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H<sub>2</sub> molekülleri hızlı şekilde reaksiyona girmekte, geriye kalan C yeterli miktarda oksijen bulamadığından yanamayıp is partikülleri şeklinde dışarı atılmaktadır. İş oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtın silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava karışamaması ve buharlaşmamasıdır.

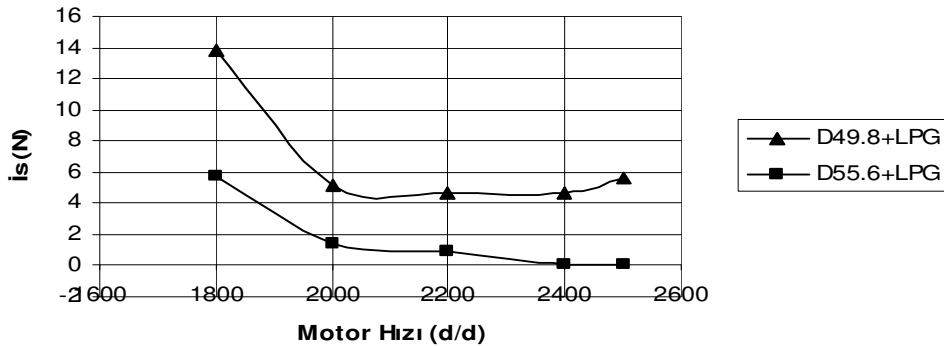
Şekil 6.17'de verilen %20 GKK deneylerinde çift yakıtlı çalışmalarda motor devrinin artmasıyla is emisyonlarının azaldığı görülmüştür. LPG miktarının artmasına paralel olarak artan motor hızlarına is yayılımını azalttığı tespit edilmiştir. Bunun için dizel yakıtın karışım içerisindeki oranının düşmesi is oluşumunu azaltmıştır denilebilir. D49,8+LPG çift yakıtı diğer

çift yakıttan biraz fazla değerde is üretimi gerçekleştirmiştir. Bu durum için Sİ değeri belirleyici bir rol oynamaktadır.



Şekil 6.17 %20 GKK'da motor hızının is emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).

%25 GKK deneylerinin sonuçlarının verildiği Şekil 6.18 incelendiğinde çift yakıtlı çalışmalarda D55.6+LPG yakıtın diğer çift yakıttan daha az is oluşturduğu gözlemlenmiştir. Buradaki temel belirleyici D55,6 dizel yakıtının daha çevreci bir yakıt olmasıdır. LPG yakıtı genel özellikleri itibariyle benzin özellikleri gösterdiğinden is oluşumuna doğrudan bir etkisi söz konusu değildir. Ancak motor hızının, karışım içerisindeki LPG miktarının artırılmasıyla sağlanıyor olması ve pilot dizel yakıtın oranlarını düşürmesi sebebiyle dolaylı olarak etkili olmaktadır.



Şekil 6.18 %25 GKK'da motor hızının is emisyonuna etkisi (Dinamometre yükü altında 1800 d/d'da D49,8 veya D55,6 pilot dizel yakıtı ile çalışan motora LPG verilerek).



## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1 SONUÇLAR

Yapılan deney sonuçlarına göre dizel motorunda farklı özellikteki pilot dizel yakıtları ve LPG kullanılması motor performans ve egzoz emisyonları açısından aşağıda özetlenen bazı olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Motor torku ve gücü, %20 ve %25 GKK'larında silindir içersine LPG verilmesiyle artmıştır. Ancak düzensiz yanma ve vuruntuların olduğu 2500 d/d motor hızlarında motor torku ve gücünde düşme meydana gelmektedir. Bu artışlara paralel olarak özgül yakıt tüketimi de düşmüştür.

CO emisyonları, %20 GKK için 2100 d/d motor hızına kadar artarken bu motor devrinden sonra düşmüştür. CO emisyonlarındaki artış ve düşüşün aksine CO<sub>2</sub> emisyonunda artış görülmüştür. %25 GKK için genel olarak CO emisyonlarının düştüğü ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının arttığı söylenebilir. HC emisyonları, LPG miktarının artması ile yükselmiştir.

Silindir içersine LPG eklenmesi EGS ve NOx emisyonu değerlerinde artışa sebep olmuştur.

