

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORDA FARKLI SIKIŞTIRMA ORANLARINDA LPG
KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

M. Kemal BALKİ

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

KARABÜK

Haziran 2005

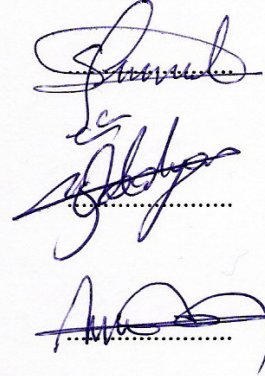
KABUL:

Mustafa Kemal BALKİ tarafından hazırlanan "BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORDA FARKLI SIKIŞTIRMA ORANLARINDA LPG KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 27/06/2005

Başkan : Yrd. Doç. Dr. İsmet ÇELİKTEN (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (ZKÜ)

Üye : Yrd.Doç.Dr.M. Bahattin ÇELİK (Z.K.Ü)

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. / /2005



Prof.Dr.İhsan TOROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORDA FARKLI SIKIŞTIRMA ORANLARINDA LPG KULLANIMININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

M. Kemal BALKİ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2005, 80 sayfa

LPG, temiz ve ucuz bir yakıt olması nedeniyle buji ateşlemeli motorlarda kullanılmaktadır. Ancak motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan LPG kullanılırsa, motor gücünde bir miktar düşme olmaktadır. LPG yakıtının oktan sayısı, benzine göre daha yüksek olduğundan, yüksek sıkıştırma oranlarında LPG ile çalışıldığında motor gücü artmakta ve yakıt tüketimi azalmaktadır.

Bu çalışmada, buji ateşlemeli bir motorda yüksek sıkıştırma oranlarında LPG kullanılmasının motor performansı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir araştırma motoru kullanılmıştır. Deneyler motorun 5/1 orijinal sıkıştırma oranında benzin ile; 5/1, 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında LPG ile çalıştırılmasıyla yapılmış, motor performansı ve egzoz emisyonları kaydedilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Deneyle sonucunda orijinal sıkıştırma oranında LPG ile çalışmada, benzine göre güç ve momentte bir düşüş, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında bir iyileşme tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla, LPG ile olan çalışmada benzine göre güç ve momentte bir artış, özgül yakıt tüketiminde bir azalma görülmüştür. Ayrıca sıkıştırma oranı arttıkça HC emisyonunda bir miktar artış kaydedilmiştir. Ama bu artış benzin ile olan çalışmanın altındadır.

Anahtar Sözcükler : LPG, sıkıştırma oranı, motor performansı, egzoz emisyonları.

Bilim Kodu : 626.10.01

ABSTRACT

Master Science Thesis

THE EFFECT OF THE LPG USAGE ON PERFORMANCE AND EMISSIONS AT VARIOUS COMPRESSION RATIOS IN SPARK IGNITION ENGINE

M. Kemal BALKİ

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

Thesis Advisor : Asst. Prof. M. Bahattin ÇELİK

June 2005, 80 Pages

LPG is used in the spark ignition engines due to the fact that it is cheap fuel. However, if LPG is used without any modifications in engine, engine power is decrease slightly. Because octane number of LPG fuel is more high than gasoline, engine power increase and fuel consumption decrease in running with LPG in the high compression ratios.

In this study, the effect of the use of LPG on the performance in high compression ratio in spark ignition engine has been examined experimentally. In the experiments, a research engine which is single cylinder, four stroke, spark ignited and whose compression ratio may change, was used. The experiments was fulfilment by making the engine run in the 5/1 compression ratio with gasoline and 5/1, 7/1, 9/1 compression ratios with LPG, and engine performance and exhaust emissions have been measured.

ABSTRACT (continued)

From the experiments it was determined that in vehicles running with LPG there is a decrease in engine power and moment and there is a progress in specific fuel consumption and exhaust emission. Based on the increase in compression ratio, in vehicles running with LPG an increase in engine power and momentum, and decrease in fuel consumption have been observed compared to the vehicles running with gasoline. Moreover, in parallel with the rate of increase, an amount of increase has been observed in HC emission. However, this increase is below the rate of increase occurring in vehicles running with gasoline.

Keywords : LPG, compression ratio, engine performance, exhaust emissions.

Science code : 626.10.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım değerli hocam Yrd.Doç.Dr.M. Bahattin ÇELİK'e, görüşleriyle çalışmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı hocalarıma, deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Hayri YAMAN, Erdoğan PİRELİ, İrfan SÖNMEZ, İlker ÖRS, Mehmet AYHAN'a ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3 LPG’NİN MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI	12
3.1 DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE LPG KULLANIMI	12
3.1.1 LPG İle İlgili Dünyadaki Genel Durum Ve Türkiye’deki Gelişmeler.....	12
3.2 LPG (Likit Petrol Gazı)	13
3.3 LPG ÇEŞİTLERİ.....	15
3.3.1 Motorlu Araçlarda Kullanılanlar.....	15
3.3.1.1 Ticari Propan	15
3.3.1.2 Özel Hizmet Propanı	15
3.3.2 Motorlu Araçlarda Kullanılmayanlar.....	16
3.3.2.1 Ticari Bütan.....	16
3.3.2.2 Ticari Propan-Bütan Karışımı	16
3.4 LPG’NİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	16
3.4.1 LPG’nin Tam Ve Teorik Yanma Denklemleri.....	20
3.5 LPG’NİN DİĞER YAKITLARLA KARŞILAŞTIRILMASI.....	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.5.1 LPG'nin Avantaj Ve Dezavantajları	25
3.5.1.1 LPG'nin Avantajları	25
3.5.1.2 LPG'nin Dezavantajları	26
 BÖLÜM 4 TAŞITLARDA LPG KULLANIMI	 27
4.1 TAŞITLARDA KULLANILAN LPG TEKNOLOJİLERİ	27
4.1.1 LPG Karbürasyon Sistemi (1. Nesil)	27
4.1.2 Elektronik Kontrollü LPG Sistemleri (2. Nesil)	28
4.1.3 LPG Püskürtme Sistemleri (3. Nesil)	30
4.2 LPG YAKIT DÖNÜŞÜM SİSTEMİNİN ELEMANLARI	32
4.2.1 LPG Tankı	33
4.2.2 Multivalf (Çoklu Valf)	34
4.2.3 LPG Selonoid Valfi	36
4.2.4 Benzin Selonoid Valfi	37
4.2.5 Seviye Göstergeli Yakıt Seçici Anahtar	38
4.2.6 LPG Buharlaştırıcı (Regülatör)	39
4.2.7 Karıştırıcı (Mikser)	40
4.2.8 Gaz Sızdırmaz Multivalf Koruyucu Kapağı	42
4.2.9 LPG Dolum Ucu	42
4.2.10 Gaz Ayar Vanası	43
4.2.11 Bakır Borular	44
4.2.12 Hortumlar	44
 BÖLÜM 5 SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ	 45
5.1 GEOMETRİK SIKIŞTIRMA ORANI	45
5.2 SIKIŞTIRMA ORANININ GÜCE VE YAKIT EKONOMİSİNE ETKİSİ	45
5.3 SIKIŞTIRMA ORANININ TERMİK VERİME ETKİSİ	48
5.4 SIKIŞTIRMA ORANININ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ	50

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	51
6.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI	51
6.2 DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER	51
6.2.1 Deney Yeri	51
6.2.2 Deney Motoru	52
6.3 DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	54
6.3.1 Motor Deney Seti Ve Dinamometresi.....	54
6.3.2 Egzoz Gaz Analizörü	54
6.3.3 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği	54
6.3.4 Kronometre	55
6.3.5 Ateşleme Avansı Ölçümünde Kullanılan Cihaz	55
6.3.6 Load Cell.....	55
6.3.7 Elektronik Terazı.....	56
6.3.8 LPG Sistemi	56
6.4 DENEYLERİN YAPILIŞI	57
6.4.1 Motor Deneyleri.....	57
6.5 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	58
6.5.1 Motor Momenti Ve Gücü.....	58
6.5.2 Yakıt Tüketimi Ve Özgöl Yakıt Tüketimi	58
BÖLÜM 7 DENEY SONUÇLARI; TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	61
7.1 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	61
7.1.1 Motor Performansları	61
7.1.1.1 Motor Momenti	61
7.1.1.2 Motor Gücü	62
7.1.1.3 Motor Özgöl Yakıt Tüketimi.....	63
7.1.2 Egzoz Emisyonları	64
7.1.2.1 Karbonmonoksit (CO).....	65
7.1.2.2 Hidrocarbon (HC).....	66

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.1.2.3 Karbondioksit (CO ₂).....	67
7.2 SONUÇLAR.....	68
7.3 ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	70
EK AÇIKLAMALAR A. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Birinci motorun motor torku [15]	5
2.2 İkinci motorun motor torku [15]	5
2.3 Birinci motorun mil gücü [15]	6
2.4 İkinci motorun mil torku [15]	6
2.5 Birinci motorun özgül yakıt tüketimi [15]	7
2.6 İkinci motorun özgül yakıt tüketimi [15]	7
2.7 Benzin ve LPG yakıtı olarak yapılan çalışmalarda (Tek ve çift kademe basınç dönüştürücü regülatörlü) tam gazdaki karbonmonoksit emisyon (CO) değişimleri [2]	8
2.8 Benzin ve LPG yakıtı olarak yapılan çalışmalarda (Tek ve çift kademe basınç dönüştürücü regülatörlü) tam gazdaki hidrocarbon emisyon (HC) değişimleri [2]	8
2.9 Sıkıştırma oranının CO ve HC emisyonlarına etkisi [16]	9
2.10 LPG ve benzinle çalışmanın CO emisyonu yönünden karşılaştırılması [16]	10
2.11 LPG ve benzinle çalışmanın HC emisyonu yönünden karşılaştırılması [16]	10
3.1 Bir motor için benzin ve LPG karakteristiklerinin karşılaştırılması [24]	22
4.1 Mekanik kontrollü LPG sistemi (1. nesil) [24]	28
4.2 Bir mikroişlemci kontrollü LPG sistemi (2.Nesil) [24]	29
4.3 Çok noktalı kuru gaz püskürtme sistemi (3. Nesil) [24]	31
4.4 LPG sistem elemanları ve araç üzerindeki yerleri [25]	33
4.5 Simit tank [25]	33
4.6 Silindirik tank [25]	33
4.7 Multivalf [25]	34
4.8 Multivalfın LPG deposundaki ön görünüşü [25]	35
4.9 LPG selonoid valfi [25]	37
4.10 LPG Selonoid valfinin kesit görünüşü [25]	37
4.11 Benzin selonoid valfi [25]	38
4.12 Seviye göstergeli yakıt seçici anahtar [25]	39
4.13 Çeşitli regülatörler [25]	40
4.14 Mikser montajı [25]	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.15 Çeşitli mikserler [25]	41
4.16 Multivalf koruyucu kapağı (gaz sızdırmaz muhafaza) [25]	41
4.17 Dolum ucu ve aksesuarları [25]	42
4.18 Gaz ayar vanaları [25]	43
4.19 Bakır boru ve kelepçe [25]	43
5.1 Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi (V-8 motoru, $n=2000$ 1/min, tam yük) [28]	46
5.2 Sıkıştırma oranı değişiminin performansa etkisi ($n=2500$ 1/min, Tam yük, $V_m=2.2$ lt) [29]	47
5.3 Sıkıştırma oranı artışının performansa etkisi [30]	47
5.4 Çeşitli eşdeğerlik oranlarında (yakıt fazlalık katsayısında) termik verimin sıkıştırma oranına bağlı değişimi [29]	48
5.5 Tam yükte sıkıştırma oranının termik verime etkisi ($n=2000$ 1/min) [28]	49
6.1 Deney tesisatının genel görünümü.	51
6.2 Deney tesisatının şematik görünüşü	52
6.3 Değişken sıkıştırma oranlı deney motorunun şematik görünümü	53
6.4 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı	54
6.5 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği	55
6.6 Load cell'in ve indikatörün görünümü	56
6.7 Kullanılan LPG sistemi	56
7.1 Moment grafiği ($GKA=1/1$, $HFK=1$)	62
7.2 Güç grafiği ($GKA=1/1$, $HFK=1$)	63
7.3 Motor özgül yakıt tüketimi ($GKA=1/1$, $HFK=1$)	64
7.4 Karbonmonoksit (CO) emisyonu ($GKA=1/1$, $HFK=1$)	65
7.5 Hidrokarbon (HC) emisyonu ($GKA=1/1$, $HFK=1$)	66
7.6 Karbondioksit (CO ₂) emisyonu ($GKA=1/1$, $HFK=1$)	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Dünya genelinde motorlu taşıtlarda LPG kullanımı [19].....	13
3.2 Alternatif yakıtların fiziksel özellikleri ve yanma karakteristikleri [20]	14
3.3 Bütan ve Propan'ın fiziksel ve kimyasal özellikleri [20].....	17
3.4 Alternatif yakıtların depolanma özellikleri [20]	19
3.5 Çeşitli Avrupa ülkelerindeki propan / bütan oranı [23]	20
3.6 Değişik propan / bütan oranlarına göre LPG'nin gösterdiği değişim miktarı[24]	23
3.7 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Direk Zehirleyici Etkileri)[20].....	23
3.8 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Küresel Isınmaya Etkileri)[20]	24
3.9 Alternatif Yakıt Kullanan Taşıtların Performanslarının Karşılaştırılması [5]	24
6.1 Motorun teknik özellikleri	53
A.1 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında benzin kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1	74
A.2 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında LPG kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1	75
A.3 $\varepsilon = 7/1$ sıkıştırma oranında LPG kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1	76
A.4 $\varepsilon = 9/1$ sıkıştırma oranında LPG kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1	77
A.5 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında benzinin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1	78
A.6 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında LPG' nin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1	78
A.7 $\varepsilon = 7/1$ sıkıştırma oranında LPG'nin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1	79
A.8 $\varepsilon = 9/1$ sıkıştırma oranında LPG'nin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1	79

SİMGELER DİZİNİ

B	:	Saattaki yakıt tüketimi
b_e	:	Özgöl yakıt tüketimi
CO	:	Karbonmonoksit
CO_2	:	Karbondioksit
NO_x	:	Azotoksit
HC	:	Hidrokarbon
M_e	:	Motor torku
P_e	:	Motor gücü
n	:	Motor devri
k	:	Adyabatik üst
V_h	:	Silindir kurs hacmi
V_c	:	Yanma odası hacmi
V_k	:	Emme supabı gecikmesi sonuna kadar olan hacim
H/Y	:	Hava/yakıt oranı
ε	:	Sıkıştırma oranı
ε_g	:	Gerçek motor sıkıştırma oranı
η	:	Termik verim

KISALTMALAR DİZİNİ

LPG	:	Sıvılaştırılmış petrol gazı
AA	:	Ateşleme avansı
AÖN	:	Alt ölü nokta
ÜÖN	:	Üst ölü nokta
CNG	:	Sıkıştırılmış doğalgaz
NŞA	:	Normal şartlar altında
ECE	:	Avrupa şehir içi çevrimi
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
MON	:	Motor oktan sayısı
RON	:	Araştırma oktan sayısı
MEGI	:	Çok noktalı elektronik püskürtme sistemi
MAP	:	Manifold emme basıncı
KMA	:	Krank mili açısı
GKA	:	Gaz kelebeği açıklığı
DSOM	:	Değişken sıkıştırma oranlı motor
HFK	:	Hava fazlalık katsayısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyada mevcut enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması ve bu kaynaklarla çalışmakta olan taşıt motorlarının egzoz ve gürültü emisyonları nedeni ile çevre kirliliğinin had safhalara ulaşması, insanları bu konularda yeni ve bu problemlere en iyi çözümler getirebilecek çareleri aramaya, dolayısı ile alternatif enerji kaynaklarına doğru itmiştir. Günümüzde egzoz gazları emisyonun zararlarının azaltılması için yapılan çalışmalar oldukça önemli olmaktadır. Ayrıca, bu sorunları çözerken alternatif yakıt kullanımının ekonomik olması ve bu yakıt için konstrüksiyonu planlanan taşıt motorunun da mümkün olduğunca kolay ve ekonomik konstrüksiyonlu ve emisyonlarının da standartlara uygun olması istenir [1].

Özellikle büyük kentlerde, kent içi ulaşımında kullanılan motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin artması egzoz emisyon standartlarını yükseltmiştir. Bunun için egzoz emisyonları temiz olan yakıtların kullanılması ihtiyaç hasıl olmuştur [2].

Benzin motorlu taşıtlarda alternatif yakıtlar, genelde yakıt maliyetlerinin düşürülmesi ve kirletici egzoz gazları emisyonunun azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Ancak kullanılacak olan alternatif yakıtın mevcut taşıt performansını olumsuz etkilememesi, taşıt üzerinde hacim ve ağırlık bakımından depolama sorunu oluşturmaması, gerekli emniyet koşulları sağlaması, dönüşüm sistemi maliyetinin düşük olması da önem taşımaktadır. Kullanılacak alternatif yakıtın üretim kapasitesi ve maliyeti de ayrıca önem taşımaktadır. Bu bakımdan değerlendirildiğinde LPG'nin (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanımında, benzin motoruna göre bazı avantajlar sağlamaktadır [3].

Dünyanın bir çok ülkesinde LPG alternatif yakıt olarak taşıtlarda kullanılmaktadır. Gaz yakıtlar yoğunlukları düşük olması nedeniyle sıkıştırılarak sıvı halde depolanabilmektedir [4].

LPG'nin içten yanmalı motorlarda kullanılmasıyla, egzozdaki bazı kirleticiler azaltılabilmektedir. Oktan sayısının yüksek olması, karışımın daha üniform hazırlanabilmesi LPG'nin benzinli motorlarda kullanılmasını etkilemiştir [5].

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), petrol esaslı bir yakıt olmasına rağmen benzin ve motorine göre daha düşük emisyonlu alternatif bir yakıttır. Temiz yandığı için motorin ömrünü uzatır ve tamir giderlerini azaltır. Gaz yakıtların yoğunluklarının çok düşük olması, sıkıştırılarak sıvı formda depolanabilmeleri, oktan sayılarının çok yüksek olması nedeniyle benzinli motorlarda daha yüksek sıkıştırma oranı ile çalışabilmeleri ve motorların yakıt sistemlerinde yapılan bazı değişikliklerle doğrudan kullanılabilmeleri avantajları arasında sayılabilir [6].

LPG, karışımın oluşturulması, dağıtımı, ateşlenmesi ve yanmasının kontrolüne çok az zorluk gösteren yakıtlardan birisi olması sebebiyle ideal bir yakıt olarak bilinir. Emisyon ve gürültü kirliliği karşılaştırmasında, LPG kullanan taşıtların daha az kirletici olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan, LPG kullanıldığında, benzinli çalışmaya oranla yakıt tüketimi azalmakta, bir miktar performans kaybı olmaktadır [7].

LPG'nin motor oktan sayısının benzine göre yüksek olması, bu yakıtın yüksek sıkıştırma oranında vuruntusuz çalışmasına olanak sağlamaktadır. Günümüzde LPG ağırlıklı olarak, motor üzerinde hiçbir yapısal değişim yapılmadan benzinli motorlara dönüşüm yapılarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı LPG yakıtının bu özelliğinden faydalanılmamaktadır. Böylece dönüşüm yapılan motorlar, benzine göre güç ve momentte bir kayıp oluşturmaktadır. Buna karşın egzoz emisyonları benzine göre daha temizdir.

Bu çalışmada tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı buji ateşlemeli bir motor LPG ile çalıştırılarak, orijinal sıkıştırma oranında benzinli çalışma ile yüksek sıkıştırma oranlarında LPG ile çalışmanın motor performansına etkilerinin kıyaslanması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Murillo et al. (2005) yapmış oldukları bir deneysel çalışmada buji ateşlemeli bir motorda LPG kullanmışlardır. Çalışmanın amacı benzin yerine LPG kullanıldığında; motor temel parametreleri, karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve nitrik oksit (NO_x) değerlerinin gösterdiği miktarları belirlemektir. Bu çalışmanın sonucunda, LPG kullanımı ile özgül yakıt tüketimi, CO ve HC emisyonu benzine göre fark edilebilir bir güç kaybı olmaksızın oldukça düşüş göstermektedir. Ters olarak NO_x emisyonunda bir yükselme kaydedilmiştir [8].

Bayraktar ve Durgun (2004) buji ateşlemeli bir motorda benzin ve LPG kullanılmasının bir araba motorundaki egzoz emisyonları ve performansa etkisini araştırmışlardır. Motor silindir basıncı ve sıcaklığı, matematiksel olarak modellenmiş ve farklı eşitlikler kurulmuştur. Aynı yakıt/hava oranı ve farklı motor hızları için sayısal hesaplamalar çevrim modeli olarak bir bilgisayar kodu hazırlanmıştır. Farklı motor hızlarında yapılan uygulamada yakıt/hava oranı; yakıt tüketimi ve ekonomisi bakımından gerçekçi karşılaştırma yapabilmek için her bir yakıt için aynı seçmişlerdir. Uygulamanın sonucu olarak, buji ateşlemeli bir motorda LPG, aynı koşuldaki benzinli motorda kullanıldığında egzoz emisyonlarında önemli gelişmeler sağlanabileceği görülmüştür. Ancak, diğer motor parametrelerindeki değişim ve motor yapısal unsurlarında bir gelişme görülmemiştir [9].

Dinler ve Yücel (2002) iki farklı motorda LPG ve benzinli çalışmanın egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Gerek benzin gerekse LPG ile çalışmada egzoz emisyonlarının HFK'na bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. LPG'nin benzine göre emisyonlarda daha iyi bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir [10].

Bayındır vd. (1997) yapmış oldukları bir deneysel çalışmada 1992 Model Renault 9 aracına LPG yakıt sistemini monte etmişler ve motorun belli devirlerinde aynı kriterlerde

benzinle yapılan çalışmayla karşılaştırma yapmışlar. Bu çalışmalar sonucunda LPG'li çalışmada daha düşük HC ve CO emisyonu değerleri elde edilmiştir [11].

