

55794

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTERNATİF MOTOR YAKITLARI VE LPG' NİN MOTOR YAKITI
OLARAK BENZİNLE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. B. Murat ÇEVİKÖZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 MAYIS 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 HAZİRAN 1996

Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Ertuğrul Arslan

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cem Soruşbay

: Doç. Dr. Metin Ergeneman

HAZİRAN 1996

ÖNSÖZ

Günümüzde mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlar üzerindeki araştırmaları hızlandırmaktadır. Ülkemizde halen mevcut olan doğalgaz ve LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) kullanımı enerji açığına çözüm getirmek ve kirlетici egzoz gazları emisyonunu azaltmak açısından avantaj sağlayacaktır.

Bu çalışmada geleceğin motor yakıtı olarak görülen doğalgaz, hidrojen kısıaca bahsedilmiş, LPG'nin içten yanmalı motorlarda kullanımı sonucu ortaya çıkan kirlетici egzoz emisyonları ve motor karakteristiklerinin benzinle çalışan içten yanmalı motorlarla mukayesesi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmam esnasında bana yol gösteren ve benden desteğini esirgemeyen Sayın Hocam Ertuğrul ASLAN ' a, deneysel çalışmalarım süresince hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak bana yardım eden Araştırma Görevlisi Sayın Mehmet MUTLU ' ya ve bu çalışma sırasında bana yardımcı olan İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi. Otomotiv Ana Bilim Dalı araştırma görevlilerine ve Motorlar ve Taşıtlar Labaratuvarı teknik elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 1996.

B. Murat ÇEVİKÖZ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. PROJENİN AMACI VE ÖNEMİ	3
BÖLÜM 3. DOĞAL GAZIN MOTORLARDA KULLANIMI	4
3.1. Doğal Gazın Özellikleri, Üretim, Depolama ve Kullanımı	4
3.1.1. Doğal gazın özellikleri	4
3.1.1.1. Fiziksel özellikleri	4
3.1.1.2. Kimyasal özellikleri	5
3.1.2. Doğal gazın depolanması ve emniyeti	6
3.1.2.1. Doğal gazın depolanması	6
3.1.2.2. Doğal gazın emniyeti	7
3.1.3. Doğal gazın motorlarda kullanımı	8
3.1.4. Doğal gaz motorlarında egzoz emisyonları	11
3.1.5. Doğal gazın araçlarda kullanılmasının çevreye etkileri	13
3.1.6. Motorlarda doğal gaz dönüşümünün avantajları	13
3.1.7. Motorlarda doğal gaz dönüşümünün dezavantajları	14
BÖLÜM 4. HİDROJENİN MOTORLARDA KULLANIMI	15
4.1 Hidrojenin Özellikleri, Üretim, Depolama ve Kullanımı	15

4.1.1.	Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri	15
4.1.2.	Hidrojenin maliyeti	17
4.1.3.	Hidrojenin üretimi	17
4.1.4.	Hidrojenin depolanması ve taşınması	17
4.1.5.	Hidrojenin motor performansı	19
4.1.6.	Hidrojenin yanma performansı	21
4.1.7.	Hidrojen motorlarında egzoz emisyonları	25

BÖLÜM 5. LPG' NİN MOTORLARDA KULLANIMI 27

5.1.	LPG' nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	28
5.2.	LPG' nin Karakteristikleri	29
5.3.	LPG' nin Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımı	33
5.4.	Optime Edilmiş Bir LPG Motoru	36
5.5.	LPG Motorunda Egzoz Gazları Emisyonu	37
5.6.	LPG ve Çevre	38
5.7.	LPG İle Çalışan Bir Taşıtın İşletme Masrafları	40
5.8.	LPG Dönüşüm Sistemleri	41
5.8.1.	LPG dönüşüm sistemlerinin tanımı ve genel yapısı	41
5.8.1.1.	Yakıt tankı	42
5.8.1.2.	Buharlaştırıcı - basınç regülatörü	43
5.8.1.3.	Benzin ve LPG kumanda valfleri	43
5.8.1.4.	Gaz karbüratörü	44
5.8.1.5.	Yüksek basınçlı sıvı gaz taşıma borusu	46
5.8.1.6.	Düşük basınçlı gaz borusu	46
5.8.2.	Gelişmiş LPG dönüşüm sistemleri	46
5.9.	Çeşitli LPG Dönüşüm Sistemleri	48
5.9.1.	Lovato gas	48
5.9.1.1.	Sistemin elemanları	48
5.9.2.	Eurogas	62
5.9.2.1.	Sistemin elemanları	63
5.9.3.	AG autogas	64
5.9.3.1.	Sistemin elemanları	64
5.10.	LPG Kullanımı İçin Ekonomiklik Sınırı	67
5.11.	LPG Dönüşüm Sistemleri İle İlgili Standartlar	67

BÖLÜM 6. DÖRT SİLİNDİRLİ BİR BENZİN MOTORU ÜZERİNDE GAZ YAKITA DÖNÜŞÜM DENEYİ İÇİN MOTORUN HAZIRLANIŞI	71
6.1. Motor Kafası Üzerinde Yapılan Değişiklikler	71
6.2. Deney Donanımı	75
6.3. Deney Yöntemi ve Ölçümler	76
6.4. Benzin ile Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar	80
6.5. LPG ile Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar	81
KAYNAKLAR	84
EKLER	86
Ek A Deneyler sonucunda ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin tablolar halinde verilmesi.	87
Ek B Benzin ile çalışmada motor performansına ve egzoz emisyonlarına hava deposu üzerindeki lüle çaplarının değişiminin etkisi.	97
Ek C LPG ile benzinin yapılan deneyler sonucunda motor yakıtı olarak karşılaştırılması. (Motor performansları ve egzoz emisyonları açısından.).	109
ÖZGEÇMİŞ	138

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Ham petrol, benzin, motorin ve doğal gazın bazı özellikleri.	5
Tablo 3.2 Doğal gazın kimyasal bileşimi. (Mol yüzdesi olarak).	5
Tablo 4.1 Çeşitli yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri.	15
Tablo 4.2 Yakıt depolama sistemlerinin karşılaştırılması. (30 litre benzine eşdeğer enerjiye sahip H ₂ için.).	19
Tablo 5.1 Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri.	28
Tablo 5.2 Çeşitli Avrupa ülkelerindeki propan / bütan oranı.	31
Tablo 5.3 Değişik propan / bütan oranlarına göre LPG' nin değişim miktarı.	31
Tablo 5.4 Çeşitli motor yakıtlarının karşılaştırılması.	34
Tablo 5.5 Bileşenlerin gerçek zarar verme miktarları.	39
Tablo 5.6 Avrupa'daki LPG dolum istasyonları ve LPG ile çalışan otomobil sayısı.(1983).	41
Tablo 5.7 Hollanda için otomotiv maksatlı yakıt fiyatları karşılaştırılması. (1994 yılı için).	67
Tablo 5.8 Ford Mondeo 1.6 ve Ford Mondeo 1.8 td için LPG kullanım karlılık analizi.	68
Tablo A.1.a. Deney motorunda benzin ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.	88
Tablo A.1.b. Deney motorunda benzin ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.	88
Tablo A.2.a. Deney motorunda benzin ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.	88
Tablo A.2.b. Deney motorunda benzin ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.	89
Tablo A.3.a. Deney motorunda benzin ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.	89