İs emisyonları, LPG miktarının artmasıyla azalmış, hatta %25 GKK'da 2400 d/d ve üzerindeki motor hızlarında, sıfır is ölçülmüştür.

Buraya kadar yapılan açıklamalar ve deney sonuçlarından da anlaşılacağı üzere dizel motorunda LPG kullanılması HC ve NOx hariç, motor performansı ve emisyon ölçümlerinde olumlu derecede iyileştirmeler elde edilmektedir. Farklı özellikteki pilot dizel yakıtlarının kullanılmasında, setan indeksi değeri yüksek olan yakıtın motor performansı ve emisyonları bakımından daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Dolayısı ile dizel motorunda yüksek

setan indeksi değerine sahip pilot dizel yakıt ile LPG kullanılması motor g¼c¼ ve torku, ¼zg¼l yakıt t¼ketime, CO, CO<sub>2</sub> ve is emisyonları üzerine olumlu sonuçlar vermiştir.

## 7.2 ¼NERİLER

D¼nyadaki fosil yakıtların hızlı t¼ketime ve araçlardan yayılan egzoz emisyonlarına getirilen kanuni kısıtlamalar nedeniyle LPG'nin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması ile ilgili çalışmalar arttırılabilir. Bu çalışmada kullanılan motor hava soğutmalı bir motor olduğundan aşırı miktarda HC ve NO<sub>x</sub> emisyonu çıkmıştır. Aşırı ıkan HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılması için bu deneyler su soğutmalı bir motorda denenmeli ve EGR veya katalitik konvert¼rler ile HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının d¼ř¼r¼lmesine çalışılmalıdır.

Değişik hız reg¼lat¼r¼ne sahip dizel motor yakıt sistemine m¼dahale edilerek pilot dizel yakıtını sabit tutmak zor olmaktadır. Pilot dizel yakıt miktarı sabit tutularak daha geniş motor devir aralığında denemelerin yapılabilmesi için elektronik kontroll¼ bir enjeksiyon sistemi kullanılabilir.

Yapılan çalışmalarda petrol kaynaklı farklı ¼zellikteki iki yakıt kullanılmıştır. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda petrol kaynaklı dizel yakıtına biyodizel eklenerek ya da sadece biyodizelin olduğu LPG'li çift yakıt denemeleri yapılabilir.

LPG, dizel motoruna sahip binek araçlarda kullanılabilir. Bu uygulamanın sabit g¼ tesisleri ve ağıt y¼k taşıtlarında kullanılabilmesi için çalışmalar geliştirilebilir. Çift yakıt uygulamaları b¼y¼k ve g¼l¼ gemi makinelerinde de denenebilir.