Wu ve Mathews tarafından yapılan bir proje çalışmasında yedi adet taşıtın emisyon davranışları LPG, Doğal gaz ve benzin kullanılarak incelenmiş ve LPG ve doğal gaz ile çalışmada daha düşük egzoz emisyonu elde edilmiştir [12].

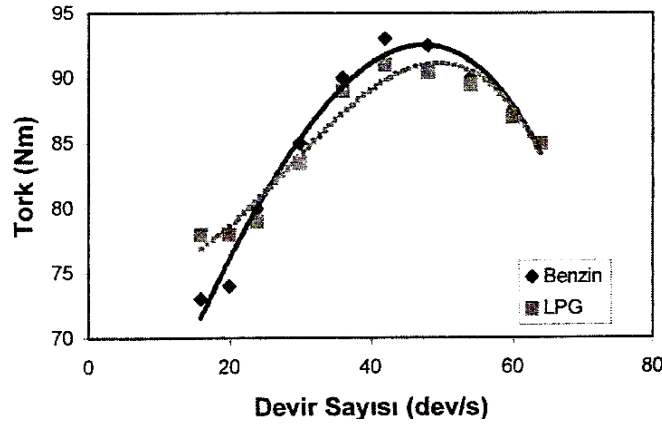
Smith et al. 1.4 litrelik bir taşıt motorunda LPG ve benzin yakıtları kullanarak emisyon ve verimlilik bakımından karşılaştırma yapmışlardır. LPG ile çalışmada HC emisyonlarının benzinliye göre daha düşük çıktığı belirlenmiştir [13].

Sierens tarafından yapılan çalışmada benzin enjeksiyonlu bir motora sıvı halde LPG püskürtülmesi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. LPG'li çalışmada egzoz emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir [14].

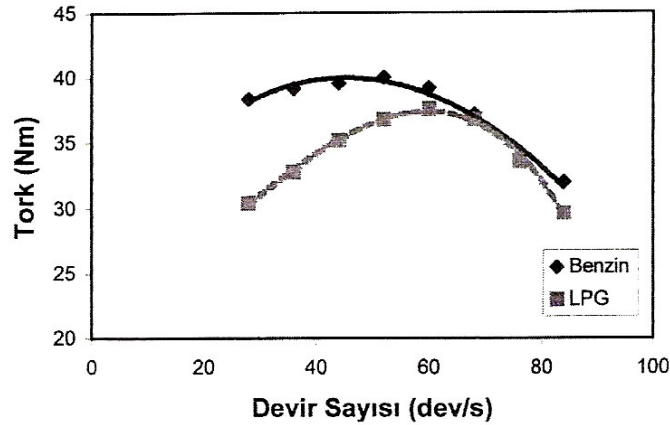
Emen (2000) tarafından Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde yapılan tez çalışmasında, benzin ve dizel motorlarda yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı kullanılmasının, yakıt maliyetine ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Birinci deney aracı olarak seçilen Lada Samaraya LPG sistemi ilave ederek farklı hız kademelerinde şasi dinamometresinde test edilmiştir. LPG dünya piyasasında ve Türkiye' de benzinden daha ucuz olduğu için LPG' li araçların benzinli araçlara göre yakıt tüketim maliyetinin %67 – 67,5 oranında (yaklaşık olarak üçte birine indirmektedir) daha ekonomik olduğu görülmüş ve emisyonlar açısından çevre dostu olduğu tespit edilmiştir [5].

Dinler ve Yücel günümüzde yaygın olarak kullanılan LPG'nin motor performansı üzerine olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde silindir hacimleri farklı iki motor kullanılmıştır. Motorların ortak özellikleri 4 zamanlı, 4 silindirli, buji ateşlemeli ve karbüratörlü oluşlarıdır. Birinci motor 1600 cm³ hacimli Ford marka motor, diğeri ise 850 cm³ hacimli Reliant marka motordur. Motorların her ikisine de aynı marka LPG dönüşüm kiti monte edilmiştir. Deneyler tam gaz keleşi açıklığında dinamodan yüklenerek belirli devir aralıklarında ölçümler alınmıştır. Ölçülen değerlere bağılı olarak motor torku, mil gücü ve özgül yakıt tüketimleri hesaplanmış ve grafikler şeklinde sunulmuştur [15].

Deney motorlarının tam açık gaz keleşi konumunda devir sayısına bağlı olarak motor torklarının değişimi şekil 2.1 ve şekil 2.2’de verilmiştir. Birinci motorda LPG dđnüşümü yapıldıktan sonra motor torkunda ortalama olarak %1,5 azalma olmuştur. şekil 2.2 incelendiğinde ise ikinci motorda LPG ile çalışmada tork değerlerinde ortalama %8’lik azalma olmaktadır. LPG’nin karbüratöre gaz fazında girmesi dolayısıyla volumetrik verimin düşük olması, düşük motor hızlarında silindirler içerisine giren hava hız düşmesi ve karışım oranının bozulması ile motor torkunda azalma olmaktadır [15].

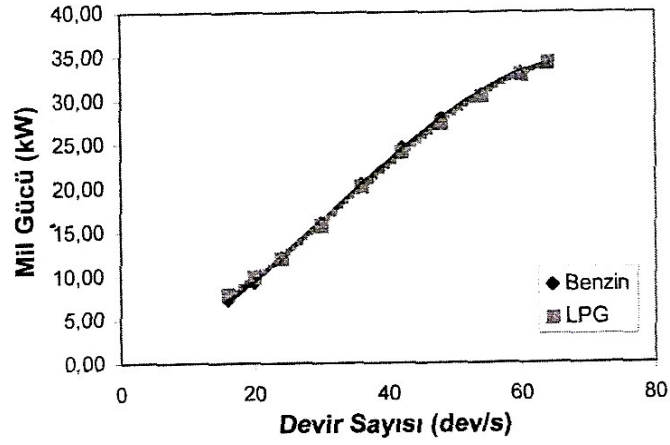


şekil 2.1 Birinci motorun motor torku [15].

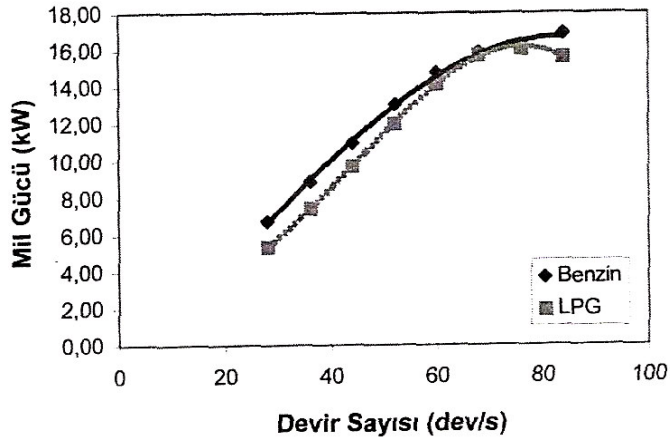


şekil 2.2 İkinci motorun motor torku [15].

Motorların krank millerinden ölçülen tork değerleri ile motor devir sayıları çarpılarak mil gücü hesaplanmıştır. Yukarıdaki iki grafik incelendiğinde, LPG dđnüşümünden sonra birinci motorun gücünde çok az değişme olurken, şekil 2.3; ikinci motorun gücünde ortalama %8’lik azalma olmaktadır, şekil 2.4 [15].

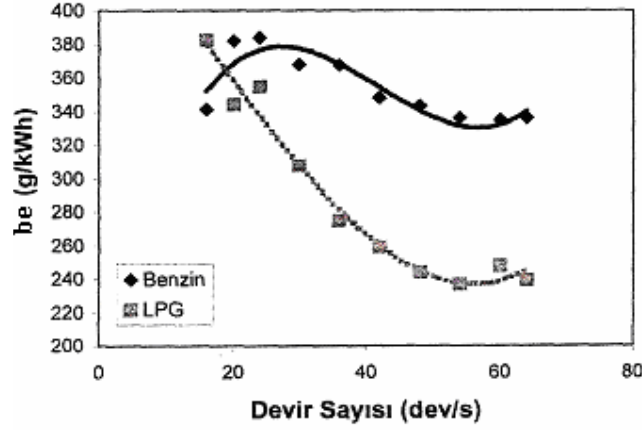


Şekil 2.3 Birinci motorun mil gücü [15].

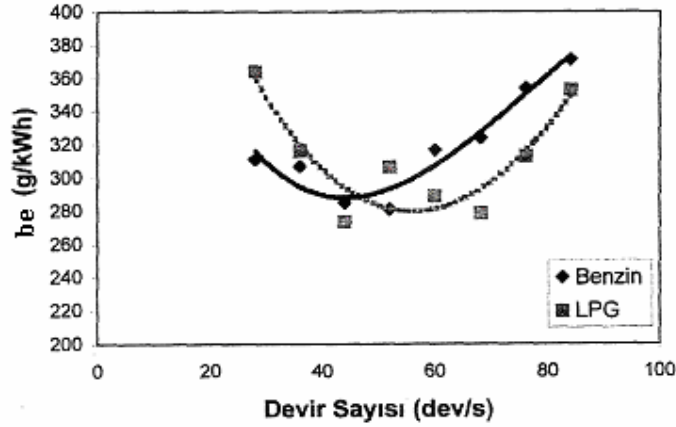


Şekil 2.4 İkinci motorun mil gücü [15].

Özgül yakıt tüketimi artan devir sayısı ile birlikte azalmakta, bir minimumdan geçtikten sonra, artan devir sayısı ile artan sürtünme kuvvetleri ve soğucuya olan ısı transferinin azalmasından dolayı, tekrar artmaktadır, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6. Özgül yakıt tüketimi grafikleri incelendiğinde, motorun LPG ile çalışmasında kütleli olarak daha az yakıt tükettiği görülmektedir. Bunun sebebi, LPG'nin alt ısı değeri benzinin ısı değerine göre daha yüksek olmasıdır. LPG'nin yanması sonucunda daha fazla ısı enerjisi ortaya çıkmakta ve krank milinden 1kWh'lik enerji almak için daha az yakıt tüketilmektedir [15].



Şekil 2.5 Birinci motorun özgül yakıt tüketimi [15].

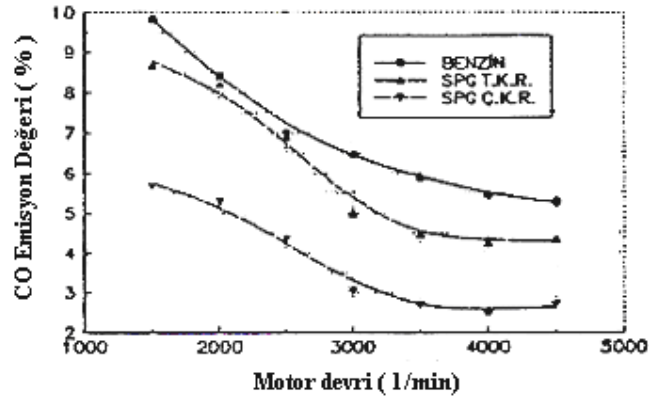


Şekil 2.6 İkinci motorun özgül yakıt tüketimi [15].

Sonuç olarak LPG'nin alt ısı değeri yüksek olması, gaz fazında silindir içerisine girmesi, benzine göre daha homojen bir karışım oluşturmaktan dolayı olumlu etkileri görülmektedir. LPG'nin gaz fazında olması motorun volumetrik verimi üzerinde olumsuz etkide bulunmaktadır. LPG dönüşümünde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri LPG karıştırıcısı seçerken dikkatli olunmalı, belirli periyotlarda yakıt hava karışımı kontrol edilmelidir [15].

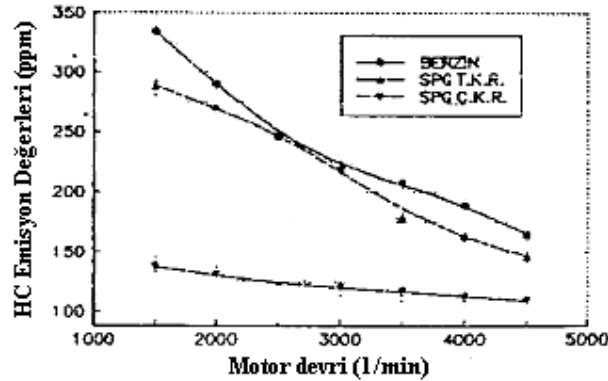
İçingür ve Haksever benzinli motorlarda LPG kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisini deneysel olarak incelemişleridir. Deney dört silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli benzinli bir motorda yapılmıştır. Benzinle olan çalışmada motorun orijinal karbüratörü kullanılarak yapılmıştır. LPG yakıtı ile olan çalışmada, birinci kuşak, vakum kontrollü, tek kademe ve çift kademe basınç dönüştürücü regülatörler ve dönüşüm sistem elemanları kullanılmıştır. Deney; sabit avans, tam gaz, değişik devir testi ve sabit devir,

tam gaz, sabit hava/yakıt oranı, değişik avans değerlerinde iki farklı test yöntemiyle yapılmıştır. Ölçüm sonucu çıkan ekzoz emisyonlarının grafikleri Şekil 2.7 ve 2.8’de verilmiştir [2].



Şekil 2.7 Benzin ve LPG yakıtı olarak yapılan çalışmalarda (Tek ve çift kademe basınç dönüştürücü regülatörlü) tam gazdaki karbonmonoksit emisyon (CO) değişimleri [2].

LPG yakıtlı çalışmalarda CO emisyon değerlerinin düştüğü ve yakıt kontrolünün iyi şekilde sağladığı çift kademe basınç dönüştürücü regülatörlü çalışmalarda en az seviyeye ulaştığı görülmektedir, Şekil 2.7 [2].



Şekil 2.8 Benzin ve LPG yakıtı olarak yapılan çalışmalarda (Tek ve çift kademe basınç dönüştürücü regülatörlü) tam gazdaki hidrocarbon emisyon (HC) değişimleri [2].

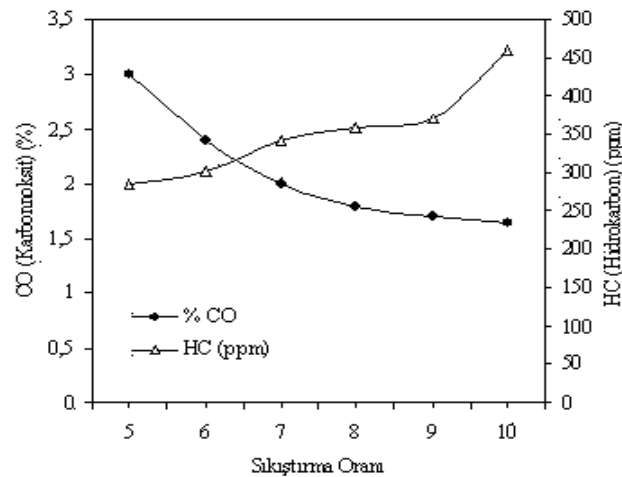
LPG yakıtının gaz fazında olması dolayısıyla silindire havayla homojen bir şekilde karışarak girmesi ve kimyasal özelliği sebebiyle temiz yanmaktadır. LPG yakıtı içerisinde katkı maddesi bulunmaması yanma sonucu kirletici egzoz gazı bırakmamasına sebep olmaktadır. LPG yakıtlı çalışmalarda elde edilen HC emisyonlarının benzinli çalışma

değerlerine göre düştüğü görülmektedir. Motorun ihtiyacı olan yakıt miktarının kontrolünün iyi sağlandığı çift kademe basınç dönüştürücü regülatörlü çalışmalarda HC emisyonlarının en az seviyeye ulaştığı görülmektedir, Şekil 2.8 [2].

Yaman (2004), yüksek lisans tez çalışmasında, benzinli motorlarda egzoz emisyonlarına etki eden faktörleri deneysel olarak incelemiştir. Deneyde tek silindirli, dört zamanlı, sıkıştırma oranı 4/1 – 10/1 değerleri arasında değiştirilebilen Lombardini (LA250) motor kullanılmıştır. Sıkıştırma oranının emisyonlara etkisi incelenirken, değişik sıkıştırma oranlarında, sabit devirde ve yakıt/hava oranı sabit tutularak ölçümler alınmıştır. LPG yakıtı kullanımının emisyonlara etkisi incelenirken, 8/1 sıkıştırma oranında, değişik yükte ve yakıt/hava oranı sabit tutularak ölçümler alınmıştır [16].

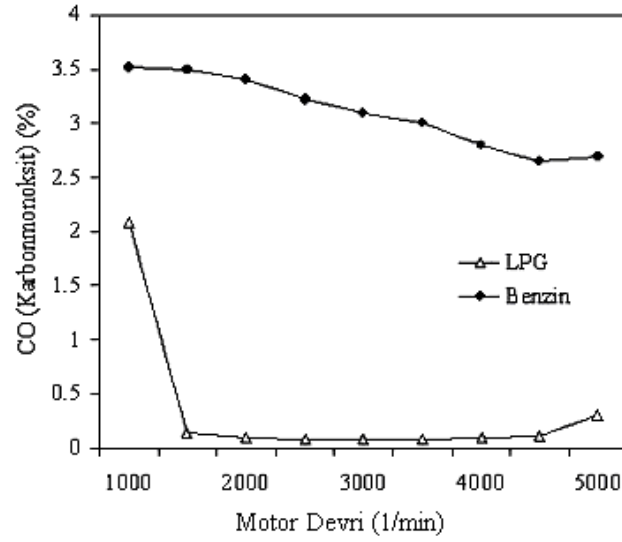
Bu çalışmanın sonuçlarına göre, sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 2.9'da görülmektedir. Artan sıkıştırma oranı ile CO emisyonlarında bir miktar azalma gözlenmiştir. En büyük sıkıştırma oranında CO emisyonu %1.64 iken, en düşük sıkıştırma oranında bu değer % 2.99'a çıkmıştır. Artan sıkıştırma oranı yanma verimini artırdığından CO emisyonu azalmaktadır [16].

Sıkıştırma oranının artması HC emisyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında yanma odası yüzey/hacim oranının artmasıyla birlikte HC emisyonları da artmaktadır. Sıkıştırma oranı 5/1 de iken HC emisyonu 285 ppm iken, sıkıştırma oranı 10/1 olduğunda HC emisyonu 460 ppm'e yükselmiştir, Şekil 2.9 [16].

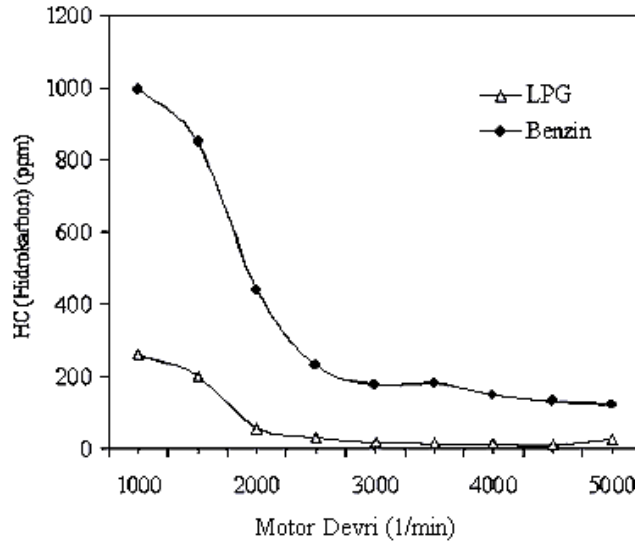


Şekil 2.9 Sıkıştırma oranının CO ve HC emisyonlarına etkisi (2200 1/min) [16].

LPG yakıtı daha iyi buharlaşması ve temiz yanması neticesinde, benzinle yapılan çalışmaya göre HC ve CO emisyonları yönünden daha düşük değerler verdiği tespit edilmiştir, Şekil 2.10 ve 2.11’de karşılaştırmalar görülmektedir [16].



Şekil 2.10 LPG ve benzinle çalışmanın CO emisyonu yönünden karşılaştırılması [16].



Şekil 2.11 LPG ve benzinle çalışmanın HC emisyonu yönünden karşılaştırılması [16].

Keskin (1997) yüksek lisans tezinde, buji ateşlemeli bir motorun doğal gazlıya dönüşümünün performans ve emisyonlara etkisi incelemiştir. Deneyde, dört zamanlı, dört silindirli Murat124 marka motor kullanmıştır. Deney yakıtı olarak benzin ve doğal gaz kullanmıştır. Deneyler sonucunda çıkan değerlerde güç ve momentte azalma göstermiştir.

Sonuç olarak doğal gazın oktan sayısı, benzinin oktan sayısından yüksek oluğu sıkıştırma oranını artırarak, aynı hacimli benzin motoruna göre daha fazla g alınabilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca oktan sayısını yükseltmek için benzinde olduğu gibi kurşun bileşenlere ihtiyaç olmadığından çevreye daha az zararlı etki söz konusudur [17].

olak (1991) yüksek lisans tezinde, doğal gazın tek silindirli, içten patlamalı bir motorda yakıt olarak kullanma olanağını araştırmıştır. Araştırmada Lombardini 205 model, tek silindirli içten patlamalı motor kullanılmıştır. Denemelerde deney setine %100 doğal gaz bulunan tp ve gaz sayacı bağlanarak, motorun moment, g ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Bu değerler, %100 benzin kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, moment değerinde %29,4 oranında ve güç değerinde %33 oranında azalmalar gözlenmiştir. Sonuç olarak, küçük güçlü içten patlamalı motorlarda %100 doğal gazın, verimli olarak kullanılabilmesi için motor sıkıştırma oranının artırılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir [18].

BÖLÜM 3

LPG’NİN MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI

3.1 DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE LPG KULLANIMI

Dünyada ve Türkiye’de LPG kullanımının gelişimi, genel durumu ve kullanım oranları aşağıda belirtilmiştir.