Tablo A.3.b. Deney motorunda benzin ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.	89
Tablo A.4.a. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler. (HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	90
Tablo A.4.b. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler. (HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	90
Tablo A.5.a. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	90
Tablo A.5.b. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	91
Tablo A.6.a. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	91
Tablo A.6.b. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	91
Tablo A.7.a. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	92
Tablo A.7.b. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	92
Tablo A.8.a. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	92
Tablo A.8.b. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	93
Tablo A.9.a. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz	

analizöründen ayarlanmıştır.).	93
Tablo A.9.b. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	93
Tablo A.10.a. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	94
Tablo A.10.b. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	94
Tablo A.11.a. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	94
Tablo A.11.b. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	95
Tablo A.12.a. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	95
Tablo A.12.b. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.).	95

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Çeşitli yakıtların ve depoların ağırlıklarının karşılaştırılması.	7
Şekil 3.2 Hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı verimin değişmesi.	9
Şekil 3.3 Hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak maksimum momenti sağlayacak ateşleme avansının değişimi.	10
Şekil 3.4 Sıkıştırma oranına bağlı olarak ısı verimin değişimi.	10
Şekil 3.5 HC emisyonu açısından doğal gaz ve benzin.	11
Şekil 3.6 CO emisyonu açısından doğal gaz ve benzin.	12
Şekil 3.7 NO _x emisyonu açısından doğal gaz ve benzin.	12
Şekil 4.1 Alev hızının sıcaklığa göre değişimi.	22
Şekil 4.2 Alev hızının hava fazlalık katsayısına göre değişimi.	22
Şekil 4.3 Minimum tutuşma enerjisi miktarının değişimi.	23
Şekil 4.4 Termik verimin hava fazlalık katsayısına göre değişimi.	24
Şekil 4.5 Azot oksit emisyonları.	25
Şekil 5.1 Propan ve bütan için basınç ve sıcaklığa bağlı olarak denge durumu.	29
Şekil 5.2 Bir motor için en önemli LPG ve benzin karakteristiklerinin karşılaştırılması.	30
Şekil 5.3 Propan ve bütan basınçlarının sıcaklığa bağlı olarak değişimi.	31
Şekil 5.4 LPG ve benzinin HC ve NO _x emisyonlarının karşılaştırılması. (90 km/h hızla yol şartlarında yükleme durumunda.).	33
Şekil 5.5 HC ve NO _x emisyonları ile yakıt tüketiminin hava yakıt oranına ve ateşleme zamanına bağlı olarak değişimi.	36
Şekil 5.6 LPG ve benzinin egzoz gazları emisyonu.	37
Şekil 5.7 Dizel yakıtı, kurşunsuz benzin ve LPG' nin oluşturduğu kirletici bileşenler.	39
Şekil 5.8 A.B.D. ve Almanya' da günümüz fiyatlarına göre optime	

edilmiş bir LPG motoru ile dönüşüm sistemleri ile LPG kullanabilir hale getirilmiş bir motorun işletme masraflarının karşılaştırılması.	40
Şekil 5.9 Basit LPG dönüşüm sistemi şeması.	41
Şekil 5.10 Venturi tipi gaz karbüratörü.	45
Şekil 5.11 Venturi tipi karbüratörün hava fazlalık katsayısı karakteristiği.	45
Şekil 5.12 λ kontrollü LPG dönüşüm sistemi şeması.	47
Şekil 5.13 Lovato 756018 gaz karıştırıcı.	49
Şekil 5.14 Lovato standart LPG donanımı.	49
Şekil 5.15 Lovato elektrik kontrollü LPG sistemi.	50
Şekil 5.16 Buharlaştırıcı basınç regülatörü.	51
Şekil 5.17 Buharlaştırıcı regülatörün motor suyu devresine bağlantısı	52
Şekil 5.18 Lovato standart regülatör elemanları.	53
Şekil 5.19 Lovato elektronik regülatör.	55
Şekil 5.20 Multivalf başlığı.	57
Şekil 5.21 Lovato multivalf sistemi.	58
Şekil 5.22 Yakıt tankı donanımı sızdırmazlık kutusu.	59
Şekil 5.23 Lovato LPG selenoid valfi.	60
Şekil 5.24 Lovato benzin selenoid valfi.	61
Şekil 5.25 Eurogas elektronik kontrollü LPG sistemi.	62
Şekil 5.26 Benzin ve LPG için karşılaştırılmalı emisyon değerleri.	63
Şekil 5.27 Autogas LPG sistemi elemanları.	64
Şekil 5.28 Autogas regülatörü birinci kademe.	65
Şekil 5.29 Autogas gaz karıştırıcı.	65
Şekil 5.30 Yakıt tankı ve donanımı.	66
Şekil 5.31 Yakıt tankı bağlantı donanımı.	66
Şekil 5.32 Autogas ana gaz musluğu.	67
Şekil 6.1 A-A kesit görünüşü (emme manifoldu).	72
Şekil 6.2 Gaz iletim kanalının konstrüksiyonu.	72
Şekil 6.3 Renault 12 motor kafası üstten görünüş.	73
Şekil 6.4 Renault 12 motor kafası alttan görünüş.	74
Şekil B.1 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen emme hava debileri karşılaştırılması.	98

Şekil B.2 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen emme hava debileri karşılaştırılması.	98
Şekil B.3 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen yakıt debileri karşılaştırılması.	99
Şekil B.4 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen yakıt debileri karşılaştırılması.	99
Şekil B.5 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen güç eğrilerinin karşılaştırılması.	100
Şekil B.6 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen güç eğrilerinin karşılaştırılması.	100
Şekil B.7 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen moment eğrilerinin karşılaştırılması.	101
Şekil B.8 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen moment eğrilerinin karşılaştırılması.	101
Şekil B.9 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen özgül yakıt sarfiyatı eğrilerinin karşılaştırılması.	102
Şekil B.10 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen özgül yakıt sarfiyatı eğrilerinin karşılaştırılması.	102
Şekil B.11 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO ₂ eğrilerinin karşılaştırılması.	103
Şekil B.12 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO ₂ eğrilerinin karşılaştırılması.	103
Şekil B.13 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu	

üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO eğrilerinin karşılaştırılması.	104
Şekil B.14 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO eğrilerinin karşılaştırılması.	104
Şekil B.15 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen HC (ppm) eğrilerinin karşılaştırılması.	105
Şekil B.16 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen HC (ppm) eğrilerinin karşılaştırılması.	105
Şekil B.17 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen HFK eğrilerinin karşılaştırılması.	106
Şekil B.18 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik ve 50 mm' lik lüleler kullanılarak elde edilen HFK eğrilerinin karşılaştırılması.	106
Şekil B.19 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.	107
Şekil B.20 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30 mm' lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.	107
Şekil B.21 Benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 50 mm' lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.	108
Şekil B.22 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 50 mm' lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.	108
Şekil C.1 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor gücünün değişimi.	110
Şekil C.2 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile	

motor momentinin değişimi.	110
şekil C.3 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile ortalama efektif basıncın değişimi.	111
şekil C.4 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.	111
şekil C.5 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO ₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.	112
şekil C.6 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.	112
şekil C.7 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor gücünün değişimi.	113
şekil C.8 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor momentinin değişimi.	113
şekil C.9 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile ortalama efektif basıncın değişimi.	114
şekil C.10 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.	114
şekil C.11 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO ₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.	115
şekil C.12 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.	115
şekil C.13 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor gücünün değişimi.	116

Şekil C.14 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor momentinin değişimi.	116
Şekil C.15 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile ortalama efektif basıncın değişimi.	117
Şekil C.16 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.	117
Şekil C.17 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO ₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.	118
Şekil C.18 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.	118
Şekil C.19 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motordan elde edilen güçlerin ve bunlara karşılık gaz analizöründen okunan HFK' ların karşılaştırılması.	119
Şekil C.20 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motor momentlerinin ve bunlara karşılık gaz analizöründen okunan HFK' ların karşılaştırılması.	119
Şekil C.21 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motorun ortalama efektif basıncının karşılaştırılması.	120
Şekil C.22 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.	120
Şekil C.23 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO ₂ miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.	121
Şekil C.24 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak devir sayısı ile değişimi.	121
Şekil C.25 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motordan elde edilen güçlerin ve bunlara karşılık gaz	

analizöründen okunan HFK' ların karşılaştırılması.	122
Şekil C.26 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motor momentlerinin ve bunlara karşılık gaz analizöründen okunan HFK' ların karşılaştırılması.	122
Şekil C.27 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motorun ortalama efektif basıncının karşılaştırılması.	123
Şekil C.28 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.	123
Şekil C.29 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO ₂ miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.	124
Şekil C.30 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak devir sayısı ile değişimi.	124
Şekil C.31 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motordan elde edilen güçlerin ve bunlara karşılık gaz analizöründen okunan HFK' ların karşılaştırılması.	125
Şekil C.32 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motor momentlerinin ve bunlara karşılık gaz analizöründen okunan HFK' ların karşılaştırılması.	125
Şekil C.33 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motorun ortalama efektif basıncının karşılaştırılması.	126
Şekil C.34 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.	126
Şekil C.35 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO ₂ miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.	127
Şekil C.36 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak devir sayısı ile değişimi.	127
Şekil C.37 Benzin ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında özgül yakıt sarfıyatı eğrisinin devir sayısı ile değişimi.	128

Şekil C.38 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.	128
Şekil C.39 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO ₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.	129
Şekil C.40 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.	129
Şekil C.41 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.	130
Şekil C.42 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO ₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.	130
Şekil C.43 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.	131
Şekil C.44 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.	131
Şekil C.45 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO ₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.	132
Şekil C.46 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.	132
Şekil C.47 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.	133
Şekil C.48 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO ₂ miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.	133
Şekil C.49 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma	

sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak HFK ile değişimi.	134
Şekil C.50 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.	134
Şekil C.51 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO ₂ miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.	135
Şekil C.52 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak HFK ile değişimi.	135
Şekil C.53 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.	136
Şekil C.54 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO ₂ miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.	136
Şekil C.55 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak HFK ile değişimi.	137

ÖZET

Bu çalışma, çağımızda dünyamızın şüphesiz en büyük sorunlarından olan enerji dar boğazı ile ilgilidir.

İlk olarak motor yakıtı olarak kullanılabilen alternatif yakıtlardan olan doğal gaz, hidrojen ve LPG'nin elde edilişi, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile depolanması, taşınması ve motorlarda kullanımı sonucu oluşacak olan egzoz emisyonlarından bahsedilmiştir. Bu yakıtların araçlarda kullanılmasının avantajlarına ve dezavantajlarına değinilmiştir.

Ayrıca günümüzde kullanılmakta olan gaz karbüratörlü LPG sistemlerinden örnekler verilerek incelenmiştir.

Çalışmanın esas amacı ise yeni bir yakıt - hava ön karışım modeli geliştirmektir. Bu nedenle Motorlar Laboratuvarında bulunan Renault 12 tipi deney motorunun LPG ile çalışabilmesi için motor kafasında bazı değişiklikler yapılmıştır. Bunun için geliştirilen dahili karışım hazırlama yönteminde, emme supabı hareketiyle kontrol edilen bir mekanizma yardımı ile, gaz halindeki LPG doğrudan yanma odasına gönderilmektedir. Karışım oluşumu emme supabı oturma yüzeyinde gerçekleşmektedir. Emme supabı oturma yüzeyinde çevresel olarak 1 mm çapında 12 adet delik bulunmakta olup bu delikler çevresel bir kanal ile birbirlerine ve motor gövdesinde bulunan LPG giriş hattına bağlıdır. Yakıt gönderme işlemi kam milinin hareketine bağlı olarak supabın yuvasından kalkması ile açılan delikler üzerinden yapılmaktadır.

Deney motorunun performansı ve egzoz emisyonları benzin ile çalıştırılarak bir seri deney ile belirlenmiştir. Aynı deneyler LPG kullanılarak tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle mukayeseli olarak grafikler halinde verilmiştir.

SUMMARY

ALTERNATIVE ENGINE FUELS AND EXPERIMENTALLY COMPARISON LPG WITH GASEOLINE AS AN AUTOMATIVE FUEL.

The rapid depletion of conventional energy sources together with the introduction of strict limitations on emissions of polluting combustions products, has lead to an intensive search for alternative fuels. Natural gas and Hydrogen with clear advantages over fossil based conventional fuels is one of the strong candidates for future applications. For heavy duty engines pure natural gas or naturel gas /diesel dual fuel is the best short term solution for meeting the present emission targets. Adaptation of diesel engines to naturel gas operation can be achieved by two different approaches. Dedicated naturel gas engines operating with premixed homogenous charge under Otto cycle, can either use lean or stoichiometric mixture. Stoichiometric mixture operations are preferred for additional 3- way catalytic converter applications at the exhaust system to reduce emissions, where as lean operation is more economical. Another method for the utilization of naturel gas in present heavy duty diesel engines is the use of pilot injection of diesel fuel to ignite premixed naturel gas- air mixture. This applications is widely used for the conversion of diesel engines that are already in use. With all these applications reduction of PM emissions is achieved while keeping the CO, HC and NO_x emissions at low levels.