Dizel motoruna, LPG verilmesiyle dizel motor parçaları ile dizel motor yağının yapılarının ve ¼zelliklerinin değişip değişmediği üzerine çalışmalar başlatılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abd Alla G, Soliman H A, Badr O A, Abd Rabbo M F** (1998) Effect od pilot fuel quantity on performance of a dual fuel engine, *Energy Conversion & Management* 41 559-572.
- Acaroğlu M** (2003) *Alternatif Enerji Kaynakları*, Atlas Yayınları: 26, Ankara, s,224-227.
- Alibaş K, Çolak S** (1992) Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Yanmalı Bir Motorda Kullanılabilme Olanığı, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 33:391.
- Altın R** (1998) Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s,33-67.
- Altuntaş M E** (2002) Alternatif Yakıtların Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Bitirme Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, s.7-21.
- Aydın F** (2006) Sıralı Gaz Fazlı Enjeksiyon Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Borat O, Balcı M A, ve Sürmen A** (1994) İçten Yanmalı Motorlar Ders Kitabı. Cilt I. G.Ü. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2. İstanbul.
- Carlucci A P, Ficarella A, Laforgia D** (2006) Control Of The Combustion Behaviour in ADiesel Engine Using Early injection And Gas Addition, *Applied Thermal Engineering* 26 2279–2286.
- Chen Z, Konno M and Goto S** (2001) Study on Homogenous premixed Charge CI Engine Fueled With LPG, *JSAE Review* Volume 22, Issue 3, Pages 265-270.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ciniviz M** (2001) Dizel Motorlarda Dizel Yakıt + LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Çarman K, Salman S, Ciniviz M** (2001) Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı+LPG Kullanımının Performans Ve Emisyona Etkisi, Selçuk-Teknik Online Dergisi/Issn 1302- 6178
- Duc P M, Wattanavichien K** (2007) Study on Biogas Premixed Charge Diesel Dual Fuelled Engine, *Energy Conversion and Management* 48 2286-2308.
- Ergeman M and Soruşbay C** (1990) Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı, *Doğalgaz Dergisi*, Sayı: Şubat, s.17-22.
- Hatipoğlu** (1996) İçten Yanmalı Motorlarda Doğal Gaz Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- İlkılıç C** (1999) Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.5-13.
- Jothi N K M, Nagarajan G, Renganarayanan S** (2005) Experimental Studies on Homogeneous Charge CI Engine Fueled With LPG Using DEE as An Ignition Enhancer, *Renewable Energy* 32 1581-1593.
- Junjun M, Xingcai L, Libin J, Zhen H** (2007) An Experimental Study of HCCI-DI Combustion and Emissions in A Diesel Engine With Dual Fuel, *International Journal of Thermal Sciences*.
- Karakuş N** (2000) Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.1-23.
- Krickaert P, Gentec B V, Hollemans B** (1993) Key Success Factors.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- M.M.O. Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı**, 2. Baskı, Ankara, 2000.
- Nwafor O M I** (2006) Effect of Advanced Injection Timing on Emission Characteristics of Diesel Engine Running on Natural Gas, *Renewable Energy* 32 2361-2368.
- Oconnor L** (1993) Cleomy thr Air With Natural Gas Engine, *Mechanical Engineering*, pp:52-56.
- Oğuz H** (1998) Diesel Yakıtı-Ayçiçek Yağı Karışımlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Araştırılması, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, s.5-9
- Papagiannakis R G, Hountalas D T, Rakopoulos C D**, Theoretical Study of The Effects of Pilot Fuel Quantity And Its Injection Timing on The Performance And Emissions of A Dual Fuel Diesel Engine, *Energy Conversion And Management* 48 2951-2961.
- Pirouzpanah V, Barkhordarion A M** (1995) Dual-Fuelling of An Industrial Indirect Injection Diesel Engine by Diesel and Liquid Petroleum Gas, Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
- Qi D H, Bian Y Z H, Ma Z H Y, Zhang C H H and Liu SH Q** (2007) Combustion and Exhaust Emission Characteristics of A Compression Ignation Engine Using Liquefied Petroleum Gas-Diesel Blended Fuel, *Energy Conversion And Management* Volume 48, Issue 2, Pages 500-509.
- Ramadhas A S, Jayaraj S, Muraleedharan C** (2007) Dual Fuel Mode Operation in Diesel Engines Using Renewable Fuels: Rubber Seed Oil And Coir-Pith Producer Gas, *Renewable Energy*.
- Safgönül B, Ergeneman M, Arslan H E ve Soruşbay C** (1999) *İçten Yanmalı Motorlar*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Otomotiv ABD, Birsen Yayınevi, İstanbul.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Selim M Y E, Radwan M S, Saleh H E** (2008) Improving The Performance of Dual Fuel Engines Running on Natural Gas/LPG by Using Pilot Fuel Derived From jojoba seeds, *Renewable Energy* 33 1173-1185.
- Selim M Y E** (2004) Effect Of Engine Parameters And Gaseous Fuel Type on The Cyclic Variability of Dual Fuel Engines, *Fuel* 84 (2005) 961–971
- Selim M Y E** (2004) Sensitivity Of Dual Fuel Engine Combustion And Knocking Limits To Gaseous Fuel Composition, *Energy Conversion And Management* 45 411–425
- Solmaz Ö** (2005) LPG Dönüşümü Yapılmış Bir Motorun Soğukta İlk Hareketini Kolaylaştırıcı Sistemin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ulusoy Y** (1999) Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, s.6-11.
- URL-1** (2008) <http://www.megep.meb.gov.tr> Sınıf Modülleri (28.05.2008).
- URL-2** (2007) <http://www.makineforumu.net/forum/motorlarda-kullanilan-alternatif-yakitlar-hidrojen-metenol-etanol-lpg-dogalgaz-t101.html?t=101&highlight=etanol> Teknik Dökümanlar (02.02.2007).
- URL-3** (2008) <http://www.biyogaz.com/bgn.htm> Biyogaz Nedir? (20.05.2008).
- URL-4** (2008) [http://www.eie.gov.tr/biyodizel/index\\_biyodizel.html](http://www.eie.gov.tr/biyodizel/index_biyodizel.html) Biyodizel Nedir? (25.05.2008).
- URL-5** (2008) <http://www.total.com.tr/os/osturkey.nsf/Home?ReadForm> LPG Nedir? (26.05.2008).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Abdül Yiğit; 1982'de Çanakkale'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gelibolu'da; lise öğrenimini Gebze STFA Anadolu Teknik Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde Otomotiv Öğretmenliği'ni kazandı. 2005 yılında buradan mezun olduktan sonra, aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2007- 2008 yılları arasında Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv ABD'da LPG/CNG Sızdırmazlık Raporu verdi. Ayrıca; Özel Eskipazar Öz Fidan Sürücü Kursunda usta öğretici olarak Motor Ve Araç Tekniği derslerine girdi.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres :Fevzi Çakmak Mahallesi, Şaban Ağa Caddesi, No:28, 17350,  
Bolayır/Gelibolu/ÇANAKKALE  
Telefon :(505) 568 70 69  
E-posta : abdulyigit@gmail.com