3.1.1 LPG İle İlgili Dünyadaki Genel Durum Ve Türkiye’deki Gelişmeler

Günümüzde LPG dünyanın bir çok ülkesinde alternatif otomobil yakıtı olarak kullanılmaktadır. LPG kullanan ülkeler konuyla ilgili standartlar getirmiştir. 30 ülkede yaklaşık 4 milyon motorlu taşıt 10 milyon ton LPG tüketmektedir. Japonya’da tüm ticari taksilerde yakıt olarak LPG kullanılmaktadır. Güney Kore’de taksilerin yaklaşık %90’ı LPG ile çalışmaktadır. Bir çok ülkede hava kirliliğinin azaltılması amacıyla, özellikle şehir içi ulaşımında kullanılan motorlu taşıtlarda LPG yakıtı kullanılmaktadır. Motorlu taşıtlarda LPG kullanan başlıca ülkeler tablo halinde verilmiştir, Çizelge 3.1 [19].

Ülkemize ilk olarak yakacak ihtiyacını karşılamak üzere getirilen LPG, 1994 yılından başlayarak değişik şehirlerde farklı uygulamalarla özellikle ticari taksilerde alternatif yakıt olarak LPG kullanımı başlamıştır. Fakat LPG kullanımı ile ilgili yasal bir düzenleme olmadığı için sistemin parçaları kaçak yollarla ülkeye sokulmuş ve bir çok taşıt emniyetsiz şekilde LPG sistemine dönüştürülmüştür. Türkiye’de, bu durum üzerine 29 Haziran 1995 tarihinde resmi gazetede yayınlanan yönetmelik ile motorlu taşıtlara LPG sistemi tadilatı ile ilgili bir düzenleme getirilmiştir. Buna göre, motorlu taşıtlarda LPG, CNG ve benzeri alternatif yakıt kullanılabilmesi için yakıt sisteminde yapılacak tadilata ait ECE R-67 numaralı Avrupa Birliği Standartlarında belirtilen emniyet ve teknik esaslara uyma zorunluluğu getirilmiştir [19].

Cizelge 3.1 Dünya genelinde motorlu taşıtlarda LPG kullanımı [19].

Ülke	Yıllık LPG kullanımı (bin ton)	Taşıt sayısı (bin adet)	Dolum İstasyon Sayısı
İtalya	1202	1050	1900
Hollanda	810	470	2000
Rusya	292	450	1000
Japonya	1814	305	1921
Güney Kore	1434	278	502
Tayland	140	19	92
Avustralya	890	330	2450
Meksika	1185	300	1500
ABD	1012	350	3300
Kanada	649	140	5000
Diğerleri	451	267	3100
Dünya Toplamı	9879	4089	22598

Halen Avrupa'nın bir çok ülkesinde yaklaşık 4.5 milyon LPG'li araç kullanılmakta, hatta kullanım için teşvik bile verilmektedir. En son, Peugeot firması 406 modelinde LPG'yi test edip olumlu sonuç almış ve bu LPG kullanan araçları trafiğe çıkarma aşamasına gelmiştir. Ülkemizde de Tofaş, Proton gibi firmalar fabrikasyon LPG'li araçlarını satışa sunmuş ve büyük ilgi görmüşlerdir [20].

3.2 LPG (Likit Petrol Gazı)

LPG (Likit Petrol Gazı); ham petrolün rafinerilerde benzin, mazot, gibi türevlere ayrıştırılmasıyla açığa çıkan veya bazı bölgelerde tabiattan serbest olarak çıkarılan propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonatlar veya bunların karışımıdır. Kalorifik değeri benzinden yüksektir. Bu karışım basınç altında sıkıştırılarak sıvılaştırılır, böylece az yer işgal eder ve kolayca depolanır ve nakledilir. Sudan hafiftir ve kullanırken üzerindeki basınç kaldırılarak gaz haline getirilir ve yanma işlemine sokulur [21,22].

Türkiye'de satılan LPG % 70-80 bütan (C_4H_{10}), % 20-30 propan (C_3H_8) içermektedir. (Soğuk ülkelerde daha uçucu olan propan oranı, sıcak ülkelerde bütan oranı daha yüksek tutulur). LPG halk arasında tüp gaz olarak da bilinmektedir. Aslında kokusuz olan bu

birleşim, güvenlik gerekçesi ile sonradan kokulandırılarak kullanıma sunulmaktadır. LPG petroldeki en hafif hidrokarbonlardan oluşur veya kuyulardan petrol çıkarılırken yada ham petrolün damıtılması yolu ile yan ürün olarak elde edilir. Çok çeşitli niteliklerde üretilebilir. Ayrıca Kuzey Denizinden de çıkarılmaktadır. Burada LPG yaş doğalgazdan (Yoğunlaşan Ağır Petrol Ürünleri İçeren Gaz) soğurma yolu ile elde edilmektedir. Kaynama noktası düşük olan bu ürün önce damıtılarak hafif olan ürünler uzaklaştırılır, daha sonra Hidrojen, Sülfür, Karbondioksit ve suyu gidermek için işleminden geçirilir. Elde edilen son ürün boru hatlarıyla yada özel tankerlerle taşınır. Çizelge 3.2’de LPG’nin fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir. Türkiye’deki LPG üretim yılda 4 milyon tondan fazladır ve bu miktar son 20 yıl içinde artan bir eğilim göstermektedir [20].

Çizelge 3.2 Alternatif yakıtların fiziksel özellikleri ve yanma karakteristikleri [20].

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin	Doğal gaz	Metanol	Etanol
Hava / Yakıt oranı	15.1/1	15/1	14.6/1	17.2/1	6.5/1	9.0/1
Alt ısı değeri (kJ/kg)	46400	45600	44000	50000	19900	26800
Fiziksel hal (NŞA)	Gaz	Gaz	Sıvı	Gaz	Sıvı	Sıvı
Kaynama noktası(°C)	-42	-0.5	30-225	-162	65	78
Parlama noktası(°C)	-105	-60	200	540	400	380
Alev sıcaklığı (°C)	1980	2008	1977	1790	1890	1930
Stokiyometrik karışımı yakmak için gereken tutuşma enerjisi (mJ),(NŞA)	0.3	0.3	1	0.3	0.2	-
Stokiyometrik karışımın kimyasal enerjisi (kJ/m ³)	3490	3450	3580	3240	3350	3490
Yanma limitleri (%)	2.2-3.2	1.8-9.5	5-16	5-15	-	-
Max.laminer yanma hızı (m/s)	0.4	0.4	0.35	0.37	0.44	-
Motor oktan sayısı	97	92	90	120	103	106

Düşük buharlaşma nedeni ile sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıklarına neden olmaktadır. Ayrıca bu gazın teneffüsünde de sakınılmalı ve kullanımı sırasında dikkatli olunmalıdır. LPG ile temas ihtimali olan durumlarda eldiven ve gözlük gibi koruyucular kullanılmalıdır. Sıvı hali gaz halinden 230-267 kat daha yoğundur. Örneğin 267 metreküplük gaz sıvılaştırıldığında 1 metreküplük bir hacme sığar. Sıvı olarak depolanması, gaz halinde kullanılması LPG’ nin en büyük avantajıdır. Ancak her Propan-Bütan oranı için LPG’nin buharlaşma sıcaklığı 0 derecenin altında ve daha yüksek ısılarda sıvı halde kalabilmesi için atmosfer basıncından daha yüksek basınçlar gereklidir.

Araçlarda kullanılan LPG'nin basınca dayanıklı tanklarda depolanmasının sebebi budur. Bu tanklar aracın kullanıldığı bölgedeki LPG'nin 15 derecedeki buhar basıncını (Sıvı halde kalması için gerekli basıncı) referans alarak, ECE R 67 ve TSE T. standartlarına uygun olarak üretilmektedir. Normal yakıtlı araçlar için mükemmel bir yakıt seçeneğidir. Ticari araçların çoğunda özel LPG motorları bir alternatif olarak geliştirilmektedir [20].

3.3 LPG ÇEŞİTLERİ

LPG, motorlu araçlarda kullanılan ve kullanılmayanlar olarak ikiye ayrılır.

3.3.1 Motorlu Araçlarda Kullanılanlar

Motorlu araçlarda kullanılan LPG çeşitleri ticari propan ve özel hizmet propanı olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

3.3.1.1 Ticari Propan

Başlıca propan (C_3H_8) ve propilen (C_3H_6)' den meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu yüksek olan hidrokarbondur .

Bu yakıt, evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımlarda özellikle soğuk iklimli bölgelerde, homojen yakıt istenen durumlarda uygundur. Ticari propan ayrıca, düşük süratli motorlar içinde uygun bir yakıttır. Kütlece % 95 saflıktadır [20].

3.3.1.2 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. Bu yakıtın bileşimi ve yanma özellikleri, bu standarttaki diğer yakıtlardakine göre daha az değişkendir [20].

3.3.2 Motorlu Araçlarda Kullanılmayanlar

Motorlu araçlarda kullanılmayan LPG çeşitleri ticari bütan ve ticari bütan-propan karışımı olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

3.3.2.1 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 gaz karışımı ılıman (propana göre sıcaktır) iklimli bölgelerde evlerde ve buharlaşma problemi olmayan sanayi kuruluşlarda yakıt olarak kullanılabilir. Kütlece %95 saflıktadır [20].

3.3.2.2 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 kullanımlar da zaman ve iklim şartlarındaki uygulamalara göre elverişli özelliklerde yakıt elde edilmesi içinde uygundur [20].

3.4 LPG’NİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ürünün güvenli ve akıllıca ele alınması, o ürünün fiziksel özelliklerinin ve karakteristik yönlerinin bilinmesini gerektirmektedir.

LPG, renksiz ve kokusuzdur. Sıvı haldeyken suya benzer. LPG rafineride yada gaz tesisinin de üretici tarafından etil merkup (C_2H_5SH) ile kokulandırılır. Kokusu karakteristiktir. Gaz kaçağı halinde bu koku kaçağın yerini belli etmeye yardımcı olacaktır [20].

LPG buharı; havadan 1,5 kat daha ağırdır. Yani havaya yavaşça karıştığında aşağıya çöken gaz fazlalaşarak yukarı çıkar. LPG’yi atmosfere karıştırmak gerektiğinde basık alanlarda kalmamasını sağlayacak şekilde bir takım önlemler alınmalıdır.

LPG buharı zehirli olmakla beraber, fazla miktarda solunursa uyuşturucu etkisi olabilir oksijen ile yer değiştirme meyline sahiptir. Atmosfere çıkan sıvı LPG hızla buharlaşır ve donar. Hızla buharlaşan LPG'nin tene teması yanık oluşumları meydana getirir (1 atm' de propan – 42°C , bütan – 0,5 °C de kaynar.)

Çizelge 3.3'de propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir [20].

Çizelge 3.3 Bütan ve Propan'ın fiziksel ve kimyasal özellikleri [20].

ÖZELLİKLER	BÜTAN	PROPAN
Formül	C₄H₁₀	C₃H₈
Molekül Ağırlığı (kg/mol)	58.12	44.10
Donma Noktası (°C)	-138.3	-187.8
Kaynama Noktası (°C)	-0.5	-44.3
Buhar Basıncı (20°C, kg/cm ²)	1.20	8.93
Buhar Basıncı (55°C, kg/cm ²)	4.85	20.18
Sıvı Yoğunluğu (15°C kg/m ³)	582	504
Sıvı Özgül Isısı (15° C kj/kg)	1.276	1.464
1 lt Sıvının Gaz Hacmi (15°C, m ³)	0.235	0.271
1 kg Sıvının Gaz Hacmi (15°C, m ³)	0.410	0.539
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	0.582	0.504
İzafi Yoğunluk (Hava = 1)	2.09	1.55
Parlama noktası (°C)	-60	-105
Tutuşma noktası (havada °C)	482-538	493-549
Alev sıcaklığı (havada °C)	2008	1980
Isı değeri (kcal/kg)	11854	12409
Yanma limitleri	% 1.9 – 8.5	% 2.4 – 9.5

LPG'li ortamda çalışırken uzun ve koruyucu eldivenler kullanılmalıdır. LPG bazı durumlarda çözücü görevi görür. Bazı petrol ürünlerinde natürel (doğal) kauçuk dolgusunun çözülmesinde kullanılır. LPG'nin transferi için kullanılan tüm hortum ve bağlantı parçaları, bu kullanım için dayanıklılık açısından onaylanmalıdır.

LPG için yanmaya karşı dayanabilirlik sınırları % 2.4'den % 9.5'e kadardır. Yani % 9.5 LPG karışımı ve % 90.5'lik hava yanması oluşturacaktır. Buna yanabilirliğin üst sınırı

denilir. Yanabilirliğin alt sınırı, % 97.6 hava ile % 2.4 LPG karışımından oluşur. Tüm hava ve LPG kombinasyonlarında, % 9.5 ile % 2.4 arasında LPG kullanılarak yanma gerçekleşir. LPG için yanabilirlik sınırları, diğer yakıt gazları olan asetilen yada hidrojen gibi yakıt gazlarına nazaran çok düşüktür. Bu sınırlar, sadece hava ve LPG'nin tam karışımı halinde geçerlidir.

LPG atmosfere karıştığında çökme eğilimi gösterir. Gaz hava ile karışmadan önce, yanmak için çok zengindir ama gaz ana gövdesinin alt kısımlarında bazı karışımlar oluşur. Ateşleme olursa, bu kısımlardaki gaz yanar, yanan hava hareketi ile daha fazla karışım meydana gelir. Birçok gaz çok kısa zaman içerisinde, yanabilirlik seviyelerine uygun olarak hava ile karışır. Karışım normalde yanma için çok zengin olsa da yanma bu noktada oluşur.

Buhar basıncı, gazın cismin bulunduğu yere uyguladığı itmedir. LPG ısı değişimine göre değişim gösteren hava gibidir. Soğutulduğunda daralır yada büzülür; ısıtıldığında genişler. Sabit hacimli bir tankta genişen gaz; tankta daha fazla basınç oluşturur. LPG ısıtıldığında tank duvarlarına itici baskı yapacağından, buhar basıncı ısı ile artacaktır. Bunun tam tersine ısı düşüşleri oluştuğunda LPG'nin buhar basıncıda düşecektir [20].

Propan'ın -42°C 'de gaz faza geçmesi durup, sıvı fazda kalırken, bu bütanda 0°C 'de görülür; özellikle soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımların gereksinimini ortaya çıkarır, böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Türkiye'de hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden motorlu araçlarda kullanılan Sıvılaştırılmış Petrol Gazı karışımının tüm bölgelere uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir[20].

Soğuk iklimli bölgelerde kullanılan LPG'lerin içerisindeki propan oranının artırılarak sıvı fazdan gaz faza geçiş kolaylaştırılmalıdır. Dünyada LPG, otomobillerde özellikle Avrupa ülkelerinde, Amerika ve Japonya'da yoğun olarak kullanılmaktadır [20].

LPG'nin ısı değeri, diğer gazlara göre daha yüksektir. LPG'nin yüksek ısı değerlere sahip olması önemli bir avantajdır. Ancak daha dikkatli kullanmayı gerektiren bir faktördür. Yakıt seçiminde ikinci faktör de yakıtın depolanması, bulunabilirliği, sürekliliği ve

güvenilir olmasıdır. Alternatif yakıtların depolanma özellikleri gösterilmiştir, Çizelge 3.4 [20].

Sıvılaştırılmış Petrol Gazı'nın bir özelliği de yağ ve boyayı eritebilmesidir. Ayrıca doğal lastiği deforme eder. Bu yüzden ki motorlu araçlarda kullanılan esnek borular uygun kalitede sentetik malzemeden yapılmaktadır [20].

Çizelge 3.4 Alternatif yakıtların depolanma özellikleri [20].

Özellikler/yakıtlar	Propan	Bütan	Benzin	Doğal gaz	Metanol	Etanol
Yakıtın fiziksel hali	Sıvı(8atm)	Sıvı	Sıvı	Gaz	Sıvı	Sıvı
Yakıtın yakıt tankı ile birlikte yaklaşık ağırlığı (kg)	28.0	32	38.4	9.5	18.8	24.6
Tank içindeki yakıtın birim hacimdeki enerjisi (mj/lt)	25.2	24.6	35.5	6.0	17.8	23.3

Bütan'ın 0 °C deki buhar basıncı 0.2 bar ve 15 °C'de 1.05 bar'dır. Propanın aynı derecedeki bütan karışım oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur. Isı arttıkça basınç artar ve sıvılaştırılmış petrol gazının sıvı haldeki hacminde büyük değişikliklere neden olur; böylece, sıvı haldeki sıvılaştırılmış petrol gazı ile dolu olan bir ortamda ısı arttıkça basıncında artmasına ve içindeki bulunduğu tankın patlamasına neden olur. (Güvenilirlik bakımından bir tank LPG ile tamamen doldurulmamalıdır) [20].

LPG' nin bileşiminin bir bölgeden diğerine büyük ölçüde değiştiği için buna bağlı olarak karakteristiklerin de değişeceği beklenmelidir. Örneğin, Avrupa'da ülkelere göre propan-bütan oranı % 96 ila % 20 arasında dalgalanmaktadır. Çizelge 3.5'de çeşitli Avrupa ülkelerindeki propan-bütan oranlarındaki değişim gösterilmektedir [23].

Çizelge 3.5 Çeşitli Avrupa ülkelerindeki propan / bütan oranı [23].

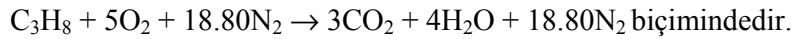
Ülkeler	Propan/Bütan Oranı	
	Yaz	Kış
Belçika	30/70	50/50
Almanya	Propan	Propan
Danimarka	50/50	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan

3.4.1 LPG'nin Tam Ve Teorik Yanma Denklemleri

Yanma süreçlerinin büyük bir bölümünde gerekli olan oksijen atmosferdeki havadan sağlanmaktadır. Atmosfer havası hacimsel olarak %78.09 Azot, %20.95 Oksijen, %0.93 Argon ve %0.03 Karbonmonoksitten meydana gelmektedir. Yanmanın hacimsel olarak %79 Azot ve %21 Oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28.851'dir ve içerisinde bir mol oksijene karşılık 3.76 mol azot bulunmaktadır [24].

Propan ve bütan ile hacimsel olarak %50 propan ve %50 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Propanın yanma eşitliği;



Burada kimyasal olarak doğru oranda (teorik tam yanma için) hava kullanılmıştır.

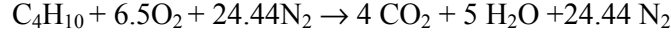
Reaksiyonda hava (a) / yakıt (f) mol oranı;

$$\frac{a}{f} = \frac{5 + 18.80}{1} = \frac{23.80}{1} \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

ağırlık oranı ise;

$$\frac{a}{f} = \frac{5 * 32 + 18.80 * 28}{3 * 12 + 8 * 1} = \frac{15.6}{1} \text{ kg hava / kg yakıt olmaktadır.}$$

Bütanın yanma eşitliği;



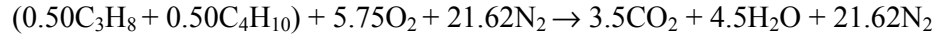
Reaksiyonun hava / yakıt mol oranı;

$$\frac{a}{f} = \frac{6.5 + 24.44}{1} = \frac{30.94}{1} \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

ağırlık oranı ise ;

$$\frac{a}{f} = \frac{6.5 * 32 + 24.44 * 28}{4 * 12 + 10 * 1} = \frac{15.38}{1} \text{ kg hava / kg yakıt, olmaktadır.}$$

Bu durumda, %50 propan ve %50 bütandan oluşan Propan-Bütan karışımının yanma eşitliği ;



biçiminde olacaktır.

Benzer şekilde Propan-Bütan karışımı için reaksiyonun hava / yakıt mol oranı ;

$$\frac{a}{f} = \frac{23.80 + 30.94}{2} = \frac{27.37}{1} \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

ağırlık oranı ise ;

$$\frac{a}{f} = \frac{15.6 + 15.38}{2} = \frac{15.49}{1} \text{ kg hava / kg yakıt olarak hesap edilmektedir [24].}$$

3.5 LPG'nin DİĞER YAKITLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Normal benzin ile LPG arasında bazı asal farklılıklar vardır. LPG motoru gaz olarak besleyen bir bütan-propan karışımıdır. Böylece optimal karışım hazırlanışı basitleşmekte

bunun yanında emilen hava ile karışımı kolaylaşmaktadır. Normal sıvı yakıtların aksine LPG emme zamanı esnasında tamamen buharlaşır ve böylece daha büyükçe hacme yayılır. Ayrıca gizli buharlaşma ısı motoradaki termodinamik işlemi etkilemez. Bunun sebebi soğutma suyunun gaz karıştırıcıya girmeden önce buharlaştırıcıyı ısıtmasıdır. Şekil 3.1’de motorla ilgili en önemli LPG karakteristiklerin buna karşılık gelen benzin değerleri ile karşılaştırılması görülmektedir.

	BENZİN	LPG %100 PROPAN %20
YOĞUNLUK (15°C) Kg/dm ³	0.76	0.507 0.56
VOL. ISIL DEĞER M ³ /dm ³	33	23.5 25.6
STOİKOMETRİK HAVA-YAKIT ORANI (VOL.) m ³ Hava/ Yakıt	0.57	6.12 6.69
OKTAN SAYILARI RON	99	111 94
MON	89	97 90

Şekil 3.1 Bir motor için benzin ve LPG karakteristiklerinin karşılaştırılması [24].

Çizelge 3.6’da piyasadaki değişik propan-bütan oranlarına göre LPG’nin özelliklerinin değişim miktarı verilmiştir. Isı değerlerinde ve stokiometrik hava yakıt oranlarında yaklaşık % 9 civarında bir değişim ve oktan sayılarında 17’ye varan farklılık görülmektedir [24].

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

Çizelge 3.6 Değişik propan / bütan oranlarına göre LPG'nin gösterdiği değişim miktarı [24].