Hydrogen being the cleanest fuel for internal combustion engines, will be the long term solution for automative emissions. Use of gaseous hydrogen reduces power output of the engine to a certain degree, but produces excellent results in terms of exhaust of emissions as the fuel used does not possess any carbon molecular. This elimanates the production of CO, HC, CO₂ and PM.

In the second part of this study LPG is told as an engine fuel. Liquid Petroleum Gases (LPG) is a hydrocarbon that is mainly made up of a propane and butane mixture. These hydrocarbons are present in nature only in petrol and obtained during the refinement of crude oil or its derivatives. With today' s refinement technology only 3 to 4 % of cruide oil can be obtained as LPG. Therefore, LPG has been never considered as an overall alternative to gasoline. Thus, LPG conversion of passenger cars is limited to 3 to 4 percent of passenger car park in time world. Table 1 lists the physical and chemical characteristics of butane and propane.

In the fifties LPG was introduced in Italy, Netherlands and some other European countries as an automative fuel. The growth of the industry was based on beneficial running cost since for a customer real benefit comes after a certain break even mileage per year.

The break - even mileage is determined mainly by the following :

- initial investment
- fuel prices (LPG - gasoline)
- exces road tax

Today Italy and Netherlands are two leading countries in Europe in LPG automative applications and the conversion market. Because of the governmental policies LPG was attractive to use in automobiles

Table 1. Physical and chemical properties.

GAS		PROPANE	BUTANE
Chemical formula		C_3H_8	C_4H_{10}
Molecular weight		44	58
Specific weight	Kg/l	0.51	0.58
Boiling point	$^{\circ}C$	-43	-0.5
Low heat value	Kcal/Kg	11070	10920
Fire point	$^{\circ}C$ (in air)	510	490
Ignition limits as % of volume		2.1-9.5	1.5-8.8
Burning velocity	(cm/s) in air	32	32

In Turkey, because there was no governmental policy in favor of LPG as an automotive fuel and the lack of LPG automotive know how until today, there has not been a serious enterprise on this subject. Besides, for time being LPG or CNG conversion of any any type of car and truck etc. is still illegal. The related Turkish law has been rearranged recently and will be applicable by the end of this year.(1995).

Most of the present LPG cars and light trucks on the road are based on production gasoline engines. Various retrofit systems for LPG use are offered from different producers. The necessity for a large range of adaptability to various engine types leaves limited spaces for individual optimization. Lack of equipment in some service stations is another reason for limited performance of many LPG vehicles on the road.

Only the careful selection of a suitable LPG equipment and its best adaptation to the engine makes the full utilization of all advantages of this excellent engine fuel possible.

Still better results can be obtained if the engine vehicle concept is optimized to the LPG fuel as well. A lean burn engine promises low emissions at good performance, where the economy of the vehicle i.e. the operation cost depend on the local fuel prices in the different countries.

There are some essential differences between normal gasoline and LPG, which consist of a propane-butane mixture fed into the engine as a gas, thus facilitating optimal mixture preparation and an even mix with the intake air. In contrast to normal liquid fuels, LPG is totally vaporized during the intake cycle and thus takes up a greater volume ; moreover, the latent heat of vaporization does not affect the thermodynamic processes in the engine because it is equalized in the cooling water heated vaporizer before entering the gas mixer.

Since the composition of the LPG varies greatly from one region to another it can be expected that the characteristics will vary accordingly. In Europe, for example, the propane- butane ratio in different countries fluctuates between 96 % and 20 % propane content, which accounts for the differences in the characteristics.

Similar differences can be observed in other countries depending on the availability of the components and climatic conditions ; propane gives much higher pressures at given temperatures. The usual variation of the propane-butane ratio on the market means otherwise a difference of approximately 9 % in calorific value and stoichiometric air-fuel ratio and up to 17 octane numbers.(Table 2).

Table 2. Variation of engine relevant LPG properties by different composition.

PROPANE	N-BUTANE	96 % - 4%	20% - 80 %	
Density 15 %	KG/L	0.507	0.56	10.40%
Vol. Calorific Value	MJ/L	23.5	25.6	8.90%
Stoichiometric Air Fuel Ratio (Volumetric)		6.12	6.69	9.30%
Octane Numbers RON		111	94	-17
MON		97	90	-7

Advantages and disadvantages in the application of LPG are classified as the below.

Advantages:

- High octane numbers
- Potential for better fuel distribution
- Effective combustion
- Lean burning possible
- Low emissions
- Low strain on lubricants
- Less deposits in combustion chamber
- High durability of exhaust system.

Disadvantages :

- High weight of fuel tank
- Space requirement of fuel tank
- Reduced power output
- No additives possible
- Deposits in intake systems and evaporator/ pressure regulator.

If we look at emission levels we find that the air - fuel ratio related CO concentration is independent of the fuel. However , NO_x and HC emissions show significant differences compared with the traditional gasoline engine. The NO_x values are significantly higher for LPG than for gasoline, whereas the HC values are lower. Furthermore , under normal driving conditions, the gas driven engine allows leaner mixtures at acceptable driveability. Hence the limit for the lean mixture operation can be extended and consequently lower NO_x emissions can be achieved. During the trials for the engines under consideration here the acceptable limit for lean operation with gasoline was at 10 to 15 % lean mixture, whereas with gas the values can be stretched to over 35 % lean, without the driving characteristics suffering in any way.

Nowadays, if gas is required as a fuel, it is usual to modify production vehicles with gasoline engines after they have left the factory, in which case the vehicle can be run on either gasoline or gas, as desired. Production vehicles, however, already have certain features for example the principal design and installation situation, the air filter, mixture formation, the intake pipe and the spark timing. The gas system must be adapted so as to conform to this given situation which sometimes means restrictions. Various manufacturers of LPG retrofit equipments have range of systems on the market to meet the different requirements. In every system there is a basic similarity in the operation of the

vaporizer - pressure regulator, which is heated by the cooling water; also the quantity of gas flowing through is usually determined with respect to the pressure in front of the throttle valve of the intake system.

There are various principles governing the mixing of the gas and air. In most cases a gas mixer is inserted in the air filter or in front of the carburettor. Such a mixer must fulfill certain requirements :

- It must produce an equalized mixture so that there is uniform distribution of the air - fuel ratio in all cylinders.
- The vacuum signal necessary for the regulation of the gas flow must be faithfully passed on to the vaporizer - pressure regulator by the mixer.
- The mixer should not interfere with any future operation using normal gasoline. This sometimes would seem to be a problem, particularly during high load operation, float chambers and also the vacuum - controlled enrichment at full load are both more or less affected by the mixer.