**EK AÇIKLAMALAR A**

**DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER**

## EK AÇIKLAMALAR A

### DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER

Çizelge A.1 %20 GKK'da D49,8+LPG ve D55,6+LPG çift yakıt çalışmalarına tork, güç, ÖYT, EGS, CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> ve ıs ölçüm sonuçları

Yakıt Türü	Motor Hızı (d/d)	Tork (Nm)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	EGS (°C)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	İs (N)
D49,8	1800	3,43	0,64656	477,648	151	0,16	4,2	21	35	5,8
D49,8 + LPG	2000	4,2	0,879673	418,0559	163	0,28	5,5	545	59	4,3
	2200	5,64	1,299403	315,456	190	0,29	5,6	1698	92	2,6
	2400	6,13	1,540685	308,4584	260	0,18	6,5	1815	105	1,8
	2500	5,8	1,518484	315,8953	268	0,1	7,1	4050	125	0,9
Yakıt Türü	Motor Hızı (d/d)	Tork (Nm)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	EGS (°C)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	İs (N)
D55,6	1800	3,63	0,68426	452,7373	149	0,14	3,8	20	37	5,2
D55,6 + LPG	2000	4,5	0,942507	400,0258	143	0,32	4,5	458	57	4,12
	2200	5,9	1,359305	312,4523	161	3	4,6	1487	68	2,4
	2400	6,37	1,601005	302,3256	231	0,18	5,4	1640	79	1,4
	2500	6,09	1,594408	312,5236	248	0,09	6,5	3486	95	0,5

Çizelge A.2 %25 GKK'da D49,8+LPG ve D55,6+LPG çift yakıt çalışmalarına tork, güç, ÖYT, EGS, CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> ve is ölçüm sonuçları

<b>Yakıt Türü</b>	<b>Motor Hızı (d/d)</b>	<b>Tork (Nm)</b>	<b>Güç (kW)</b>	<b>ÖYT (g/kWh)</b>	<b>EGS (°C)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	<b>İs (N)</b>
D49,8	1800	4,65	0,876532	530,5472	222	0,64	7,3	71	61	13,8
D49,8 + LPG	2000	5,31	1,112158	491,0476	210	0,3	5,9	347	115	5,1
	2200	5,763375	1,327828	399,0002	207	0,32	6,4	1013	135	4,6
	2400	6,499125	1,633459	377,1777	211	0,24	6,4	1248	160	4,6
	2500	6,62175	1,733624	335,4837	267	0,13	7,4	2490	248	5,6
<b>Yakıt Türü</b>	<b>Motor Hızı (d/d)</b>	<b>Tork (Nm)</b>	<b>Güç (kW)</b>	<b>ÖYT (g/kWh)</b>	<b>EGS (°C)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	<b>İs (N)</b>
D55,6	1800	5,05215	0,952337	490,8526	203	0,3	4,9	43	37	5,7
D55,6 + LPG	2000	5,64075	1,181433	450,5486	196	0,39	6,5	325	53	1,4
	2200	6,3765	1,469086	358,2568	207	0,27	6,7	1055	109	0,9
	2400	6,867	1,725919	341,7942	222	0,19	6,7	1214	133	0
	2500	6,744375	1,765728	310,8745	267	0,18	8,4	4430	512	0