PROPAN/BÜTAN	%96 / %4	%20 / %80	DEĞİŞİM
Yoğunluk % 15 kg/l	0.507	0.56	% 10.4
Hacimsel ısı değeri MJ/l	23.5	25.6	% 8.9
Stokiyometrik Hava/Yakıt oranı	6.12	6.69	% 9.3
RON	111	94	-17
MON	97	90	-7

LPG motorlarda aşınmayı azaltır, motor yağının (eksildiğinde tamamlanmak kaydıyla) değişme ömrünü 2-3 kat uzatmaktadır. Buna bağlı olarak bakım ve servis süreleri azaldığından filo işletmeleri için zamandan tasarruf önemli mertebelere çıkmaktadır. Araç tesisatları tamamen kapalı bir sistem olduğundan akaryakıttaki gibi akıntı ve sızıntı ihtimali olmayıp, akıtma ve buharlaşma kaybı olmadığından ekonomik kayıp ve çevresel kirlenmeye de sebep olmaz. Egzoz emisyonları benzine ve dizele göre çok düşüktür. Diğer yakıtlar ile (soğuk ve sıcak motor için ayrı ayrı) karşılaştırma için yapılan araştırma sonucunda elde edilen emisyon değerleri; direkt zehirleyici etkileri ve küresel ısınmaya etkileri olarak sırasıyla Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'te sunulmuştur. Bu çalışmada buji ateşlemeli enjeksiyonlu, normal emişli turbo, dizel ve turbo dizel motorlara sahip Honda, Opel, WW, Lancia, Volvo, Mercedes, Nissan, Peugeot ve Ford gibi değişik markalı araçlar kullanılmıştır [20].

Çizelge 3.7 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Direk Zehirleyici Etkileri)[20].

Yakıt Türü	CO (g/km)		HC (g/km)		NO _x (g/km)		Partikül (g/km)	
	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak
Benzin	1.97	0.45	0.27	0.10	0.18	0.13	0.011	0.004
LPG	1.01	0.53	0.15	0.09	0.15	0.10	0.006	0.006
CNG	0.36	0.34	0.37	0.17	0.17	0.14	0.011	0.003
Dizel	0.68	0.49	0.12	0.09	0.78	0.74	0.085	0.074

Çizelge 3.8 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Küresel Isınmaya Etkileri)[20].

Yakıt Türü	CO ₂ – (g / km)	
	Soğuk	Sıcak
Benzin	224	218
LPG	211	192
CNG	203	189
Dizel	241	222

LPG’de, benzinde bulunan her türlü katkı maddesi bulundurmadağı için bunlardan kaynaklanan çevre kirliliğine sebep olmaz.Ancak yanma işlemi sonucunda ortaya çıkan yanmamış HC, CO ve NOx vb atık gazlar benzinde olduğı gibi LPG'de de söz konusudur. HC ve CO benzine oranla 10 kat daha azaltılabilmekle birlikte tam yanma sayesinde bilinçsiz kullanımla egzozdan atılan bu zararlı gaz atıklarının benzine oranla çok daha yüksek seviyelere ulaşması kaçınılmazdır. Benzini; kurşunsuz yakıt olan dizel ve LPG emisyonlarını karşılaştırsak, tüm bu yakıtların karbon ve azotmonoksitlerle birlikte yanmamış hidrokarbonlar ürettiğini ancak kurşunun yalnızca benzin tarafından açığa çıkarıldığını görürüz. Bundan başka LPG kükürtdioksit ve aromatikleri üretmez [23].

Çizelge 3.9’de ABD’de kullanılan alternatif yakıt sistemine sahip taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır [5].

Çizelge 3.9 Alternatif Yakıt Kullanan Taşıtların Performanslarının Karşılaştırılması [5].

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

Çizelge 3.9’de verilen değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin ve dizele alternatif olarak içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek yakıtlar arasında LPG en iyi durumdadır. Çizelgede performans değerleri verilen değişik alternatif yakıtlar kullanan taşıtların

menzili kriter alınarak karşılaştırıldığında, bütün taşıtların 57 litre hacimde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve bir depo yakıt ile taşıtın ne kadar menzile sahip oldukları belirtilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi günümüzde içten yanmalı motorlarda kullanılan benzine alternatif olarak menzil kriterleri dikkate alındığında en iyi sonucu LPG yakıtlı taşıtın verdiği görülmektedir. Bunun sebebi ise LPG yakıtlı taşıtın 100 km' deki yakıt tüketiminin en az olmasıdır [5].

3.5.1 LPG'nin Avantaj ve Dezavantajları

Son yıllarda araçlarda kullanılmaya başlanan LPG sistemlerinin avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

3.5.1.1 LPG'nin Avantajları

- a) LPG tatbik edilen araçlarda iyi bir montaj ve uygun bir ayarlama ile benzinli araçlara oranlara oldukça düşük egzoz gazı emisyon değerlerine ulaşılmasını sağlar.
- b) LPG benzine göre ekonomik bir yakıttır. 10.06.2005 tarihi itibari ile süper benzin 2,510.000 TL / lt, LPG oto gaz 1,280,000.TL / lt olması bunun en güzel göstergesidir.
- c) Kütlesel olarak benzinle LPG'nin kalorifik değerleri birbirine yakın olmakla beraber hacimsel olarak LPG'nin kalorifik değeri benzine göre düşüktür, bu nedenle bir aracın birim mesafede tükettiği benzinden takriben %10 kadar daha fazla litre LPG tüketir.
- d) LPG; pistonların, segmanların, valflerin ve bujilerin aşınmasından meydana gelecek kurşun, vernik yada karbon atığı çıkartmaz. Motor karterini yada motorun yanma odalarını kirletmez. Motoru temiz tutar, karbon ve kurum oluşturmaz dolayısıyla motor ömrünü uzatır.
- e) Ateşleme bujisinin ömrünü uzatır, yanma odalarında yada ateşleme bujilerinde tortu oluşmaz, çünkü LPG'nin farklı karışımlarındaki kuvvetlendiricilere ihtiyacı bulunmamaktadır. Ateşleme bujileri, diğer yakıtlardan özellikle kurşunlu benzin kullanan araç motorlarındaki bujilere nazaran daha uzun ömürlüdür.
- f) Yakıt pompası gerekmez, LPG kendinden tazyikli olduğu için benzinli motorlarda olduğu gibi yakıt pompasına ihtiyaç bulunmamaktadır. Bu durum tamirat veya değişimden doğacak masrafların azalmasını sağlar.

- g) Azalan karbüratör masrafı, LPG yakıtlı motorlardaki karbüratör, birkaç hareketli parça ve kirliliği engelleyecek havalandırmasız basit bir mekanizma olup, karbüratör servisi ve tamirâtı yok denecek kadar azdır.
- h) LPG yakıt sistemi, tamamen kapalı sistemdir. Bu sistemde yakıtın akma ve buharlaşma kaybı ortadan kaldırılmıştır.
- i) Motor yağı ömrünün uzamasını sağlar.
- j) İçerisindeki Propan (%30) ve Bütan (%70) gazının hacimsel oranı nedeni ile benzine oranla motor vuruntu direncini artırdığı için daha büyük sıkıştırma oranlarında benzine göre motor gücü artar [20].

3.5.1.2 LPG'nin Dezavantajları

- a) Standartlara uygun LPG ekipmanlarının kullanılmaması halinde, taşıtlarda kullanılması güvenli olmamaktadır.
- b) Türkiye'de tüketilen 4 milyon ton benzinin %92'si yurt içinde rafinerilerde üretilmekte tüketimi yaklaşık 2,5milyon ton olan LPG'nin %70'ine yakın bölümü ise ithal edilmektedir. Bu da ülke için döviz kaybına neden olmaktadır.
- c) Taşıma ve depolama harcamaları sıvı yakıtlara nazaran daha yüksektir.
- d) Birinci nesil dönüşüm sistemi takılmış motorlarda %3 ikinci nesil dönüşüm sistemi takılmış motorlarda %2 benzine göre güç kaybı olmaktadır.
- e) LPG benzine oranla daha yüksek oktan sayısına sahip olması nedeniyle yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kullanıldığında motorun NOx emisyonunda %15 oranında bir artış söz konusudur [20].

BÖLÜM 4

TAŞITLARDA LPG KULLANIMI

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

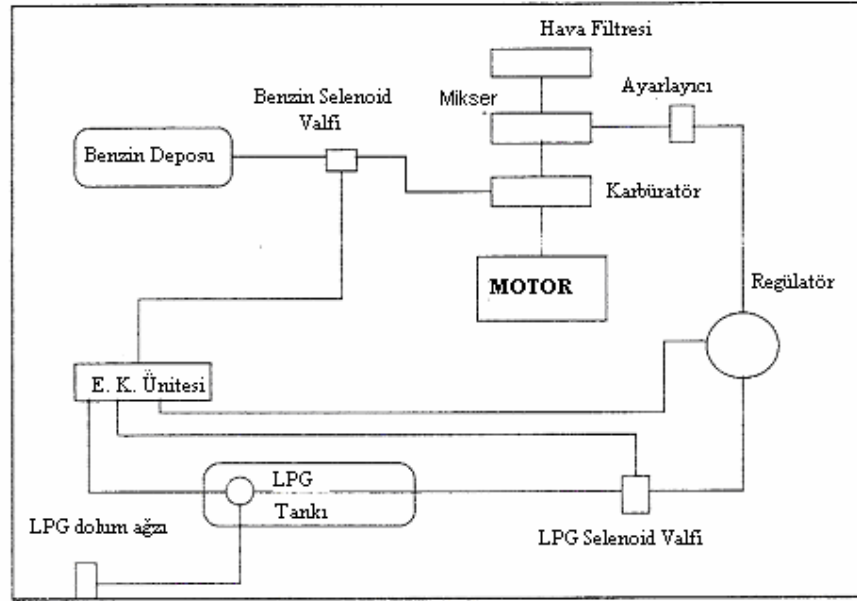
4.1 TAŞITLARDA KULLANILAN LPG TEKNOLOJİLERİ

Hafif taşıtlarda kullanılan LPG sistemleri 3 grupta incelenir.

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

4.1.1 LPG Karbürasyon Sistemi (1. Nesil)

Taşıtlarda emisyon standardı uygulama zorunluluğu olmayan ülkelerde klasik LPG sistemleri kullanılır. Tipik bir klasik LPG sistemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu mekanik sistemler “1. nesil” sistemler olarak isimlendirilirler. Kaputun altına yerleştirilen sistem, bir elektromagnetik LPG açma-kapama valfi, bir buharlaştırıcı/basınç regülatörü ve karışım ünitesinden ibarettir. Bir çift yakıtlı taşıta bu sistem yerleştirildiğinde benzin hattına ayrıca bir elektro-manyetik açma-kapama valfide yerleştirilir. LPG ile çalışma durumunda bu valf kapalı, benzinle çalışma durumunda ise açıktır. LPG valfi, buharlaştırıcı/basınç regülatörünün önüne yerleştirilmiştir. Basınç regülatörü motor suyu ile ısıtılır. Bu ısıtma işlemi, LPG’nin genleşmesi sıcaklıkta büyük bir düşüşe sebep olacağından dolayı, regülatörün donmasını önlemiş olur. Regülatörden gelen buharlaşmış LPG, karışım ünitesinde hava ile karışır. Karışım ünitesi karbüratörün altında veya üstünde bir yere yerleştirilebilir. Buradan kuru gaz/hava karışımı olarak motor içine emilir. LPG ölçümü (debi ayarı), basınç regülatörü ve karışım ünitesi ile birlikte belirlenir. LPG dönüşüm işleminin en basit şeklidir [23].



Şekil 4.1 Mekanik kontrollü LPG sistemi (1. nesil) [24].

4.1.2 Elektronik Kontrollü LPG Sistemleri (2. Nesil)

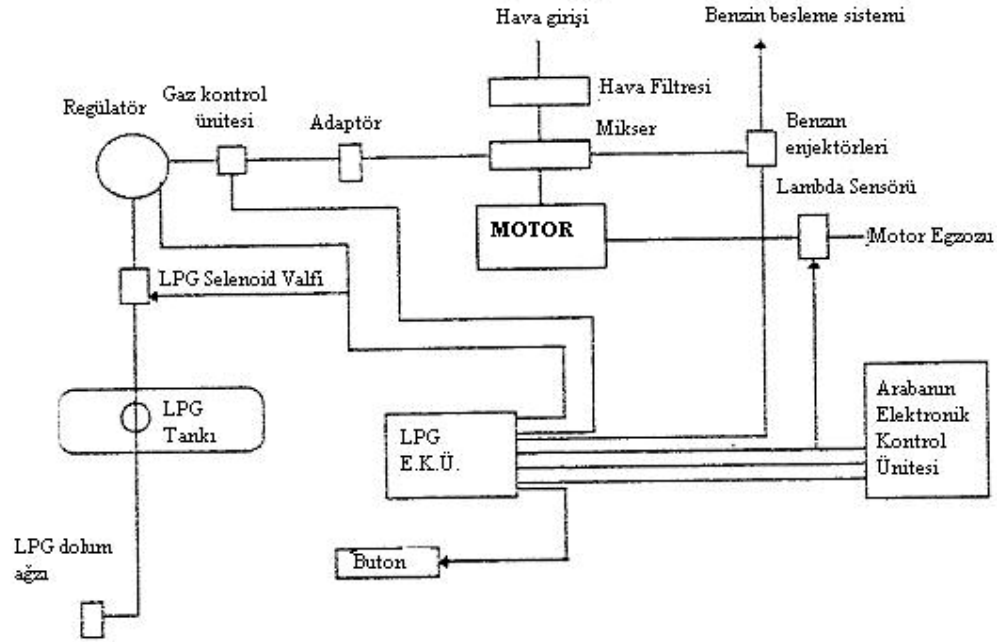
Değişik ülkelerde egzoz emisyonları için getirilen standartların artması, ekipman üreticilerinin, LPG dönüşüm tasarımlarını geliştirmeleri zorunluluğunu doğurmuştur.

Modern elektronik, klasik LPG sistemlerinin bazı eksiklerinin giderilmesini sağlamıştır. Hassas bir elektronik kontrol ile gaz akışının basitçe ölçümü yapılarak sistemlerin gelişmesi sağlanmıştır. Bu sistemlerde gaz akışının ana ayarı hala daha basınç regülatörü ve karışım ünitesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte analog veya dijital olarak kontroller yapılmaktadır. Sistemin bu tipi, hava filtresi içerisine püskürtme (Throttle Body Injection), kapalı çevrim, lambda sensörü kontrollü ve 3 yollu katalitik konvertör içeren taşıtlarda kullanımı için uygundur [24].

Bir çok firma tarafından üretilen 2. nesil LPG ekipmanlarının çalışma prensipleri hemen hemen aynıdır. Sadece küçük farklılıklarla veya ilave edilen ekstra devrelerle birbirlerinden ayrılırlar.

Şekil 4.2’de, 2.nesil LPG ekipmanlarına bir örnek olarak Vialle firmasının ürettiği mikroişlemci kontrollü LPG sistemi gösterilmiştir.

Bu sistem bir standart basınç regülatörü ve karışım ünitesi ile birlikte çalışır. Mikroişlemciye giriş sinyalleri, motor devri, manifold basıncı ve lambda sensöründen gelen sinyaller girer. Birçok 2.nesil sistemde olduğu gibi burada da, mikroişlemci ya açık çevrim ya da kapalı çevrim metodolojisine göre bir dijital lineer actuatoru (DLA) kontrol eder. Bu actuator (stepmotor) basınç regülatörü ile karışım ünitesi arasında kuru gaz hortumu içerisine yerleştirilen değişken memeyi ayarlar [24].



Şekil 4.2 Bir mikroişlemci kontrollü LPG sistemi (2.Nesil) [24].

1995'in başlarından beri Hollanda'da, 2.nesil ekipman üreten AG Autogas Systems, Eurogas, Landi Hartog, Necan ve Vialle gibi çeşitli ekipman üreticileri, kendi kendine öğrenen ve artık ayarlama gerektirmeyen elektronik kontrol birimlerinin kullanımı ile sistemlerini geliştirmişlerdir. LPG sisteminin kendi kendine öğrenme özelliğinden dolayı, motorun çalışması sırasında herhangi bir ayarlama yapmaya gerek yoktur. Bu sistem yıl boyunca LPG satış şirketleri tarafından verilen farklı propan/bütan karışımlarını hesap eden kontrol parametrelerinin değişimine müsaade eder. Bir LPG motorunun bu kendi kendine öğrenme organları, taşıtın ömrü boyunca daha düşük kirlilik oluşturmasını kontrol etmiş olur [24].

4.1.3 LPG Püskürtme Sistemleri (3. Nesil)

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

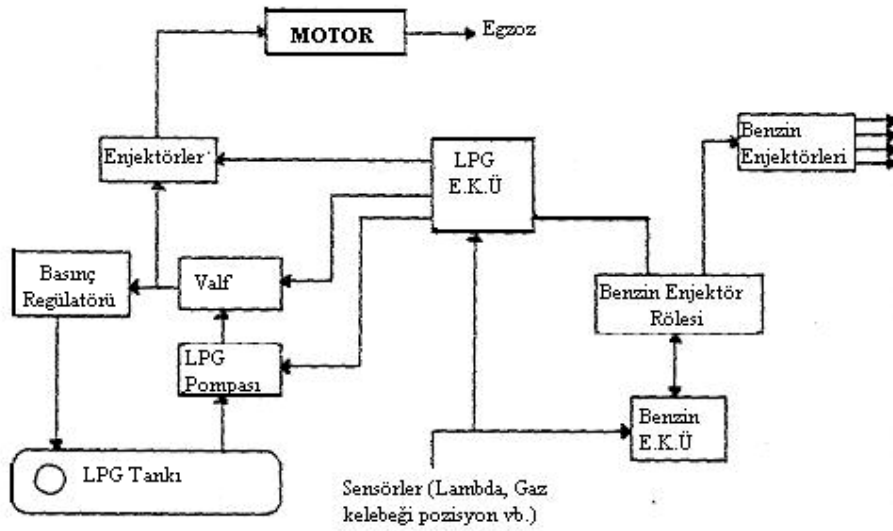
Benzin püskürtme sistemlerinde giriş manifoldu yüksek volumetrik verim sağlayarak havayı motora nakleder. Porta püskürtme kullanıldığı zaman, benzin her giriş supabından biraz önce püskürtülür ve tasarım ve kullanım esnasında, hava giriş sistemine alınan patlayıcı karışım hesap edilemez. Bir elektronik kontrollü LPG karbüratör sistemi ile LPG'ye dönüştürülmüş olan taşıtlar emme manifoldunda patlayıcı bir maddeye sahip olmuş olurlar. Taşıtın ateşleme sisteminin fonksiyonlarında meydana gelecek bir hatada, karışım emme manifoldunda kendi kendine tutuşabilir. Bu durum benzin püskürtme ve hava giriş sisteminde hasar sebebiyet verebilir. Geri ateşlemenin sonuçlarını önlemek için, bir çok LPG ekipman üreticisi, ürünlerini yenileyerek çok noktalı LPG püskürtme sistemleri geliştirmişlerdir [24].

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

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

Aşağıda çok noktalı ve tek noktalı gaz fazında LPG püskürtme sistemlerine bir örnek verilmiştir [13].

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



Şekil 4.3 Çok noktalı kuru gaz püskürtme sistemi (3. Nesil) [24].

MEGI sistemde tanktan gelen LPG bir iki kademeli basınç regülatöründen geçirilir. Burada aşırı basınç doğrultularak kontrol edilir. Bir gaz ayarlama ünitesi ile eşit miktarda yakıtın silindirlere gönderilmesi sağlanır. Daha sonra LPG, her silindirin emme supabının ön tarafına püskürtme borusu yardımıyla bir enjektöre gönderilerek püskürtülür. LPG püskürtme sistemi benzin enjektörleri ile birleştirilerek kullanılabilir. Benzinle mükemmel bir şekilde motor çalıştırılır ve daha sonra bir seçici anahtar yoluyla 2. Yakıt tipine geçilir. LPG püskürtme sistemi mikroişlemci kontrollü olup kendi kendine öğrenme sistemine sahip ve ayar gerektirmeyen tiptir. Performans, emisyon ve yakıt sarfiyatını temsil eden sinyaller mikroişlemci tarafından ölçülür ve ayarlayıcı pozisyona dönüştürülür. Mikroişlemci özellikle manifold emme basıncı (MAP) ve motor devir sinyaline göre hareket eder. Ayrıca diğer parametreler de gaz kelebeği pozisyonu, lambda sensör, giriş havası su ve yakıt sıcaklıkları da kullanılır. Mikroişlemci gaz ölçme birimi üzerine monte

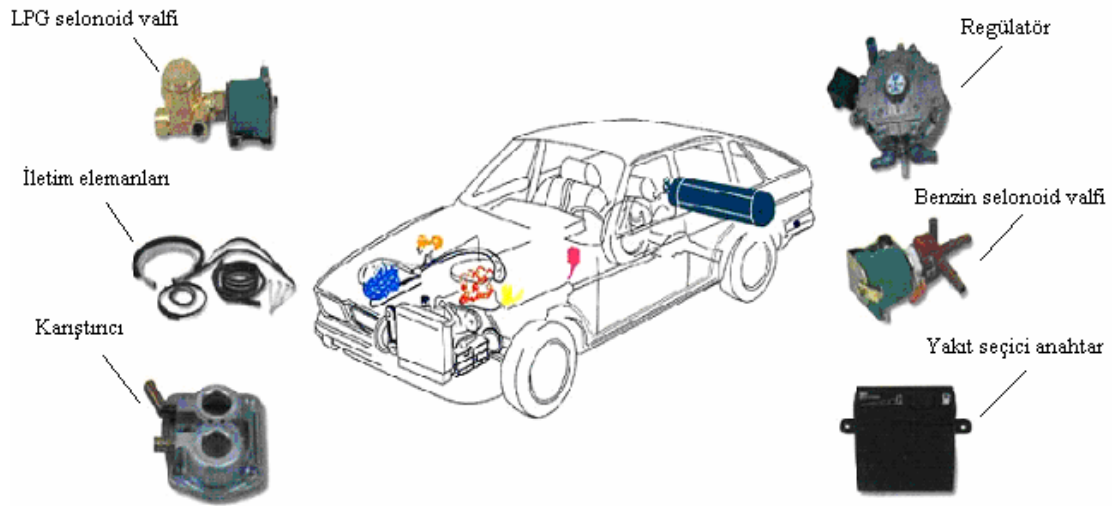
edilen dijital lineer ayarlayıcı kontrol eder. Dijital lineer ayarlayıcı püskürtülen yakıtın gerçek miktarını ayarlar. Mikroişlemci içerisindeki farklı giriş sinyalleri ve kendi kendine öğrenme tablolarıyla kontrol edilebilir. MEGI sistem, kendine ait motor yönetim sistemi ile donatılmıştır. Bu yüzden bu sistemi tek yakıtlı motorlar için (orta ve ağır motorlar için) kullanmak mümkündür. MEGI sistemin bu uygulamaları tamamen bağımsız bir motor yönetim sistemi ile teçhiz edilir. Uyum sağlayan öğrenme modu, özel lambda kontrol stratejileri, motorun tipine bağlı olarak ivmelenmede yakıt kesme, ateşleme kontrol ve hata tanıma sistemi gibi sistemlerdir [24].