Other constructions place the gas supply behind the throttle valve and thus avoid some of the problems mentioned above : however, they require a more complex regulating system to control the gas flow, like, for instance, an additional linkage controlled throttle valve for the gas.

Since the assembly kits commercially available must cater for a wide variety of vehicles, they must also be adjustable in the necessary range. The performance of the vehicle after adaptation depends on the exact match between the gas system and the engine ; this in turn will depend on the quality of the service station doing the fitting and its facilities for carrying out the measurements involved in the job.

Factory - modified LPG vehicles are offered on the automotive market only in some countries. For instance in Japan some companies produce special LPG modified vehicles with their own gas mixture and metering systems. In many Japanese cities nearly all taxis use LPG.

To achieve the best possible result an LPG system should be favorably monovalent, that is, designed and optimized to use only LPG as a fuel. This obviates any problems associated with having to match the system to various fuels. As far as the combustion chamber, the compression ratio, the spark timing and the mixture preparation are concerned, the system is designed such that the advantages of LPG can be utilized to the full. This also the case for the gas mixing system which can be constructed without regard to possible restrictions imposed by dual gasoline - LPG operation.

The traffic increase influences more and more negatively the environment and the energetic consumption. The transport field is particularly responsible for emissions of carbon and nitrogen monoxide, unburnt hydrocarbons, lead, carbon dioxide, sulphurous anhydride, coal particles (diesel) etc... in the environment.

Combustion is inevitably polluting. Emissions coming from it are linked to the chemical and physical properties of fuel, to the composition of the fuel - comburent mixture but also to the combustion process and to the environment characteristics.

When comparing petrol, unleaded fuel, diesel and LPG emissions , we can note that all these fuels produce carbon and nitrogen monoxide as well as unburnt hydrocarbons while lead is only produced by petrol. Moreover, LPG does not produce sulphurous anhydride and aromatics.

All products coming from combustion negatively influence upon the air quality. However, it is more important to know the toxicity grade of each element and define the real injuriousness (table 3) than considering quantity in absolute values.

Table 3. Compounds and toxicity parameters after combustion.

COMPOUNDS	TOXICITY PARAMETERS
CO carbon monoxide	1
HC unburnt hydrocarbon	60
NO _x nitrogen monoxide	100
IPA and Aldehyde	130
SO ₂ sulphurous anhydride	130

From the above table, we can see that the more toxic products of combustion, such as sulfurous anhydride and lead, are not present in LPG. Moreover, LPG unburnt hydrocarbons are less toxic than the other fuels because LPG has neither additives nor aromatics.

It has to be underlined that LPG pollutes little because :

- combustion is done during the gases phase. As LPG is a gas, it suits better this process and assures a more homogeneous mixture without any coal particles.
- High thermodynamics characteristics ease and better consumption
- there are no additives such as lead, sulphur and aromatics.

In the last part of this study I compared LPG with gasoline. LPG is tested in a four cylinder Renault 12 engine. LPG has been introduced directly into the combustion chamber through the passages connected to the gallery placed under the inlet valves seats. Direct and intermittent induction of LPG into cylinders prevented the pre - ignition and back fire problems. The main purpose was to investigate the performance characteristics of a Renault 12 engine operating with LPG / gasoline, in terms of power output and exhaust emissions. The results showed that PM, CO, NO_x and HC emissions can be reduced with a little loss in power output of the engine. Moreover the results showed that LPG is more economical than gasoline and also the use of LPG resulted in a loss maximum power output of the engine but it is proved that LPG can give approximately same power output values with lean mixtures as gasoline.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda halen kullanılmakta olan benzin ve mazot, petrolün rafine edilmesi sonucu üretilmektedir. Doğada mevcut enerji kaynaklarından kolayca elde edilebilmesi, depolama ve taşıma bakımından da herhangi bir sorun oluşturmaması nedeniyle, yüzyılı aşan bir süredir hem Otto, hem de Dizel ilkelerine göre çalışan motorların ana yakıtı petrol esaslı yakıtlar olmuştur. Ancak 1970' li yıllarda başlayan enerji krizi nedeniyle, içten yanmalı motorlar için alternatif yakıt arayışları başlamıştır. Ayrıca son yıllarda artan taşıt sayısı ile birlikte etkin hale gelen hava kirliliğini azaltmak amacıyla daha az kirlletici emisyon çıkaran yeni yakıtlar üzerinde araştırmalar sürmektedir.

Petrol krizi ile birlikte, ilk yıllarda alkollerin benzine alternatif olarak kullanımı ön plana çıkmıştır. Özellikle yüksek oktan sayısı nedeniyle, alkol benzin motorları için uygun bir yakıt olarak kabul edilmiştir. Ancak alkollerin sahip olduğu düşük enerji yoğunluğunun kullanım ve depolama açısından getirdiği bazı sorunlara ilaveten uygulamada karşılaşılan diğer sorunlar nedeniyle motor yakıtı olarak alkollerin yaygın olarak kullanımı söz konusu olmamaktadır. Ayrıca üretim kaynaklarının da sınırlı olması ve hava kirliliği sorununa kesin çözüm getirmemesi alkollerin geleceğin yakıtı olma olasılığını kısıtlamaktadır .

Bu çalışma kapsamında incelenen alternatif yakıtlardan bir tanesi doğal gazdır. Doğal gazın büyük hacimsel yüzdesini metan (CH_4) oluşturmaktadır. Benzin ve dizel motorları için çok uygun bir yakıt olan doğal gaz, fakir karışımlarda çalışma imkanı sağladığından yüksek verim sağlamak ve daha az miktarda kirlletici egzoz gazları ortaya çıkmaktadır. Ancak doğal gaz yeraltındaki rezervlere bağlı olması nedeniyle uzun vadede bir çözüm getirmemektedir. Bu nedenle uygulamasındaki kolaylıklar nedeniyle ancak geçiş dönemindeki yakıt olarak ele alınabilecektir.

Çalışma kapsamına giren diğer bir yakıt da hidrojen olmuştur. Sudan elektroliz yoluyla üretilen hidrojenin yanması sonucu oluşan ana yanma ürünlerinden biri tekrar su olmaktadır. Böylece " yenilenebilir " yakıt türü oluşturan

hidrojen sonsuz kaynaklara sahiptir. Ayrıca fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, karışım hazırlama yöntemine bağlı olarak belirli bir motordan, benzine göre daha yüksek güç alma olanağı sağlamaktadır. Ancak hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanımının sağlayacağı en önemli yararlardan biri hava kirliliği bakımından getirdiği üstünlüklerdir. Hidrojen yakıtında karbon bulunmaması nedeniyle, yanma ürünleri arasında CO, CO₂, HC ve SO gibi çevreyi kirlletici bileşenler de bulunmayacaktır. Egzoz gazları arasında bulunan tek kirlletici bileşen olan azotoksitler ise çeşitli yöntemlerle azaltılabilmektedir.

Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) kullanımı incelenecektir. Yüksek kalitede bir enerji kaynağı olan LPG, çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bunlar arasında inşaat, endüstri, tarım ve otomotiv alanları sayılabilir. Sıvı gazlar motorlar için en mükemmel yakıtlardır. Bu yüzden LPG çok iyi bir yakıt olarak düşünülebilir ; vuruntu direnci yüksektir, benzinle çalışan motorlara göre yaklaşık aynı gücü verir, ayrıca verimi daha iyidir ve daha temiz emisyonlar verir. Son olarak da içinde karbon depozitleri bulunmadığı için motor ömrünü uzatır.

BÖLÜM 2. PROJENİN ÖNEMİ VE AMACI

Bu çalışmanın amacı, yeni bir yakıt - hava ön karışım modeli geliştirmektir. Bunun için daha evvel hidrojen motoru için geliştirilen dahili karışım hazırlama yönteminde, emme supabı hareketiyle kontrol edilen bir mekanizma yardımı ile , gaz halindeki LPG doğrudan yanma odasına gönderilmektedir. Karışımın oluşumu emme supabı oturma yüzeyinde gerçekleşmektedir. Emme supabı oturma yüzeyinde çevresel olarak 1 mm çapında 12 adet delik bulunmakta olup bu delikler çevresel bir kanal ile birbirlerine ve motor gövdesinde bulunan LPG giriş hattına bağlıdır. Yakıt gönderme işlemi kam milinin hareketine bağlı olarak supabın yuvasından kalkması ile açılan delikler üzerinden yapılmaktadır.

Karışım oluşumunun karbüratör yerine emme supabı oturma yüzeyinde yapılmasının nedeni karbüratörün yapısı nedeniyle meydana gelen kısılma kayıplarını ortadan kaldırmak ve ayrıca emme manifoldundaki kayıpları azaltarak volümetrik verim de bir artış sağlamaktır.

Bu şekilde emme manifoldunda yakıtın birikmesi ve karışımın geri tutuşması sorunu olmamaktadır. Ayrıca gönderilen yakıt miktarı değiştirilerek karışım oranı ayarlanabilmekte ve böylece motorun yük ayarı sağlandığı için volümetrik verimde artış sağlanabileceği düşünülmektedir.

Volümetrik verimin artırılabilmesi ile motor performansının iyileştirilmesi ve bütün bunların bir sonucu olarakta egzoz gazları emisyonlarında bir azalma olup olmadığının incelenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 3. DOĞAL GAZIN MOTORLARDA KULLANIMI

3.1. Doğal Gazın Özellikleri, Üretim, Depolama ve Kullanımı

3.1.1. Doğal gazın özellikleri

Doğal gaz teknik olarak üretilmeyen, doğal olarak tabiatta bulunan gazdır. Ana elemanı metan (CH_4) olup inert gazlar (N_2 , CO_2) dışında bünyesinde az miktarda yüksek parafinlerden etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) ve bütan (C_4H_{10}) bulunur.

Doğal gazın sınıflandırılması değişik literatürlerde değişik şekillerde verilmektedir. Anglo-Sakson literatüründeki sınıflamada doğal gaz içindeki azot ve metan yüzdeleri önem kazanırken, DIN 1340'da metan ile kükürt yüzdeleri göz önüne alınır.

3.1.1.1. Fiziksel özellikleri

1. Fiziksel Hali

Doğal gaz normal şartlar altında gaz halindedir. Metanın kaynama noktası çok düşük (-164°C) olması nedeniyle sıvılaştırılması oldukça zordur. Ancak kritik sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda basınç altında sıvılaştırılabilir.

2. Yoğunluk

Doğal gazın havaya göre yoğunluğu 0.58 ile 0.79 arasında değişir. Sıvılaştırılmış doğal gazın yoğunluğu ise 419 kg / m^3 tür.

3. Renk ve koku

Doğal gaz renksiz ve kokusuz bir gazdır. Ayrıca yanarken duman çıkmaz.

4. Alev Sıcaklığı ve Yanma Hızı

Doğal gaz, en önemli bileşeni metanın simetrik yapısı nedeniyle son derece kararlı bir gazdır. Doğal gaz oksijen alevi 2780°C , doğal gaz-hava adyabatik sıcaklığı 1960°C 'dir. Doğal gazın yanma hızı $0.35 \text{ m}^3/\text{san}$ 'dir. Genel olarak, ham

petrol, benzin, motorin ve doğal gazın bazı özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 3.1'de görülmektedir.

Tablo 3.1 Ham Petrol, Benzin, Motorin ve Doğal Gazın Bazı Özellikleri. [1]

YAKIT ADI	ÖZGÜL AĞIRLIĞI	ÜST ISIL DEĞERİ	ALT ISIL DEĞERİ	OKTAN SAYISI
	(kg / m ³)	(kg / dm ³)	(kj /kg)	(kj /kg)
Ham Petrol	0.75-1.00	41000-48000	38900-43550	67
Benzin	0.72-0.78	46900	43100	91-97
Motorin	0.82-0.86	45200	42400	
Doğal Gaz	0.737	37800	34000	130

3.1.1.2. Kimyasal özellikleri

1. Bileşimi

Doğal gaz , esas olarak metan, metana göre daha az oranda olmak üzere etan ve propan gibi hidrokarbonlardan ve azot, karbondioksit, hidrojen sülfür ile helyum gazlarından meydana gelmiş bir gaz karışımıdır. Ayrıca çok küçük yüzdelerde olmak üzere oksijen ve argon gazlarının bulunduğu doğal gaz kaynaklarına da rastlanmaktadır. Tablo 3.2 'de doğal gazın kimyasal bileşenleri görülmektedir.

Tablo 3.2 Doğal Gazın Kimyasal Bileşimi (Mol Yüzdesi Olarak). [1]

BİLEŞENLER:	MİKTAR:
Metan	min % 85
Etan	max % 7
Propan	max % 3
Bütan	max % 2
Pentan ve öteki ağır hidrokarbonlar	max % 1
Karbondioksit	max % 3
Oksijen	max % 0.02
Azot	max % 5
Kükürt	max % 5.1 mg/m ³
Hidrojen Sülfür	max % 5.1 mg/m ³
Merkaptan kükürt	max % 15.3 mg/m ³
Toplam kükürt	max % 102.3 mg/m ³

2. C / H oranı (C: Karbon, H: Hidrojen)

Yakıt içindeki C/H oranı yanma sonucu meydana gelen ürünlerin cinsine önemli derecede etki etmektedir. Doğal gazın yapısında C/H oranının benzine göre düşük olması yanma ürünleri arasında yanmamış hidrokarbonlar ile CO ve CO₂ 'nin daha az bulunmasına neden olmaktadır.

Benzinde C/H oranı 5.295 kg C/kg H olmasına karşılık, propanda 4.468 kg C/kgH'dır. [2]

3.1.2. Doğal gazın depolanması ve emniyeti

3.1.2.1. Doğal gazın depolanması

Doğal gaz taşıt üzerinde, yüksek basınç altında gaz şeklinde (CNG) depolandığı gibi, sıvı olarak (LNG) kryojenik tüplerde depolanabilmektedir.

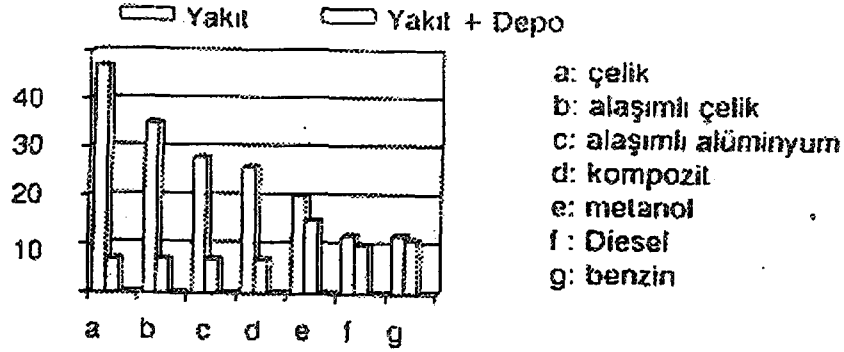
Gaz şeklinde depolama durumunda sıkıştırılmış doğal gazın maksimum basıncı 200 bar olup bazı yeni tanklarda bu basınç 240 bar seviyesine çıkmaktadır. Sıkıştırılmış tank içindeki volümetrik enerji, dizel yakıtın beşte biri, benzinin ise dörtte bir mertebesinde dir. Dolayısıyla doğal gazın dizel yakıtı yerine kullanılması halinde beş kat daha fazla depo hacmi gerekmektedir.

Yakıtın kryojenik tanklarda depolanması için çok düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulduğundan doğal gazın gaz formunda sıkıştırılarak depolanması daha yaygın olarak kullanılan depolanma çeşitidir.

Büyük hacim ihtiyacı depo ağırlıklarının da artmasına neden olmaktadır. Alüminyum alaşım tanklar, karbonlu çelikli ve çelik alaşımli tanklara göre daha hafif olmakta, en son geliştirilen kompozit malzemeli tanklarda ağırlık daha da düşmektedir. Şekil 3.1 'de bazı yakıtların tank ağırlıklarının karşılaştırılması görülmektedir. En hafif doğal gaz tankının ağırlığı, dizel tankı ağırlığının iki misliden fazladır.

Depolamada ağırlık ve hacmin yanında bir diğer kriter de depolama basıncıdır. Basıncın 310.27 bar değerinin üzerine çıkması halinde, sistemin ağırlığının artmasına karşılık hacimde önemli azalma meydana gelmemektedir. Bu nedenle depolamada bu basıncın üzerine çıkılması uygun değildir. Basıncın 172.37

bar basınca göre ağırlığının % 4 artmasına karşılık hacimde % 10 'luk azalma görülmektedir.



Şekil 3.1 Çeşitli yakıtların ve depoların ağırlıklarının karşılaştırılması. [1]

Doğal gazın sıvı olarak depolanması (LNG), yüksek maliyet gerektirdiğinden şimdiye kadar geniş bir uygulama alanı bulamamıştır. Sıvı olarak depolama yöntemlerinden biri, sıvı doğal gaz tankını bir soğutma çevrimi içine alarak sistem sıcaklığının -85°C ile -100°C arasında tutmaktır. Soğutma için gerekli enerji taşıtın motorundan alınmakta, motorun çalışmadığı zamanlarda çevreden sisteme ısı geçişini azaltmak amacıyla ısı iletkenliği düşük yalıtım malzemesi kullanılmaktadır.

Bir diğer yöntem, özel imal edilmiş, ısı iletkenliği düşük, bir kaç kat kompozit malzemeden yapılmış tüplerin kullanılmasıdır.

3.1.2.2. Doğal gazın emniyeti

Doğal gazın motor yakıtı olarak kullanılması halinde yakıt donanımında emniyet için bir çok tedbirin alınması gerekmektedir. Doğal gaz tüpleri, tüp valfleri, bağlantı elemanları ve boruların standartlara uygunluğunun yanısıra gerek malzemelerinin seçiminde, gerekse yapılması gereken emniyet testlerinde uyulması gereken kurallar, doğal gaz uygulamaları yapılan ülkelerde standartlar ile belirlenmiştir.

Doğal gaz tüpünün doldurma basıncının 200 bar olmasına karşılık tüpün yırtılma kontrolünün 900 bar basınçta yapılması öngörülmüştür. Doğal gazın su ihtiva etmesi halinde korozyon etkisi vardır. Su ile hidrokarbon karışımı, çeliğin korozyonuna neden olmaktadır. Bu nedenle yakıt içindeki su miktarının 100 mg/m^3 değerinden az olması istenir. Korozyon hızı gaz içindeki CO_2 miktarı ve gaz basıncı ile artmaktadır. Ayrıca doğal gaz-su kombinasyonu, belirli şartların oluşması

halinde, katı kristal şeklinde hidrat oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle doğal gazın bünyesindeki su miktarının 30 mg/m^3 değerinin altında tutulması, bunun için dolum esnasında kurutma yapılması alınabilecek önlemler arasındadır.

Valflerin dışında kullanılan malzemelerden metal olanlarının, erime noktası 500°C ' ın üzerinde olan alüminyum alaşımlarından seçilmesi, metal olmayan sentetik malzemelerin Hekzan veya Pentan içine daldırıldıktan sonra 20°C da 72 saat süre içinde hacmini standartlar ile belirlenen sınır değerlerin üzerinde arttırmaması, oksijen ile temasta 20°C da ve 20 bar basınçta 96 saat içinde aşınmaya uğramaması gibi şartları sağlaması istenmektedir.

Ayrıca doğal gaz sisteminde kullanılan çelik bağlantı elemanlarının bakır ile kaynaklı çift cidarlı yapılması, dişlerin sızdırmazlığı için conta ilave edilmesi ve sadece konik diş kullanılması gibi tedbirler alınmalıdır.

Valflerin metal olması ve sadece alet yardımı ile sökülebilir şekilde monte edilmesi, tüp bağlantılarının standartlara uygun ve özel amaçlara uyabilecek şekilde yapılması, tüp borularında geri akışı önleyecek valf bulunması ve bunun mümkün olduğu kadar tüp bağlantısına yakın yere monte edilmesi gerekmektedir.