4.2 LPG YAKIT DÖNÜŞÜM SİSTEMİNİN ELEMANLARI

Sıvılaştırılmış petrol gazı kullanmak için kullanılan dönüşüm sisteminde bulunan ana elemanlar şunlardır [25].

- a. LPG deposu
- b. Multivalf (çoklu valf)
- c. LPG selonoid valfi
- d. Benzin selonoid valfi
- e. LPG-Benzin yakıt seçme anahtarı
- f. LPG buharlaştırıcı (regülatör, basınç düşürücü)
- g. Karıştırıcı (mikser)
- h. Gaz sızdırmaz multivalf koruyucu kapağı
- i. LPG Dolum ucu
- j. Gaz ayar vanası
- k. İletim elemanları

LPG sistemi elemanları ve araç üzerindeki yerleri Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 LPG sistem elemanları ve araç üzerindeki yerleri [25].

4.2.1 LPG Tankı

LPG deposu maksimum 115 atmosfer basınçta ve dış etkilere mukavemetli yapılmış basınçlı kaptır. LPG tankı sistemin en büyük parçası olup, aracın arka bölümüne bagajın bir kısmına ya da yedek lastik bölmesine yerleştirilmektedir [25].



Şekil 4.5 Simit tank [25].



Şekil 4.6 Silindirik tank [25].

LPG tankları silindirik ve simit tipinde (stepne) olmak üzere iki çeşitti, Şekil 3.5, Şekil 3.6. Bunlar da kendi aralarında ikiye ayrılırlar: A tipi tanklar, B tipi tanklar. A tipi tanklar 17 atmosfer işletme basıncında çalışırlar, 30 atmosfer işletme basıncında test edilirler. B tipi tanklar 17 atmosfer işletme basıncında çalışırlar, 45 atmosfer test basın ile test edilirler.

Depoların muayeneleri sırasında depolarda şişme, sızıntı, akma, veya esneme belirtileri olmamalıdır. LPG depoları TS ve Avrupa standartlarına uygun olarak üretilmelidirler. Her 100 depoluk üretim partisinden rasgele seçilen bir tanesi teste tabi tutulur. LPG tankları 10 yıldan fazla kullanılamaz ve 10 yılını dolduran depolar yenisi ile değiştirilir. LPG depoları taşıtlara uygun şekilde farklı uzunluk ve çapta üretilmektedir.

LPG depoları, sıvı LPG ile % 100 oranda doldurulmamalıdır. Depo tamamen sıvı LPG ile doldurulduğunda basınç çok yüksek değerlere ulaşabilir. Sıvı haldeki LPG'nin hacimsel genleşme katsayısı oldukça yüksektir. Deponun sıvı LPG ile doldurulması sırasında depo kapasitesinin % 80'ini aşmaması gerekmedir. Depo üzerinde bulunan multivalf depo kapasitesinin % 80'i geçtiğinde dolumu kesmelidir. Her zaman depo içerisinde % 20 genleşme payı kalmalıdır. Ayrıca unutulmamalıdır ki depo tamamen doldurulmuşsa bile bu patlayacağı anlamına gelmez. Çelik cidarlar, patlama noktasına ulaşınca kadar büyük bir gerilme yeteneğine sahiptir [25].

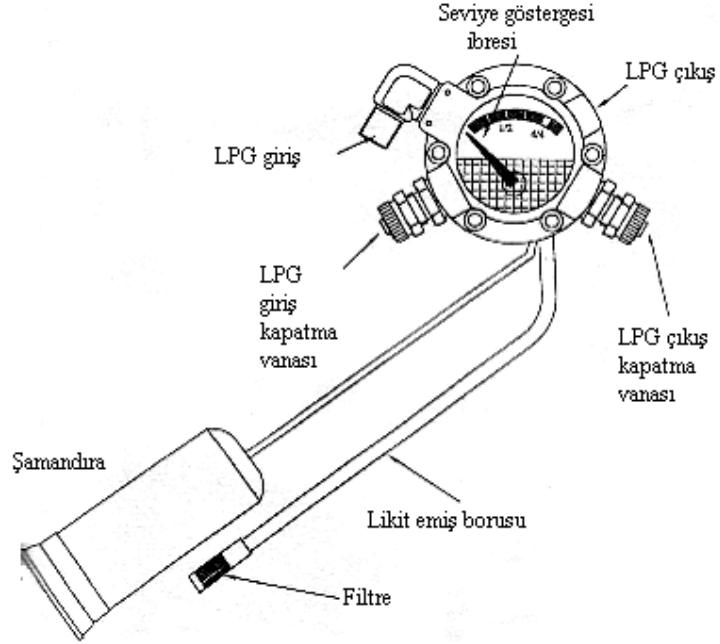
LPG deposu, binek taşıtlarda bagaja yerleştirilirler. Depolar kolayca sökülemeyecek şekilde montaj edilmelidir. Montajda dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise, multivalfin tank üzerine monte edilmesidir. Multivalf üzerindeki göstergenin ve diğer elemanların yatay konuma paralel olması sağlandıktan sonra, depo kayışı gerdirilerek sabitlenir. Yatay konumda monte edilmeyen bir tank multivalf üzerinde bulunan gaz emme borusundan gazı ya hiç emmez yada emme borusu tankın dibine vuracağından LPG içinde bulunabilecek yabancı maddelerin emilmesine neden olabilir [25].

4.2.2 Multivalf (Çoklu Valf)

Multivalf, LPG tankı üzerine bağlanan ve tank içerisinde LPG nin seviyesini, tanka LPG giriş-çıkışını kontrol eden çok amaçlı bir valftir, Şekil 4.7, Şekil 4.8 [25].



Şekil 4.7 Multivalf [25].



Şekil 4.8 Multivalfın LPG deposundaki ön görünüşü [25].

Multivalfler kendi aralarında A ve B tipi olmak üzere ikiye ayrılırlar: A tipi multivalflerde 25 atmosferik tahliye valfi bulunur. B tipi multivalflerde tahliye valfi bulunmaz.

Multivalfler aşağıdaki fonksiyonları yerine getiren bir mekanik yapıdan oluşur.

Doldurma: Yakıt alma sırasında, yakıt pompasından geçen LPG multivalftden geçer iyi bir multivalf, uzun bir dolum süresini önlemek için LPG'nin geçişine fazla direnç göstermemelidir.

Dolum limiti: Mevcut standartlar ve güvenlik nedeniyle, depo kapasitesinin %80'nin den fazla doldurulmamalıdır. Kalan %20'lik bölüm LPG buharıyla doludur. Böylece sıcaklıktaki bir artışla birlikte tank içindeki sıvının genişerek bütün hacmi doldurmaması sağlanır. Dolum işlemini doğru noktada kesebilmek için, multivalf'e bağlı bulunan şamandıra maksimum seviyeye ulaşıldığında LPG akışını kesebilecek şekilde donatılmıştır.

Seviye ölçer: Tank içerisindeki LPG' nin seviye ölçme işlemi iki mıknatısla yapılmaktadır. Bu mıknatıslardan biri tankın içinde olup, şamandıraya bağlı cihazlarla birleşiktir, ikincisi ise deponun dışında olup göstergeye bağlıdır. Gösterge kadranı genellikle dörde ayrılmıştır ve bir bölmede rezerv için mevcuttur. LPG seviyesinin kolay okunması ve şoför mailinde görülebilmesi için, multivalf uygun elektronik dönüştürücülere bağlanabilir. Bu dönüştürücüler, yakıt seviyesini sürücüye uyarı ışıkları veya başka analog sistemler aracılığıyla gösterir.

LPG Emme İşlemi: Deponun dibine doğru dönük bir emme borusu sayesinde multivalf sıvı LPG emilmesini sağlar. Her durumda multivalf motorun ihtiyaç duyacağı maksimum sıvı değerlerinin geçişine, aşırı yük kaybına neden olmadan, olanak sağlayacak geçiş bölümlerine sahip olmalıdır.

Kesme: Multivalfin üzerinde emme ve doldurma borularını bloke etmeye yarayan iki adet vana vardır. Bunlar genel olarak açık konumdadır; ancak bakım işlemi sırasında ya da kaza vb. durumlarda kapatılabilir. Multivalfe erişim güç olduğunda, emme borusu kolayca kapatabilmek için bir kumanda sistemi monte edilmiştir.

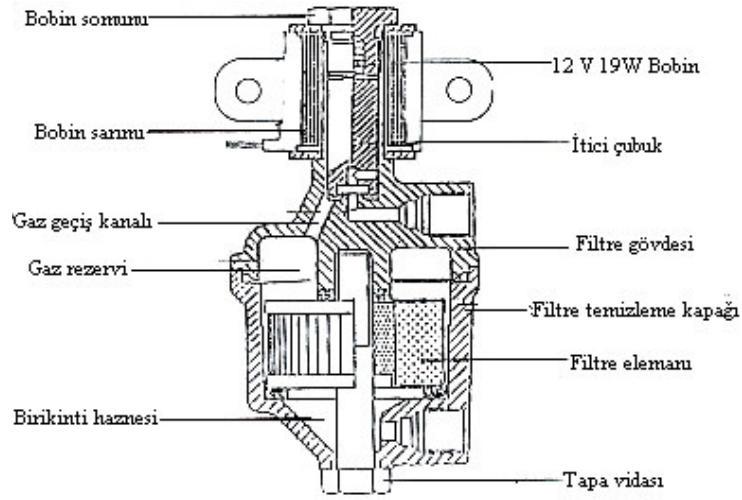
Aşırı Akım: Multivalfin içinde ve LPG emme borusu üzerine yerleştirilen “aşırı akım valfi”belirli bir kalibrasyon değerinin üzerine çıkıldığında akışı durdurmaya yarar. Aşırı akım vanası bir kaza sonucu motora giden LPG borusu kırılacak olursa gaz kaçaklarını durdurur [25].

4.2.3 LPG Selonoid Valfi

LPG deposu ve buharlaştırıcı arasına monte edilmiş elektro manyetik kumandalı bir valftir. Bu valfin görevi, motor çalışmadığı veya motor benzin ile çalıştırıldığında LPG akışını kesmektir [25].



Şekil 4.9 LPG selonoid valfi [25].



Şekil 4.10 LPG Selonoid valfinin kesit görünüşü [25].

Sıvı halde depodan gelen LPG selonoid valfin birikinti haznesine (dekontasyon odasına) girer. Buradan sıvı LPG filtreden geçerek gaz rezervinin bulunduğu kısma geçer ve buradan gaz geçiş kanalı vasıtasıyla selonoid valfin üst kısmına geçer. Araç benzin ile çalıştırıldığında itici çubuk aracılığıyla LPG'nin buharlaştırıcıya doğru akışı kesilir.

4.2.4 Benzin Selonoid Valfi

Benzin otomatığı ve karbüratör arasına monte edilen elektromanyetik valftir. Bu valfin görevi, LPG ile çalışmada karbüratöre benzin akışını kesmektir, Şekil 4.11 [25].



Şekil 4.11 Benzin selonoid valfi [25].

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

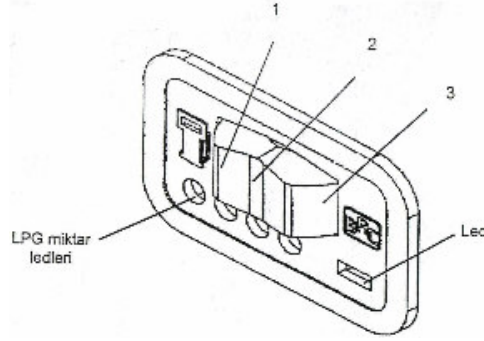
Benzin selonoid valfi yalnız karbüratörlü araçlara monte edilir. Benzin selonoid valfi üzerindeki oklar benzin akış yönünü göstermektedir. Bu valfin üzerinde manuel bir kol vardır. Bu kol araç elektrik sisteminde herhangi bir arıza olduğu durumlarda sola çevrildiğinde sistemi devre dışı bırakarak, benzin otomatiğinden karbüratöre benzin akışını serbest bırakır [25].

4.2.5 Seviye Göstergeli Yakıt Seçici Anahtar

Yakıt seçme anahtarı sürücü tarafından motorun LPG ile veya benzinle çalışmasını sağlayacak seçenekleri ve yakıt seviyesini gösteren bir elektrik anahtarıdır. Aracın ateşleme sisteminden (endüksiyon bobininden) aldığı sinyale göre elektro valflere komut göndermektedir.

Şoför mahalline yerleştirilmiştir. Üç konumlu olup, bunlar sırası ile 1.Benzin, 2. Bekleme, 3. LPG konumlarıdır, Şekil 4.12. Anahtar benzin konumunda (1) iken kırmızı led lambası yanmakta ve benzin selonoid valfi açık, LPG selonoid valfi kapalı konumdadır. Yakıt seçici anahtar LPG konumunda (3) iken göstergenin yeşil led lambası yanmakta LPG selonoid valfi açık, benzin selonoid valfi kapalı konumdadır. Yakıt seçici anahtar orta

bekleme konumda (2) iken benzinden LPG' ye geçişte kullanılmaktadır. Bu bekleme konumunda iken hem LPG hem de benzin selonoid valfleri kapalı konumdadır. Böylece her iki selonoid valf kapalı iken aracın karbüratöründeki benzinin tüketilmesi sağlanmakta ve motor durmak üzere iken anahtar sürücü tarafından LPG' ye geçirilmekte ve aracın LPG ile çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 4.12 Seviye göstergeli yakıt seçici anahtar [25].

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

Anahtar üzerinde LPG deposundaki yakıt seviyesini gösteren 5 adet led bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi kırmızı, diğerleri ise yeşil renktedir. Kırmızı led rezervde yakıt kaldığını gösterir (yaklaşık 5 litre) yeşil ledler ise depodaki LPG miktarını $\frac{1}{4}$ ve katları olarak gösterir [25].

4.2.6 LPG Buharlaştırıcı (Regülatör)

Buharlaştırıcı; yüksek basınçta gelen sıvı LPG'nin atmosferik basınca düşürülmesini sağlamak, sıvı haldeki LPG'yi motor suyunun sıcaklığından faydalanarak gaz fazına dönüştürmek, motorun ihtiyacına göre gaz akışını sağlamak, motorun devrine göre LPG ayarını sağlamak gibi görevleri vardır [25].

Elektronik ve pnömatik (vakumlu) olmak üzere iki çeşittir. Elektronik tiplerde buharlaştırıcıdan karbüratöre gaz akışı contağın açılması ile sağlanır. Pnömatik tiplerde, yani vakumlu regülatörlerde, manifold vakumundan faydalanılarak gaz akışı sağlanır.

Buharlaştırıcı karbüratöre en yakın noktaya dikey pozisyonda monte edilir. Elektronik tiplerde buharlaştırıcı bir kablo aracılığı ile yakıt seçme anahtarından komut alır [25].

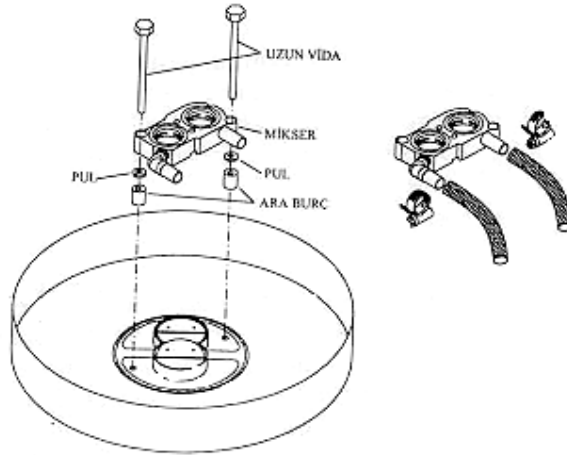


Şekil 4.13 Çeşitli regülatörler [25].

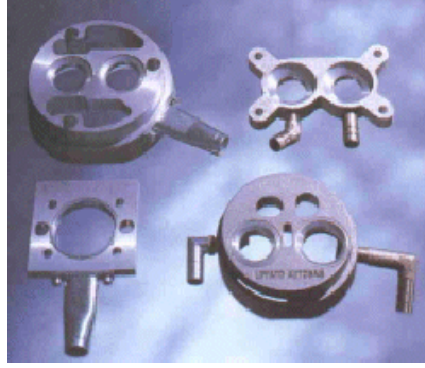
4.2.7 Karıştırıcı (Mikser)

Karıştırıcı LPG ve hava karışımını homojen bir şekilde sağlayan LPG dönüşüm sistemi parçasıdır. Karıştırıcının görevi motorun bütün çalışma durumuna uygun emilen hava ile orantılı gaz vermeyi sağlamaktır [25].

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



Şekil 4.14 Mikser montajı [25].



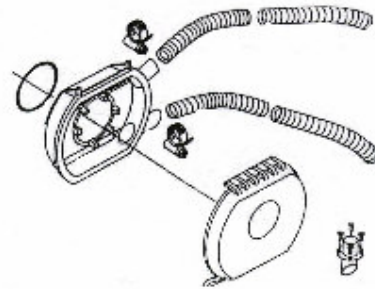
Şekil 4.15 Çeşitli mikserler [25].

Her motordaki farklı tipteki karbüratörler için farklı tipte karıştırıcılar vardır. Bunlar iki grupta toplamak mümkündür [25].

1. Grup
 - a. Set üstü plaka karıştırıcılar
 - b. Plaka altı karıştırıcılar
2. Grup
 - a. Karışık sistemler
 - b. Çatallı sistemler

4.2.8 Gaz Sızdırmaz Multivalf Koruyucu Kapağı

Gaz sızdırmaz multivalf koruyucu kapağı, LPG sisteminin emniyet açısından çok önemli bir parçasıdır [25].



Şekil 4.16 Multivalf koruyucu kapağı (gaz sızdırmaz muhafaza) [25].

Gaz sızdırmaz koruyucu kapağı, çeşitli malzemelerden (ABS, alüminyum) üretilir. LPG tankına giriş-çıkış boruları ve çok amaçlı emniyet valfi bu sızdırmaz odacık içine konmuştur. Sızdırmaz odacıktan bagaj çıkışına iki hortum bağlantısı vardır. Tanka gaz giriş-çıkışını sağlayan borular bu hortumların içinden geçirilmektedir.

Gaz sızıntısı olduğu takdirde gaz kapanı ve hortumlar sayesinde bagaj dışına atılır. Gaz geçirmez kabın işlev görmesi dış ortamdan iyi bir yalıtımla sağlanır, hava dolaşımı ise aracın hareketi ile sağlanır.

Genelde kapak büyüteç görevini gören şeffaf malzemeden üretilir. Bunun nedeni; seviye ölçerlerin büyütülmüş olarak görülmesini sağlamaktır [25].

4.2.9 LPG Dolum Ucu

Dünya standartlarında imal edilmiş birçok çeşitli dolum ağızları vardır. Türkiye’de en yaygın kullanılan dolum ağızı İtalyan tipi olup özel pirinç alaşımından yapılmıştır. Gaz dolum borusunun içinde kalan gazın sızdırılmaması için yayın önüne konulmuş bir bilya vasıtası ile gaz kaçaqları önlenir. Dolum ağızını tozdan korumak için bir toz kapağı kullanılır [25].

TS-12305’e göre dolum ağızı egzozdan en az 250 mm uzağa monte edilmelidir.



Şekil 4.17 Dolum ucu ve aksesuarları [25].

4.2.10 Gaz Ayar Vanası

Motorun 3500 1/min ve üstündeki devirlerde ihtiyacı olan LPG'yi sağlamak amacı ile ayar vanasının tabandan yüksekliğini ayarlayan düz veya çatal bir alettir. LPG regülatöründen miksere giden örgülü hortum arasına yerleştirilir. Genellikle plastik, alüminyum veya pirinç malzemeden yapılır [25].

Tabandan yükseldikçe gaz akışı artar, tabana yaklaştıkça gaz akışı azalır. Motorun ihtiyacı olan gaz miktarı bulunduğunda ayar vidası sabitlenir dolayısıyla motora en ideal gaz akışı sağlanmış olur. Vanaların düz, çatalı, ve çok çatalı tipleri mevcuttur, Şekil 4.18.



Şekil 4.18 Gaz ayar vanaları [25].

4.2.11 Bakır Borular

Bakır borunun görevi LPG deposundaki sıvı LPG'yi LPG selenoid valfine oradan da buharlaştırıcıya iletmektir. Bakır boru mutlaka 45 bar basınca dayanıklı olmalıdır. Egzozdan en az 25 cm. uzaktan ve taşıtın altına yere sürmesi sırasında zarar görmeyecek şekilde monte edilmesine dikkat edilmelidir [25].



Şekil 4.19 Bakır boru ve kelepçe [25].

4.2.12 Hortumlar

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

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

LPG dönüşümü yapıldıktan sonra sızdırmazlığa karşı dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir [25].

BÖLÜM 5

SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

Sıkıştırma oranının motor performanslarına ve egzoz emisyonlarına etkisi başlıklar halinde aşağıda belirtilmiştir.

5.1 GEOMETRİK SIKIŞTIRMA ORANI

İdeal motorda, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin (V_1), sıkıştırma sonu hacmine (V_2) oran şeklinde tanımlanan geometrik sıkıştırma oranı;

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (5.1)$$

dir. Gerçek motorda ise sıkıştırma A.Ö.N.'da değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle gerçek motorun sıkıştırma oranı (ε_g);

$$\varepsilon_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} \quad (5.2)$$

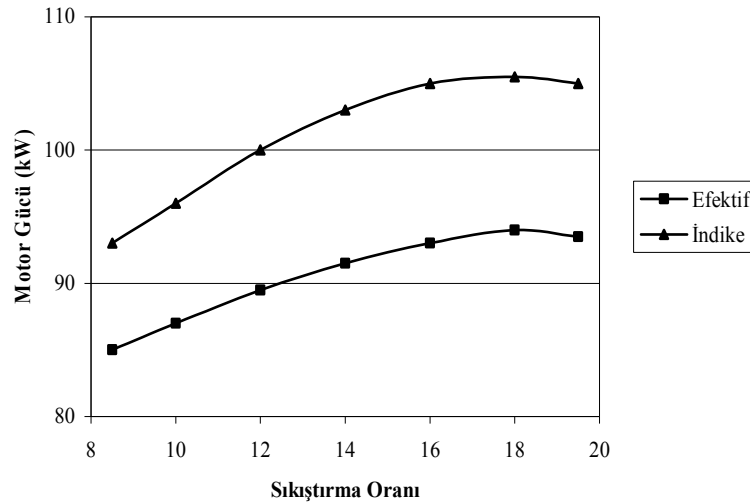
Yazılabilir. V_k , AÖN'dan sonra supapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir [26].

5.2 SIKIŞTIRMA ORANININ GÜCE VE YAKIT EKONOMİSİNE ETKİSİ

Benzin motorlarında sıkıştırma oranının yükseltilmesi yakıtın vurutuya karşı dayanabildiği noktaya kadar olmaktadır. Sıkıştırma oranı yüksek tutulduğu nokta yakıtın kendi kendine tutuşacağı ve ateşleme yapıldıktan sonra yanma odasının çeşitli noktalarından kendi kendine yanma başlatmadan vurutu yapmayacağı son noktaya kadar ayarlanmaktadır [16].

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasında yakıt-hava karışımının sıkıştırma sonucu sıcaklığını arttıracığından motorun ısı veriminin artmasını sağlar. Isıl verimin artması ise yakıtın ısı enerjisinin daha yüksek oranda faydalı güce dönüşmesi anlamına gelir. Bu durumda motorun özgül yakıt tüketimi azalmakta ve maksimum çıkış gücünde artmaktadır [27].

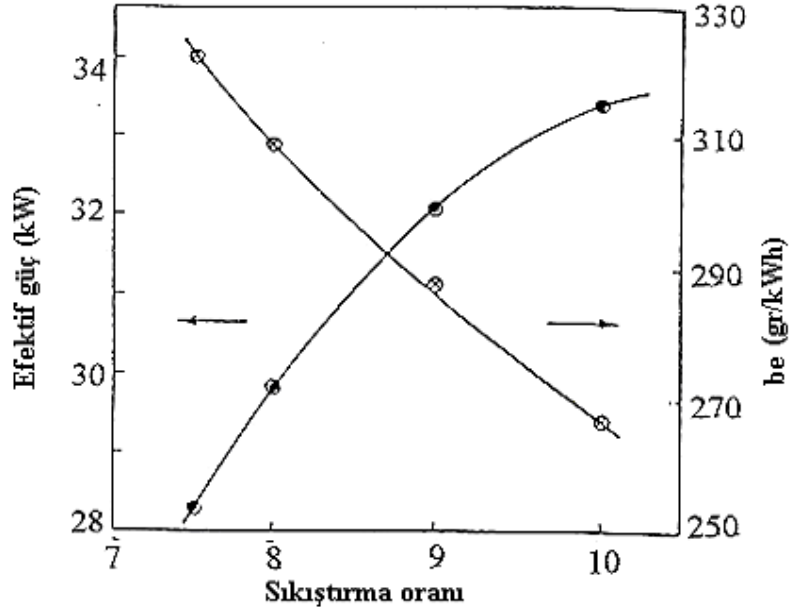
Buji ile ateşlemeli, 5,3 litrelik bir V-8 motoru, sıkıştırma oranı 9/1'den 20/1'e kadar artırılarak denenmiş ve artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücünün arttığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı 17/1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır, Şekil 5.1. Yüksek sıkıştırma oranlarında motorun vuruntu yapmaması için yakıt içersine özel katkı maddeleri ilave edilmiştir [28].



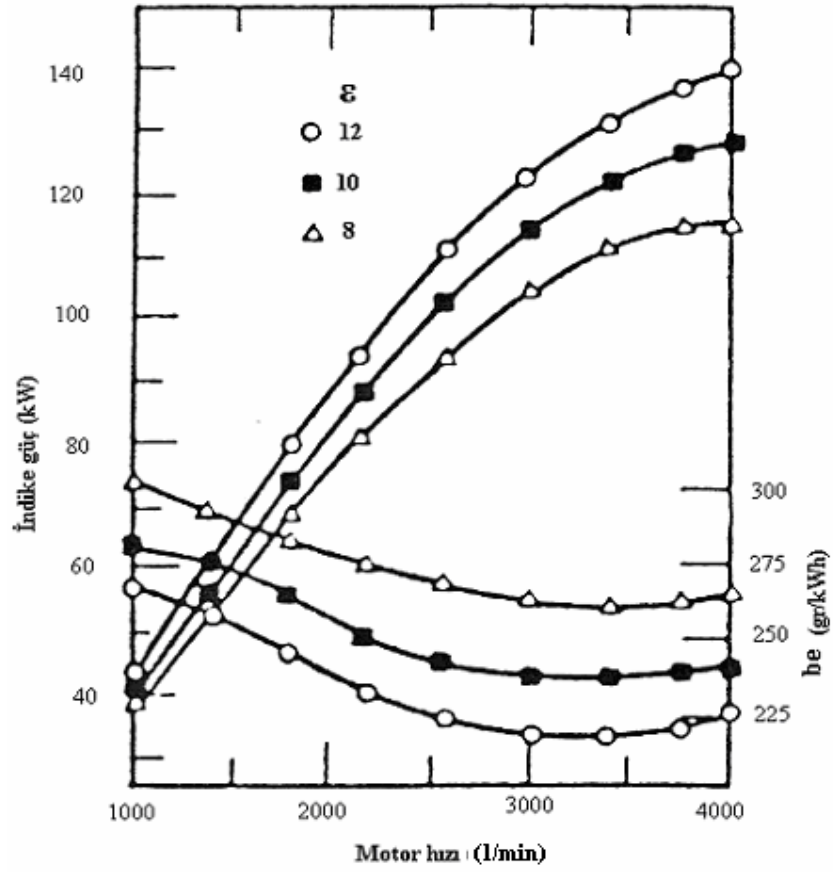
Şekil 5.1 Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi (V-8 motoru, $n=2000$ 1/min, tam yük) [28].

Sıkıştırma oranının performansa etkisini incelemek için diğer bir araştırmada, buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motor tam gazda ve sabit devirde (2500 1/min) sıkıştırma oranı değiştirilerek test edilmiştir. Deneyler sonucunda, sıkıştırma oranının artmasıyla motor gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir, Şekil 5.2 [29].

4,7 litrelik bir V-8 motoru üç değişik sıkıştırma oranında (8/1, 10/1, 12/1) test edilmiş. Artan sıkıştırma oranıyla motor gücünün arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı belirlenmiştir, Şekil 5.3 [30].



Şekil 5.2 Sıkıştırma oranı değişiminin performansa etkisi ($n=25001/\text{min}$, Tam yük, $V_m=2.2\text{lt}$) [29].



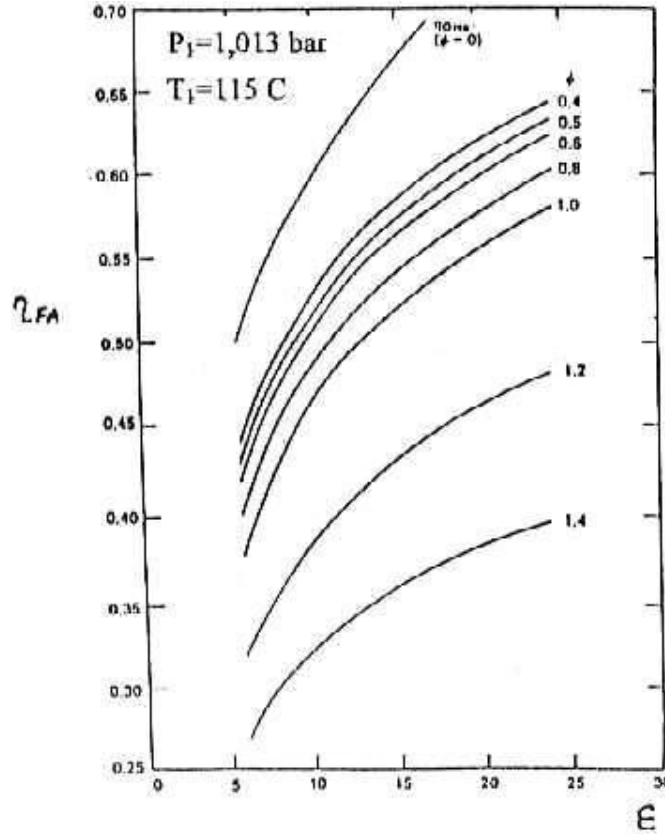
Şekil 5.3 Sıkıştırma oranı artışının performansa etkisi [30].

5.3 SIKIŞTIRMA ORANININ TERMİK VERİME ETKİSİ

Buji ile ateşlemeli motorlarda oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan otto çevrimi, termik verimin sıkıştırma oranı ile arttığını gösterir [29].

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \quad (5.3)$$

Hava/yakıt çevrimi, otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Bu çevrime göre sıkıştırma oranının eşdeğerlik oranına (yakıt fazlalık katsayısı) bağlı olarak verime etkisi Şekil 5.4’de görülmektedir [29].

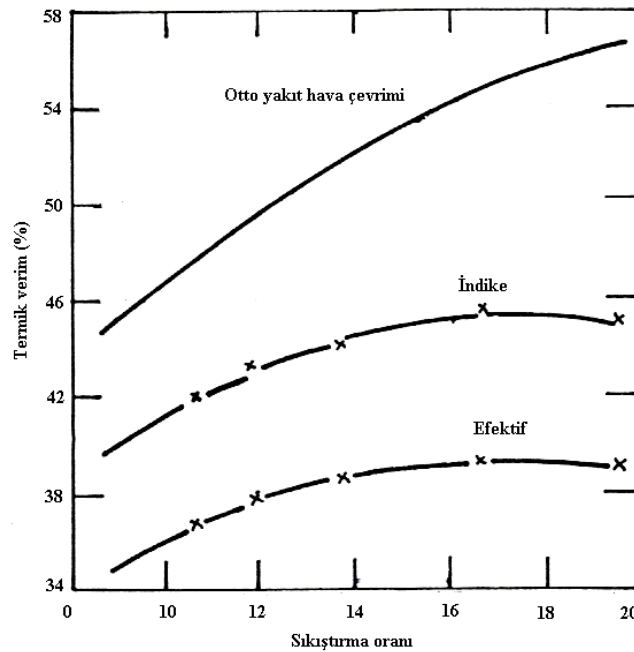


Şekil 5.4 Çeşitli eşdeğerlik oranlarında (yakıt fazlalık katsayısında) termik verimin sıkıştırma oranına bağlı değişimi [29].

Şekil 5.4’den anlaşılabacağı gibi karışım fakirleştikçe ($\phi \rightarrow 0$), belirtilen sıkıştırma oranında verim artar. Diğer bir deyişle, fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto çevrimi için kabullenilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır [29].

Ancak, gerçekte termik verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılmamaktadır. Bunun başlıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı transferi olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen mükemmel gaz özelliklerini göstermemesidir [26].

Gerçek bir motorda yüksek sıkıştırma oranlarının termik verime etkisini araştırmak için, CARIS, D.F., tarafından yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranı 9/1'den 25/1'e kadar değiştirilmiştir. Deneylerde 7 adet 324 inç³'lük (5,3 litre) V-8 motoru kullanılmıştır. Yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston kullanımıyla elde edilmiştir. Tam yükte, 2000 1/min'da avans ve H/Y oranı maksimum ekonomiye göre ayarlanarak yapılan deneylerde, motorun maksimum termik verime 17/1 sıkıştırma oranında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termik verim düşmeye başlamıştır, Şekil 5.5. Tam yükte yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntuyu önlemek için izooktanın içerisine kurşun tetraetil ve manganese compound (AK-33X) katıkları ilave edilmiştir [28].



Şekil 5.5 Tam yükte sıkıştırma oranının termik verime etkisi (n=2000 1/min) [28].

5.4 SIKIŞTIRMA ORANININ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesi sonucu motorun emisyon düzeyi az da olsa değişmektedir. Sıkıştırma oranı değişiminin NO_x emisyonlarına etkisi önemsizdir. Bazı çalışmalarda sabit yük ve hızlarda artan sıkıştırma oranıyla NO_x emisyonlarında tutarlı bir artış tespit edilmiş, diğer çalışmalarda küçük bir düşüş belirlenmiştir. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Bunun başlıca sebepleri; yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgesindeki yarık, oyuk kısımların hacmindeki artışlar HC emisyonunu artırmaktadır [26].

HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi de yanma odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmamış gazlarla karışarak egzozla atılır. Hacme oranlı yanma odası yüzey alanı sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla sıkıştırma oranının artması HC emisyonlarını da artırmaktadır [31,32].

4 zamanlı tek silindirli, standart yakıt oktan sayısını tespit etmekte kullanılan, sıkıştırma oranı değişebilen, buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisini incelenmiştir. Sıkıştırma oranının etkisi başlıca dört değişik oranda (7/1, 8/1, 8.5/1, 9.5/1) araştırılmış, yakıt/hava oranı ise zengin bir karışıma tekabül eden bir noktada sabit tutulmuştur. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi sonucu motorun vuruşu yapmaması için ateşleme avansı da buna bağlı olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılması ile toplam HC oranında bir artma, CO oranında çok azda olsa bir artış gözlenmiştir. Ayrıca azotmonoksit oranında sıkıştırma oranı ile belirgin bir değişimin söz konusu olmadığı belirlenmiştir [33].

Buji ile ateşlemeli, 383 CID V-8 motorda sıkıştırma oranının emisyonlara etkisini incelenmiştir. 9,5/1 ve 7,6/1 sıkıştırma oranlarında yapılan deneyler sonucunda, yüksek sıkıştırma oranlı çalışmada aynı güçte, NO_x ve CO emisyonlarının değişmediği, HC emisyonlarının ise arttığı belirlenmiştir [34].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada; buji ile ateşlemeli bir motorda yüksek sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının, benzine göre motor performansı ve egzoz emisyonlarının ne oranda etkilendiğinin araştırılması hedeflenmiştir.

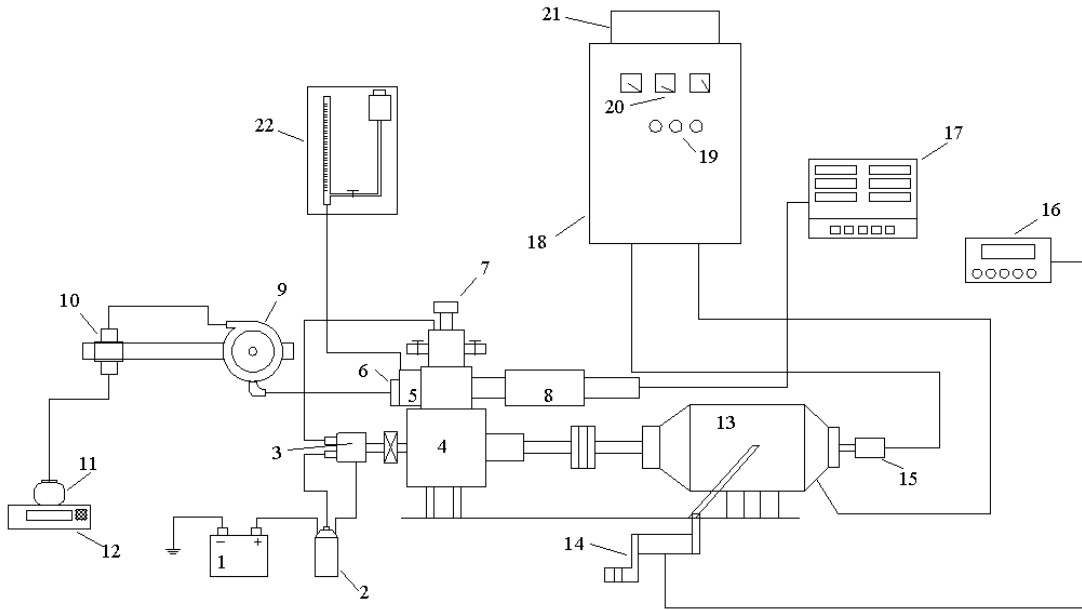
6.2 DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

6.2.1 Deney Yeri

Deneyler Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında yapıldı. Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarı deney tesisatının genel görünüşü Şekil 6.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1 Deney tesisatının genel görünümü.



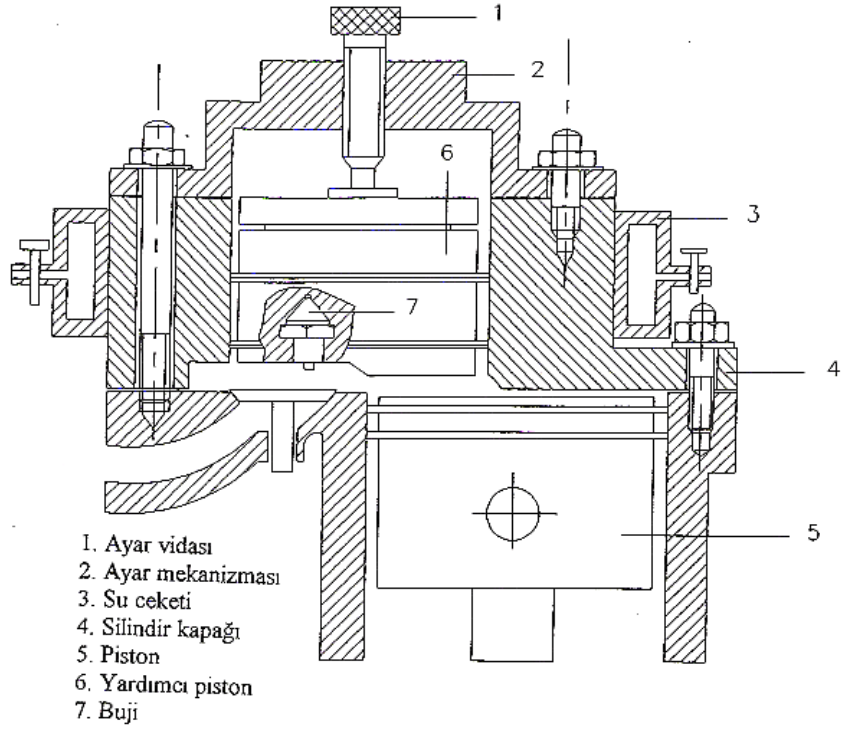
Şekil 6.2 Deney tesisatının şematik görünüşü.

6.2.2 Deney Motoru

Fakülte laboratuvarında yapılan deneylerde, tek silindirli, 4 zamanlı, sıkıştırma oranı 4/1-10/1 arasında değiştirilebilen, Lombardini (LA250) marka bir araştırma motoru kullanıldı. Motora manyetolu ateşleme sistemi yerine distribütörlü ateşleme sistemi ilave edilerek, ateşleme avansının değiştirilebilmesi sağlanmıştır. Motoru LPG ile çalıştırılabilmek için birinci kuşak LPG sistemi monte edildi. Benzinli çalışmada, karbüratör ana memesi konik uçlu ayar vidası ile kontrol edilerek hava/yakıt oranının değiştirilebilmesi temin edilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Deney motorunun orijinal sıkıştırma oranı 5/1 dir. Sonradan yapılan bir çalışmayla motorun sıkıştırma oranı 4/1-10/1 arasında değişebilecek şekilde dönüşüm yapılmıştır. Dönüşümü yapılan motorun şematik görünümü Şekil 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Motorun teknik özellikleri.

Markası	Lombardini LA250 (Hava ve Su Soğutmalı)
Silindir sayısı	1
Motor Gücü	4.5 HP
Maksimum Güç Hızı	3600 1/min
Silindir çapı	72 mm
Strok	62 mm
Sıkıştırma oranı	5/1 (4/1-10/1)



Şekil 6.3 Değişken sıkıştırma oranlı deney motorunun şematik görünümü.

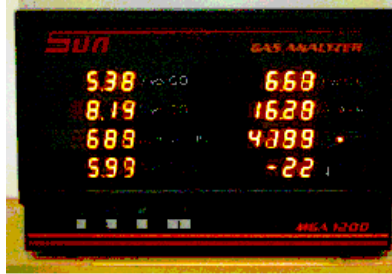
6.3 DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

6.3.1 Motor Deney Seti Ve Dinamometresi

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanıldı. Deney seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.

6.3.2 Egzoz Gaz Analizörü

Deneylerde kullanılan egzoz gaz analizörü, Sun MGA-1200 marka olup, egzozdan çıkan CO, CO₂, HC ve O₂ değerlerini hacimsel olarak ölçebilmektedir. Şekil 6.4’de görülen cihaz yanmış gazların analiz edilmesi ile hava/yakıt oranı veya hava fazlalık katsayısını da belirleyebilmektedir.



Şekil 6.4 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

6.3.3 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Benzin ile olan çalışmada, yakıt tüketimi ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yöntemle çalışan 100 ml hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 6.5’de görülmektedir.



Şekil 6.5 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

6.3.4 Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin ölçülmesinde Charles Sernard marka bir kronometre kullanıldı. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.

6.3.5 Ateşleme Avansı Ölçümünde Kullanılan Cihaz

Ateşleme avansının ölçümünde EQUUS 591 524 marka cihaz 0° - 60° avans ölçebilmektedir. Kadranı 1° aralıklarla taksimatlandırılmıştır.

6.3.6 Load Cell

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için Esit marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanıldı. Deney sonunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplandı. Load cell ve indikatörün görüntüleri Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6 Load cell'in ve indikatörün görünümü.

6.3.7 Elektronik Terazi

LPG ile olan çalışmada yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan Densi marka Elektronik Dijital Terazinin (Model DS-1) ölçüm kapasitesi 30 kg'a kadar olup 2 gr hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir.

6.3.8 LPG Sistemi

Motoru LPG ile çalıştırabilmek için regülatör, LPG elektrovalfi, bağlantı elamanları ve mikserden oluşan birincil kuşak LPG sistemi kullanıldı. Kullanılan regülatör (beyin) ısıtmasız ve vakumlu olup, tek silindirli küçük güçlü (0-10 kW) motorlar için yapılan mini bir regülatördür. Deneyler ticari oto gaz (LPG) ile yapıldı.



Şekil 6.7 Kullanılan LPG sistemi.

6.4 DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce motorun ayarları kontrol edildi ve çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlandı. Tüm deneyler tam gazda ve değişik devirlerde yapıldı. Deney için seçilen devirler 1000-4000 1/min arasında ve 500 1/min'er devir aralıklarındadır.

6.4.1 Motor Deneyleri

Deneylerde, motor önce benzin yakıtı ile standart (orijinal) sıkıştırma oranında (5/1) çalıştırıldı ve moment, güç, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri kaydedildi. Bu çalışmada, karbüratör üzerinde bulunan konik uçlu yakıt ayar vidası yardımıyla hava/yakıt oranı 15/1 olacak şekilde ayarlandı. Ateşleme avansı maksimum momenti verecek şekilde distribütörlü ateşleme sistemi yardımıyla değiştirildi.

Değişken sıkıştırma oranlı motorda yapılan deneyler, önceden belirlenen parametre değişikliği gerçekleştirildikten sonra yapıldı. Bu motorda yapılan deneylerde sıkıştırma oranını değiştirebilen ayar vidası yardımıyla sıkıştırma oranı 5/1, 7/1 ve 9/1'e ayrı ayrı ayarlandı.

LPG ile olan çalışma üç değişik sıkıştırma oranlarında (5/1, 7/1, 9/1) yapıldı. Deneyler tam yük ve değişik hızda gerçekleştirildi. LPG ile olan çalışmada da ateşleme avansı deney sırasında müdahale edilerek maksimum momenti sağlayacak şekilde düzenlendi. Hava/yakıt oranı; LPG ile olan çalışmada 15.5/1 (HFK=1) olacak şekilde regülatör üzerindeki ayar vidasından ve boru üzerindeki debi kontrol vanasından zaman zaman müdahale edilerek ayarlandı.

Motorun orijinal sıkıştırma oranı 5/1 olduğu için, 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında vuruntulu çalışmaya maruz kalmamak amacıyla bu sıkıştırma oranlarında benzinle çalışma yapılmadı. Deneylerde, her bir adımda motor devri sabitleştikten sonra kuvvet ve emisyon cihazı göstergeleri kararlı hale geldikten sonra ölçüm sonuçları kaydedildi.

Tam yük deneylerinde motor aşırı zorlandığından ısındı ve bir kez silindir kapak contasını yaktı. Sonraki deneylerde motor silindir kapağında bulunan yardımcı soğutma sisteminin su debisi artırılması ile motorun daha iyi soğutulması sağlandı.

6.5 DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

6.5.1 Motor Momenti Ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0.25 m uzaklıktaki load cell'den okundu.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F * 9.81 * 0.25 \quad (6.1)$$

Motor devri 2000 1/min'da dinamometreden okunan kuvvet $F=3.18\text{kg}$ olduğuna göre, 2000 1/min'daki motor momenti; (6.a)'daki eşitlikte yerine konularak $M_e=7.79\text{ Nm}$ olarak tespit edildi.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e * n}{9549} \quad (6.2)$$

Örnek olarak motor gücü hesabında, motor devri 2000 1/min'da eşitlik (6.1)'e göre hesaplanan motor momenti 7.79 Nm (6.2)'deki eşitlikte yerine yazıldığında;

$$P_e = \frac{7.79 * 2000}{9549} = 1.63\text{ kW} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

6.5.2 Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi

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

Ölçekli kap ve dijital tartı aleti kullanılarak deney ortamında yakıtın yoğunluğu 0.735 kg/litre olarak bulunmuştur.

Örneğin motor 2000 1/min ile çalışırken 10 ml yakıtı 26 saniyede tükettiğine göre;

10 ml yakıt=0.01 litre

10 ml yakıt=0.01x0.735 =0.00735 kg

Motorun saat deki yakıt tüketimi;

$B=0.00735 \times 3600 / 26 = 1.018 \text{ kg/h}$

olarak hesaplanmıştır.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır ;

$$b_e = \frac{B * 1000}{P_e} \quad (6.3)$$

Hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (6.3)'de yerine yazıldığında,

$$b_e = \frac{1.018 * 1000}{1.63} = 624.54 \text{ g/kWh}$$

özümlü yakıt tüketimi miktarı belirlenmiştir.

LPG ile olan çalışmada yakıt tüketimini ölçmek için elektronik teraziden, deney esnasında 36 sn deki gramaj olarak fark kaydedilip, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplandı.

Örneğin motor 2000 1/min'de çalışırken 36 saniyede 6gr LPG tükettiği göre;

6gr yakıt = 0.006 kg

Motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$B = \frac{0.006 * 3600}{36} = 0.6 \text{ kg / h}$$

Hesaplanan saatteki yakıt tüketimi eşitlik (6.3)'de yerine yazıldığında;

$$b_e = \frac{0.6 * 1000}{1.59} = 377.36 \text{ g/kWh}$$

olarak LPG'nin özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Deney motorunda, yüksek sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini belirlemek amacı ile tam yükte ve değişik hızlarda önceden belirlenmiş parametre değişiklikleri yapılarak deneyler yapılmıştır. Deneylere ait sonuçlar Ek Açıklamalar A kısmında Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3, Çizelge A.4, Çizelge A.5, Çizelge A.6, Çizelge A.7 ve Çizelge A.8’de sırasıyla verilmiştir.

7.1 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deney sonuçlarının grafikleri şekiller halinde verilmiş ve bunların açıklamaları yapılmıştır. Bu sonuçlar motor performansları ve egzoz emisyonları olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir.

7.1.1 Motor Performansları

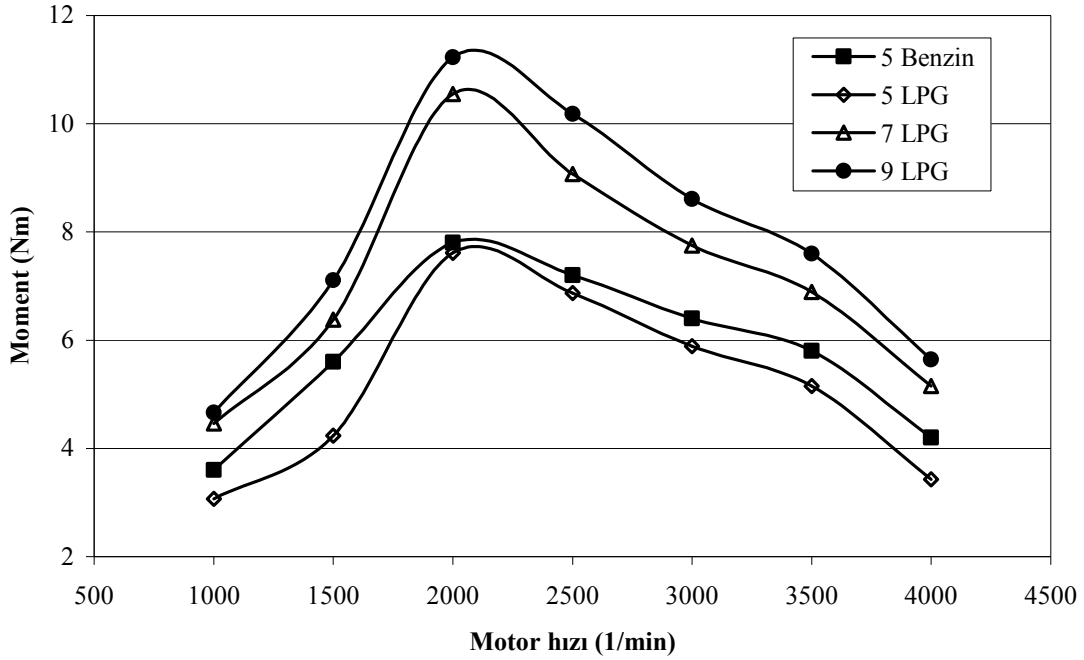
Motor performansları; motor momenti, gücü ve özgül yakıt tüketimi olmak üzere üç başlıkta incelenmiştir.

7.1.1.1 Motor Momenti

Şekil 7.1’de LPG ve benzinle olan çalışmaların, farklı sıkıştırma oranlarındaki motor momentleri değişimleri görülmektedir. Moment grafiği incelendiğinde her iki yakıt türünde de maksimum momentin 2000 1/min’de elde edildiği görülmüştür. Benzinli çalışmada 5/1 sıkıştırma oranında maksimum moment 7.80 Nm, aynı sıkıştırma oranında LPG li çalışmada 7.61 Nm olduğu tespit edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranında LPG kullanımı motor momentinde yaklaşık %13’lük bir azalmaya neden olmuştur. LPG ile olan çalışmada, yakıt hava karışımı gaz fazında girdiğinden dolayı sıcaklıktan etkilenerek volümetrik verimin

düşmesi ve düşük devirlerde silindire giren hava hızının düşük olması momentte de bir azalmaya yol açmaktadır.

Sıkıştırma oranının artırılması ile birlikte, LPG ile olan çalışmada 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında sırasıyla 10.55 Nm ve 11.23 Nm maksimum moment değerleri görülmüştür. Değerler incelendiğinde 7/1 sıkıştırma oranında %35, 9/1 sıkıştırma oranında %44'lük bir artış görülmüştür. LPG'nin oktan sayısının benzine göre fazla olmasından dolayı motor vuruntusuna dirençli olması, alt ısı değerinin benzinden yüksek olmasından dolayı yanma sonu ısı enerjisinin yüksek olması ve daha homojen bir karışım oluşturması bu artışta etkili olmaktadır.

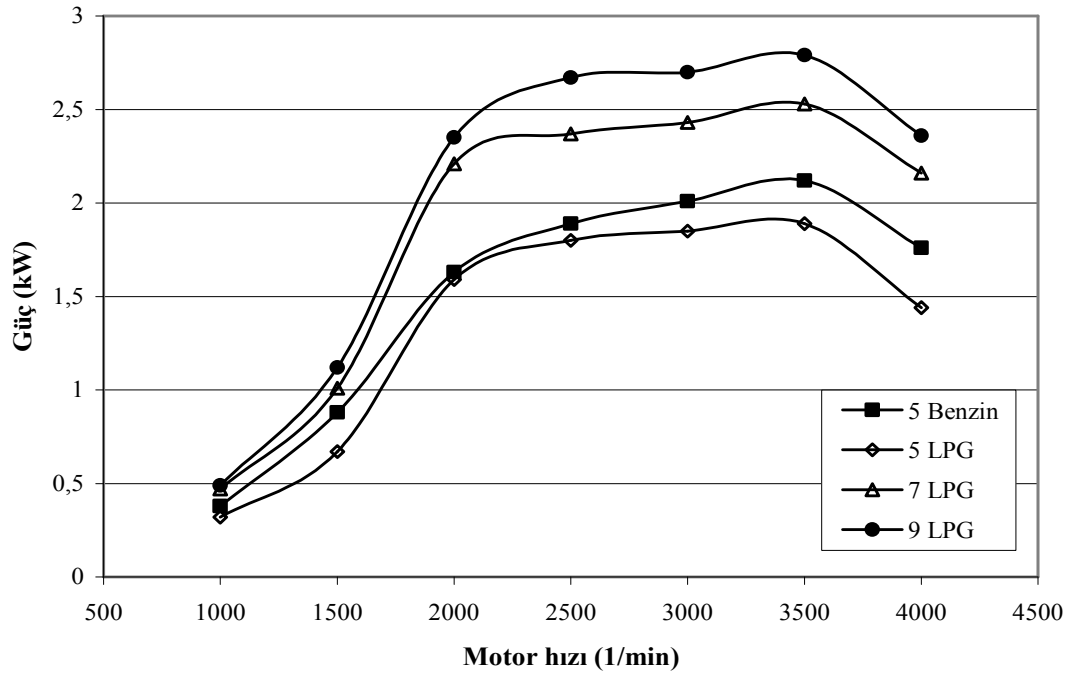


Şekil 7.1 Moment grafiği (GKA=1/1, HFK=1).

7.1.1.2 Motor Gücü

Motor maksimum güce, birim zamanda içeri alınan maksimum yakıt hava karışımının olduğu devir aralığında ulaşır. Grafik incelendiğinde bu çalışmada maksimum gücün 3500 1/min de olduğu görülmektedir, Şekil 7.2.

Grafik incelendiğinde, benzinli çalışmada 5/1 sıkıştırma oranında maksimum güç 2.12 kW iken, LPG'li çalışmada 5/1, 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranındaki maksimum güçler sırasıyla 1.89, 2.53 ve 2.79 kW olduğu görüldü. Değerlere bakıldığında aynı sıkıştırma oranında LPG ile olan çalışmada benzinli çalışmaya göre yaklaşık %11'lik bir azalma olmuştur. LPG ile olan çalışmadaki motor momentinin azalmasına paralel olarak, güçte de düşüş olmaktadır. LPG ile olan çalışmada sıkıştırma oranının artmasıyla benzinli çalışmaya göre 7/1 sıkıştırma oranında %19, 9/1 sıkıştırma oranında %32'lik bir artış olmuştur.



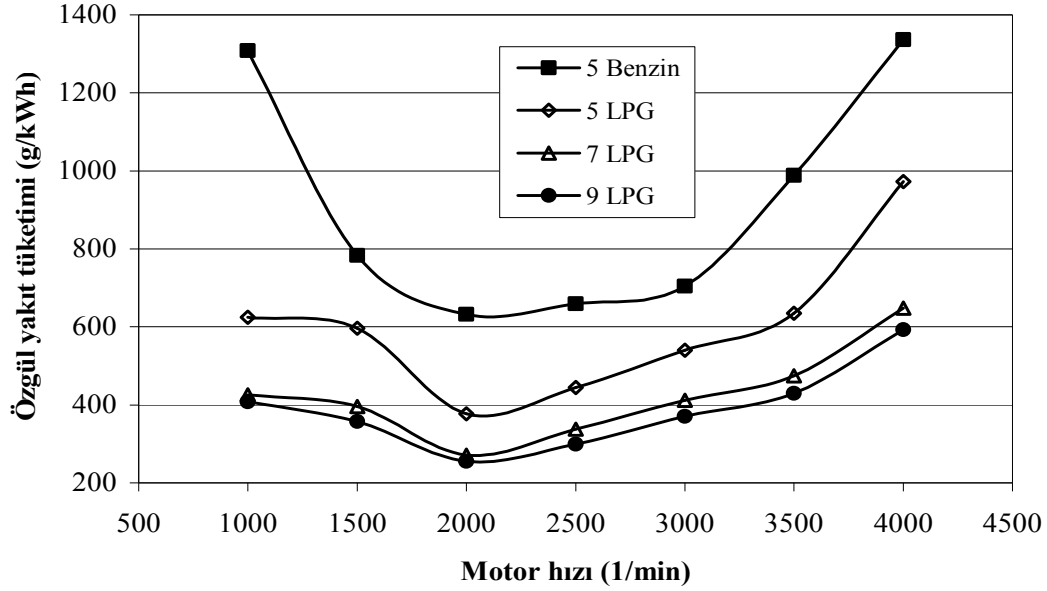
Şekil 7.2 Güç grafiği (GKA=1/1, HFK=1).

7.1.1.3 Motor Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, motorda kullanılan yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşürken, bu enerjinin ne kadarının krank milindeki güce dönüştürdüğünü gösteren değerdir.

Şekil 7.3'deki grafik incelendiğinde, LPG ile olan çalışmada özgül yakıt tüketimi benzinli çalışmaya göre özellikle düşük devirlerde, önemli ölçüde azalmıştır. Her iki yakıt türünde de özgül yakıt tüketimi artan devir sayısı ile birlikte bir minimum noktaya geldikten sonra tekrar artışa geçmiştir. Bu minimum noktanın, maksimum motor momentinin sağlandığı

2000 1/min’de olduğu görülmektedir. Bu devirdeki özgül yakıt tüketimi değerleri, benzinli çalışmada 5/1 sıkıştırma oranında 632 g/kWh, LPG ile olan çalışmada 5/1, 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında sırasıyla 377.36 g/kWh, 271.5 g/kWh ve 255.32 g/kWh olduğu görüldü.



Şekil 7.3 Motor özgül yakıt tüketimi (GKA=1/1, HFK=1).

Artan devir sayısı ile birlikte sürtünme kuvvetlerinin artması ve soğutucuya olan ısı transferinin azalmasından dolayı özgül yakıt tüketimi yüksek devirlerde bir miktar artışa geçmiştir. Motor yüksek sıkıştırma oranında LPG ile çalıştırıldığında benzine göre özgül yakıt tüketiminde %40-60’lık bir azalma görülmektedir.

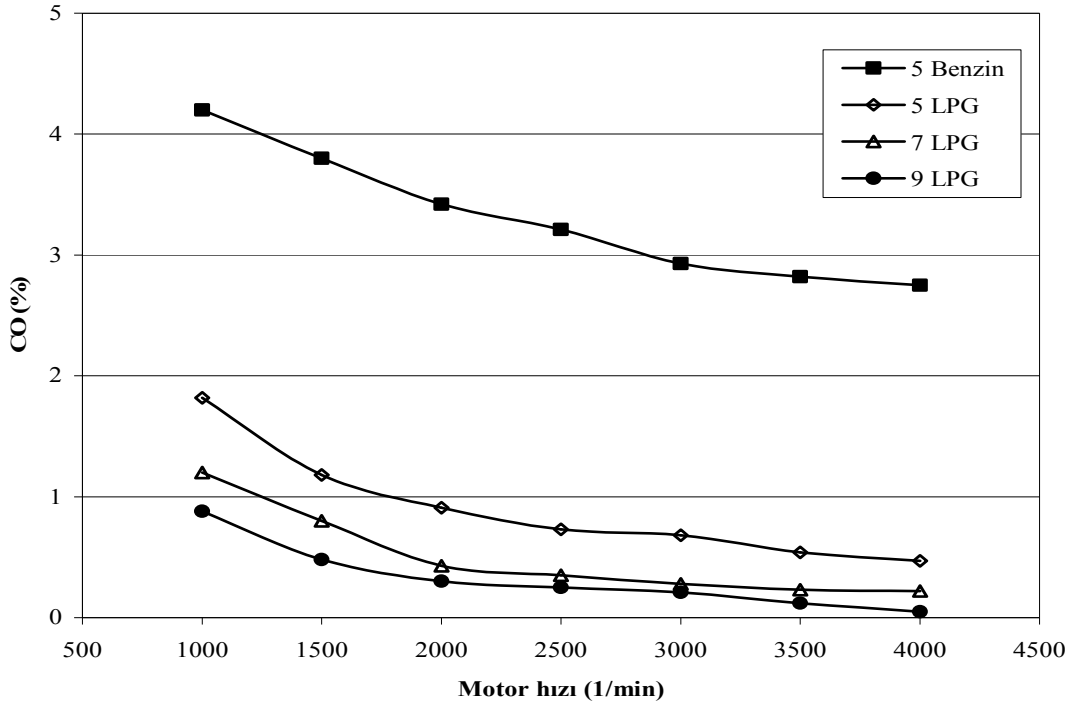
Motorun LPG ile çalışmasında, alt ısı değeri benzine göre daha yüksek olmasından dolayı yanma sonucu daha fazla ısı enerjisi ortaya çıkması, krank milinden 1kW’lık enerji almak için daha az yakıt tüketilmesini sağlamaktadır.

7.1.2 Egzoz Emisyonları

Egzoz emisyonları; karbonmonoksit, hidrokarbon ve karbondioksit olmak üzere üç başlıkta incelendi.

7.1.2.1 Karbonmonoksit (CO)

Şekil 7.4'deki grafik incelendiğinde, CO'nın artan devir sayısı ile düşüşe geçtiği görüldü. Artan motor hızı ile birlikte silindirlere giren havanın hızının artması, yanma odasında türbülansı artıracak için daha homojen bir karışım oluşturur. Bu da yakıtın yanma kalitesini artacağından, yüksek devirlerde CO'de düşme görülür.



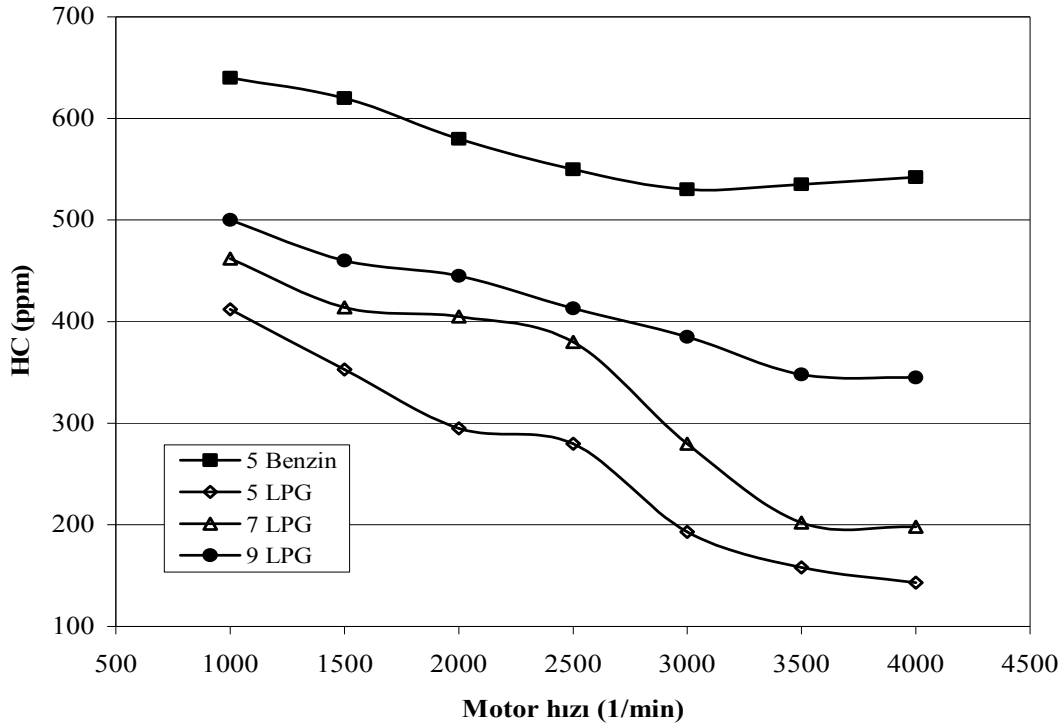
Şekil 7.4 Karbonmonoksit CO) emisyonu (GKA=1/1, HFK=1).

LPG yakıtının gaz fazında olması yanmayı kolaylaştırdığı için CO emisyonunda azalma meydana gelmektedir.

Benzin ve LPG ile olan çalışmalarda aynı sıkıştırma oranında CO emisyonunun minimum değerleri incelendiğinde, benzinde %2.75 ve LPG'de %0.47 olduğu görülmektedir. Artan sıkıştırma oranı ile birlikte LPG ile olan çalışmada CO emisyonu 7/1 sıkıştırma oranında %0.22 ve 9/1 sıkıştırma oranında %0.05 olduğu görülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında LPG kullanılması sonucu yanma iyileşmiş ve CO emisyonunda %80-95'lik bir azalma sağlanmıştır.

7.1.2.2 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon emisyonunu yanmadan çıkan yakıt atomları oluşturur. Şekil 7.5 incelendiğinde, LPG ile olan çalışmada HC emisyonunun benzine göre düşük olduğu görülmektedir. Karışımın homojen olmasından dolayı yanmanın iyileşmesi, HC emisyonunda azalmaya sebep olmuştur.



Şekil 7.5 Hidrokarbon (HC) emisyonu (GKA=1/1, HFK=1).

LPG ile olan çalışmada HC, devir artmasıyla birlikte, artan hava türbülansının yanma verimini iyileştirmesi sonucu azalma göstermektedir. HC emisyonunun minimum değerleri benzinli çalışmada 3000 1/min'de 530ppm, LPG'li çalışmada 4000 1/min'de 5/1, 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında sırasıyla 143ppm, 198ppm ve 345ppm olduğu görülmektedir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla birlikte yanma odası yüzey/hacim oranının artması HC emisyonunda bir miktar artışa sebep olmaktadır. Grafik bütünüyle incelendiğinde LPG'nin HC emisyon değeri, benzine göre ortalama %35-40'lık bir azalma göstermektedir, Şekil 7.5.

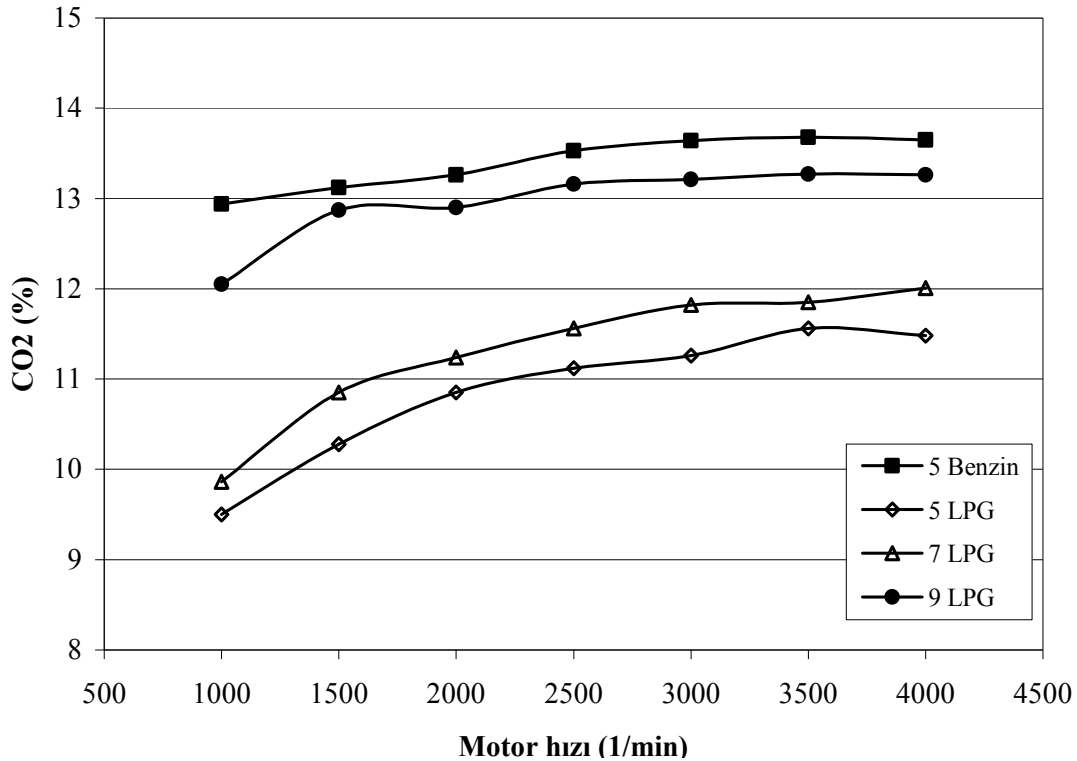
7.1.2.3 Karbondioksit (CO₂)

Şekil 7.6'daki grafik incelendiğinde, CO₂ emisyonu, LPG ile olan çalışmada benzinli çalışmaya göre bir düşüş göstermektedir.

LPG ile olan çalışmalarda benzinli çalışmanın 5/1 sıkıştırma oranına göre CO₂ emisyonu, aynı sıkıştırma oranında %20-25'lik, 7/1 sıkıştırma oranında %10-15'lik, 9/1 sıkıştırma oranında %5-7'lik bir azalma görülmektedir.

LPG ile olan çalışmada sıkıştırma oranı artmasıyla birlikte yanma verimi arttığı için, tam yanma sonucu ortaya çıkacak CO₂ emisyonunda bir artışa neden olmaktadır. Ama bu artış benzinli çalışmaya göre düşüktür. LPG yakıtında karbon (C) atomunun sayısı benzine göre daha düşük olduğundan, LPG ile olan çalışmada CO₂ emisyonu daha düşük olmaktadır.

LPG'li çalışmada sıkıştırma oranı arttıkça yanma verimi arttığından CO emisyonundaki azalmaya (Şekil 7.4) bağlı olarak CO₂ emisyonu da artmaktadır.



Şekil 7.6 Karbondioksit (CO₂) emisyonu (GKA=1/1, HFK=1)

7.2 SONUÇLAR

Deneyler sonucunda, tam yük ve değişik hızda, 5/1 sıkıştırma oranında benzinli çalışmaya göre LPG ile olan çalışmada motor momentinde ve gücünde %11-13'lük bir düşüş tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranı 7/1 ve 9/1'e yükseltilerek LPG ile çalıştırılmış ve bu çalışmada elde edilen motor momentini ve güç değerleri, benzinli çalışmadaki 5/1 sıkıştırma oranında elde edilen değerlerden yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bu artış 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında sırasıyla momentte %35, %44, güçte %19 ve %32 dir. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte yanma sonu basınç ve sıcaklığı artmakta, dolayısıyla motor momentini ve gücü artmaktadır.

Motor özgül yakıt tüketimi bütün sıkıştırma oranlarında benzinli çalışmaya göre LPG ile olan çalışmada %40-60 daha düşük çıkmıştır. LPG yakıtının alt ısı değerinin benzine göre yüksek olması yanma sonucu ısı enerjisini artırdığından, 1kW'lık enerji daha az yakıt ile elde edilmektedir. LPG'li çalışmada sıkıştırma oranının artması ile birlikte elde edilen gücün artması, özgül yakıt tüketiminde azalmaya sebep olmaktadır.

LPG'li çalışmada, benzinli çalışmaya göre bütün sıkıştırma oranlarında, benzinli çalışmanın 5/1 sıkıştırma oranındaki karbonmonoksit (CO) değerlerinden %80-95'lik bir azalma tespit edilmiştir. LPG yakıtının hava ile iyi karışması ve daha iyi yanması sonucu CO emisyonu benzinli çalışmaya göre daha düşük olmaktadır.

LPG ile olan çalışmada, benzinli çalışmaya göre LPG'nin daha homojen bir karışım oluşturması sebebiyle HC emisyonu ortalama %35-40'lık bir azalma görüldü. LPG ile olan çalışmada sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte yanma odası yüzey/hacim oranının artması HC emisyonunda bir miktar artışa sebep olmuştur.

LPG'li çalışmada CO₂ emisyonu bütün sıkıştırma oranlarında benzinli çalışmaya göre düşük çıkmıştır. Ayrıca LPG yakıtının karbon (C) atomunun az olması bu düşüşe etkilidir.

7.3 ÖNERİLER

Günümüz taşıtlarında kullanılan LPG sistemleri çoğunlukla, motor üzerinde hiçbir yapısal değişiklik yapılmadan benzinli motor üzerine bazı ekipmanlar monte edilerek

kullanılmaktadır. Deney sonuçlarında da görüldüğü gibi yapısal parametre olan sıkıştırma oranı değiştirilmeden hem benzin ile, hem de LPG ile çalıştırıldığında motor momenti ve gücünde benzine göre LPG de bir kayıp söz konusudur. LPG yakıtının benzine göre ucuz olmasından dolayı çoğu kullanıcılar tarafından bu kayıp göz ardı edilmektedir. LPG yakıtı ile çalışan taşıt motorlarının sıkıştırma oranları, vurutuya neden olmayacak şekilde artırılmasıyla, motor gücü ve momentinde benzin yakıtlı çalışmaya göre daha fazla artış elde edilebilir.

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

Taşıt üreten fabrikalar, motorların sıkıştırma oranlarını makul ölçüde artırarak hem ekonomiklik açısından hem de çevre açısından önemli olan LPG sistemlerinin fabrika çıkışı araçlara takılmasını yaygınlaştırmalıdır.

Daha temiz bir atmosfer için, LPG ve buna benzer alternatif yakıtların yaygınlaştırılması ve hükümetler tarafından desteklenmesi gerekir.

LPG ile çalışan motorların soğuk çalışmasını kolaylaştırabilen ve soğutma suyunu motor çalışmadan önce zamanlayıcı bir sistemle sıcak tutabilen sistemlerin geliştirilmesi egzoz emisyonu ve yakıt tüketimi bakımından yararlı olabilir.

Emisyon seviyesi düşük olan elektronik kontrollü yakıt sistemine sahip motorlu taşıtlarda LPG kullanımının yaygınlaştırılması ile çevre kirliliği daha da azaltılabilir. Taşıtların çevre kirlenmesindeki büyük rolü dikkate alındığında, egzoz emisyonlarındaki küçük bir iyileşmenin çevre kirliliğinin azalmasında önemli katkıları olacağı unutulmamalıdır.

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

KAYNAKLAR

- [1] **Pancar, F.** (1994) *Dizel Motorların Doğalgaz Motorlarına Dönüştürülmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2] **Haksever, R. ve İçingür, Y.** (1998) Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Kullanımı-Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, *Politeknik Dergisi*, Cilt:1, Sayı:3-4, s.69-76.
- [3] **Soruşbay, C.** (2003) Taşıtlarda LPG Kullanımının Teknolojik ve Ekonomik Açılardan Değerlendirilmesi, *LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, s.87-91.
- [4] **Salman, M. S. ve Batmaz, İ.** (1998) Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) Kullanan Taşıtlarda Performans ve Emisyonlar, *Politeknik Dergisi*, Cilt:1, Sayı:1-2, s.55-64.
- [5] **Emen, M.** (2000) *Benzin ve Motorin Yakıtlı Motorlarda LPG Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- [6] **Tekgürler, M.** (1991) Motorlu Araçlar Teknolojisi, *Mobil Oil Türk AŞ Yayınları*
- [7] **Çetinkaya, S.** (1998) Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) ve Özellikleri, Ders Notu, Gazi Üniversitesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara.
- [8] **S. Murillo, J.L. Míguez, J. Porteiro, L.M. López González, E. Granada and J.C. Morán** (2005) Pollutant emission and performance enhancement for spark-ignition four strokes outboard engines, *Applied Thermal Engineering*, Volume:25, Issue:13, Pages:1882-1893
- [9] **Bayraktar, H. ve Durgun, O.** (2004) Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance, *Energy Conversion and Management*, Volume: 46, Issue:13-14, Pages: 2317-2333.
- [10] **Dinler, N. ve Yücel, N.** (2002) Benzin ve LPG Kullanılarak İki Farklı Motorun Egzoz Emisyon Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, *7. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu*, Ankara, s.242-243.
- [11] **Bayındır, H., İlkılıç, C. Ve Sarsılmaz, C.** (1997) Yerli Otomobillerde LPG Kullanımı. *1. Uluslar arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi*, Adana, s.92-93.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [12] **Wu, D.Y., Matthews, R.D.** (1996) Part 3-off Cycle Emissions of Light Duty Vehicles Operating on CNG, LPG,Texas Project, *Federal Faz 1 Reformulated Gasolineand Low Certification Gasoline*, SAE Paper, v. 1208, Warrandale PA, U.S.A.
- [13] **Smith, W. J., Timoney, D. J., Lync, D.P.** (1997) Emissions and Efficiency Comparison of Gasoline and LPG Fuels in a 1.4 litre Passenger Car Engine, *SAE Paper*, 972970, 1-10.
- [14] **Sierens, R.** (1992) Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection, *SAE Paper 922363*, Warendale PA, U.S.A.,1992.
- [15] **Dinler, N. ve Yücel, N.** (2003) Alternatif Yakıt Olarak LPG Kullanan İki Motorun Performansının Deneyisel İncelenmesi, *LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, s.93-100
- [16] **Yaman, H.** (2004) Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneyisel Olarak İncelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Karabük.
- [17] **Keskin, A.** (1997) *Buji Ateşlemeli Bir Motorun Doğal Gazlıya Dönüşümünün Performans ve Emisyonlara Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Kütahya.
- [18] **Çolak, S.** (1991) Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Patlamalı (Otto) Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılma Olanacağının Araştırılması, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD.
- [19] **Bayındır, H., İlkılıç, C. Ve Sarsılmaz, C.** (1997) Yerli Otomobillerde LPG Kullanımı, *1.Uluslar Arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi*, Adana, s 87-95
- [20] **Boran, S., Yeşil, C. ve Gülgeci, İ.** (1998) *Buji Ateşlemeli Motorlarda LPG Kullanımı*, Bitirme Tezi, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği, Karabük..
- [21] **www.tuketiciiler.org/LPG** Sistemli Araçların Güvenli Kullanım Kılavuzu.
- [22] **TMMOB Makine Mühendisleri Odası Karabük Şubesi**, LPG Sistemli Araçların Güvenli Kullanım Kılavuzu broşürü.
- [23] **Lovato Autogaz** (2000) *LPG Dönüşüm Sistemleri El Kitabı*, İstanbul.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [24] **Ciniviz, M.** (2001) *Dizel Motorlarında Dizel Yakıt+LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [25] **TMMOB Makine Mühendisleri Odası** (1999) *Araçlarda LPG Dönüşümü*, Mühendis El Kitabı, Ankara.
- [26] **Çelik, M. B.** (1999) *Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- [27] **Kutlar, O. A., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M.** (1998) *Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [28] **Caris, D.F. ve Nelson, E.E.** (1958) A new look at high compression engines, *SAE Transaction*, Vol.67
- [29] **Stone, R.** (1989) Engine vehicle fuel economy, *Macmillan Educational Ltd.*, Houndmills.
- [30] **Ferguson, C.R.** (1986) Internal combustion engines, *John Wiley and Sons inc.*
- [31] **Scheffler, E.C.** (1996) Combustion chamber surface area, a key to exhaust hydrocarbons, *SAE Paper* 660111
- [32] **Adams, W.H., Hinrich, H.G. ve Adamis, P.** (1987) Analysis of the combustion proses of a spark ignition engine with a variable compression rate, *SAE Transaction*, 870610
- [33] **Civil, T.** (1987) *Effect of compression ratio and the ratio of methanol to gasoline in blend on the exhaust emissions of spark ignition engine*, Master Thesis, M. E. T. U.
- [34] **Felt, A.E. ve Krausse R.S.** (1971) Effects of compression ratio changes on exhaust emissions of engines, *SAE Transaction*, 710831

EK AÇIKLAMALAR A

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER

Çizelge A.1 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında benzin kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1.

Motor Devri (1/min)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)
1000	4.20	12.94	640	6.80
1500	3.80	13.12	620	5.84
2000	3.42	13.26	580	4.33
2500	3.21	13.53	550	3.82
3000	2.93	13.64	530	3.40
3500	2,82	13.68	535	3.41
4000	2,75	13.65	542	3.45

Çizelge A.2 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında LPG kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1.

Motor Devri (1/min)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)
1000	1.82	9.50	412	4.83
1500	1.18	10.28	353	4.26
2000	0.91	10.85	295	3.90
2500	0.73	11.12	280	3.78
3000	0.68	11.26	193	3.54
3500	0,54	11.56	158	3.46
4000	0.47	11.48	143	3.38

Çizelge A.3 $\varepsilon = 7/1$ sıkıştırma oranında LPG kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1.

Motor Devri (1/min)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)
1000	1.20	9.86	462	3.70
1500	0.8	10.85	414	3.60
2000	0.43	11.24	405	3.55
2500	0.35	11.56	380	3.30
3000	0.28	11.82	280	3.28
3500	0.23	11.85	202	3.09
4000	0.22	12.01	198	2.77

Çizelge A.4 $\varepsilon = 9/1$ sıkıştırma oranında LPG kullanımının emisyonlara etkisi deney sonuçları. HFK=1, GKA= 1/1.

Motor Devri (1/min)	CO (%)	CO₂ (%)	HC (ppm)	O₂ (%)
1000	0.88	12.05	508	3.89
1500	0.48	12.87	463	3.64
2000	0.30	12.90	445	3.50
2500	0.25	13.16	413	3.46
3000	0.21	13.21	385	3.38
3500	0.12	13.27	348	3.12
4000	0.05	13.26	345	2.98

Çizelge A.5 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında benzinin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1.

Motor Devri 1/min	Motor Momenti (Nm)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Motor Gücü (kW)
1000	3.60	1308	0.38
1500	5.60	783	0.88
2000	7.80	632	1.63
2500	7.20	659	1.89
3000	6.40	704	2.01
3500	5.80	968	2.12
4000	4.20	1336	1.76

Çizelge A.6 $\varepsilon = 5/1$ sıkıştırma oranında LPG'nin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1.

Motor Devri 1/min	Motor Momenti (Nm)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Motor Gücü (kW)
1000	3.07	625.00	0.32
1500	4.24	597.00	0.67
2000	7.61	377.36	1.59
2500	6.87	444.45	1.80
3000	5.89	540.54	1.85
3500	5.15	635.00	1.89
4000	3.43	972.23	1.44

Çizelge A.7 $\varepsilon = 7/1$ sıkıştırma oranında LPG'nin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1.

Motor Devri 1/min	Motor Momenti (Nm)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Motor Gücü (kW)
1000	4.46	425.53	0.47
1500	6.38	396.00	1.01
2000	10.55	271.50	2.21
2500	9.07	337.50	2.37
3000	7.75	411.52	2.43
3500	6.89	474.30	2.53
4000	5.15	648.15	2.16

Çizelge A.8 $\varepsilon = 9/1$ sıkıştırma oranında LPG'nin motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları. G.K.A=1/1, HFK=1.

Motor Devri 1/min	Motor Momenti (Nm)	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Motor Gücü (kW)
1000	4.66	408.16	0.49
1500	7.11	357.14	1.12
2000	11.23	255.32	2.35
2500	10.18	299.62	2.67
3000	8.61	370.38	2.70
3500	7.60	430.10	2.79
4000	5.64	593.22	2.36

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Kemal BALKİ 1981’de SİVAS’ın Gürün ilçesinin Suçatı kasabasında doğdu. İlk öğretiminin ilk kısmını Sivas merkez Fatih ilköğretim okulunda, orta kısmını Halil Rıfat Paşa Lisesi orta kısmında tamamladı. Meslek Liseleri sınavına girerek Sivas Atatürk Endüstri Meslek Lisesi motor bölümünü kazandı. Bir yıl burada okuduktan sonra Sivas Merkez Teknik Lise ve EML’nin Teknik kısmının motor bölümüne geçiş yaptı. 1998 yılında üniversite sınavlarına girerek ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliğini kazandı. 2002 yılında buradan mezun olduktan sonra aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Bu tarihten itibaren fakültenin makine eğitimi bölümünde part-time öğretim görevlisi olarak ders verdi. Ve halen yüksek lisans eğitimine ve part-time öğretim görevliliğine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Pendik Aydos Konutları Açelya sitesi D8-9 Pendik/İSTANBUL
Tel : (505) 518 20 28
E-posta : m_kemal_balki@mynet.com