Ateşlemenin yapılmaması halinde ve motorun çalışmaması durumunda, yakıt sevkini önleyecek otomatik bir valfin sisteme ilavesi şarttır. [2]

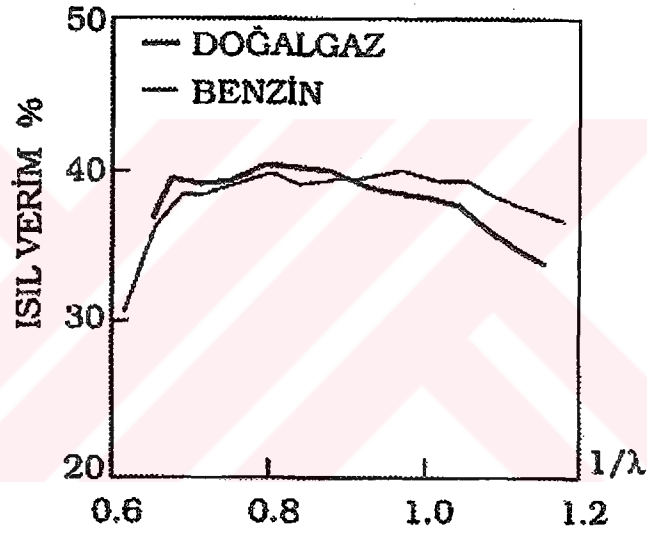
3.1.3. Doğal gazın motorlarda kullanılması

Doğal gazın endüstride ve konutlarda kullanılmaya başlanmasından sonra, gerek alternatif yakıt arayışına çözüm olarak, gerekse motorların neden olduğu hava kirliliğini azaltmak amacıyla motor yakıtı olarak da düşünülmeye başlanmıştır. İngiliz Dorman Firması, 1971 yılında, enerji santrallerinde kullanılmak üzere doğal gaz ile çalışan 6QG ve 6LDG modellerini geliştirmiştir. Dizel motoru olarak sıkıştırma oranları 15.5:1 ile 16.5:1 olan bu motorların gaz motoru olarak kullanılması için sıkıştırma oranları 9.5:1 ile 10.5:1 değerlerine indirilmiştir.

Aynı yıllarda MAN firması tarafından, kent içinde kirlетici emisyonu azaltmak amacıyla, Münih içinde kullanılan otobüslerin doğal gaz ile çalıştırılması konusunda çalışmalar başlamıştır. Bu araçlarda kullanılan doğal gaz -160°C ye kadar soğutularak kryojenik tanklarda depolanmıştır.

Bugün bir çok ülkede uzun yıllardan beri doğal gaz motorları kullanılmaktadır. Doğal gazın en çok kullanıldığı ülkeler şunlardır :İtalya, Yeni Zellanda, Kanada, Rusya, Arjantin ve A.B.D.'dir.

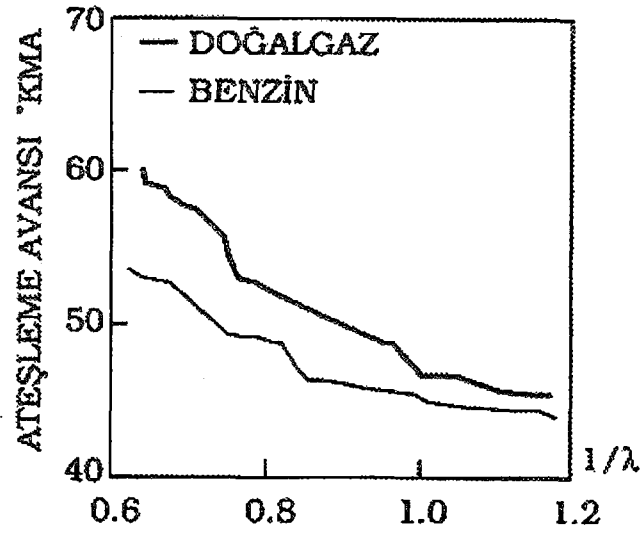
Doğal gaz sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeniyle Otto ilkesine göre çalışan motorlar için uygun bir yakıttır. Ancak benzine oranla birim kütlesinin sahip olduğu enerji yoğunluğu daha fazla olduğu halde (benzin 43Mj/kg, doğal gaz 50-52 Mj/kg),stokiyometrik oranlardaki karışım enerji yoğunluğu benzine oranla daha düşüktür. Bu nedenle aynı motordan alınacak güç, doğal gaz kullanıldığında düşmektedir. Ayrıca yanma hızının da düşük olması ısı verim açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğal gazın tutuşma sınırının fakir karışımlara doğru gidildikçe, benzine oranla daha geniş , olması ısı verimin bu şartlarda daha yüksek olmasına neden olmaktadır.



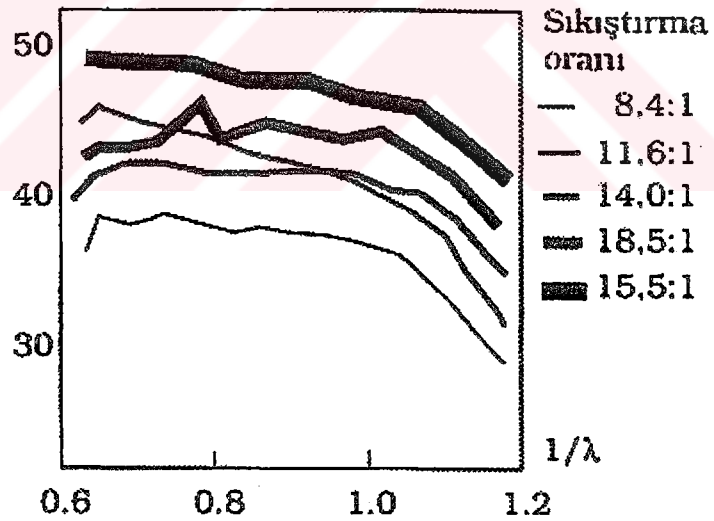
Şekil 3.2 HFK' nın fonksiyonu olarak ısı verimin değişmesi. [1]

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

Doğal gazın yüksek oktan sayısı avantajı kullanılarak motorun sıkıştırma oranı artırıldığında ısı verim de artacaktır. Ancak sıkıştırma oranının belli değerlerin üzerine çıkarılması durumunda, vuruntu sınırına gelindiği için ısı verim tekrar düşecektir. (Şekil 3.4) Motordan maksimum verimin alınabilmesi için sıkıştırma oranının değişimi ile ateşleme avansının da ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 3.3 HFK' nın fonksiyonu olarak maksimum momenti sağlayacak ateşleme avansının değişimi. [1]



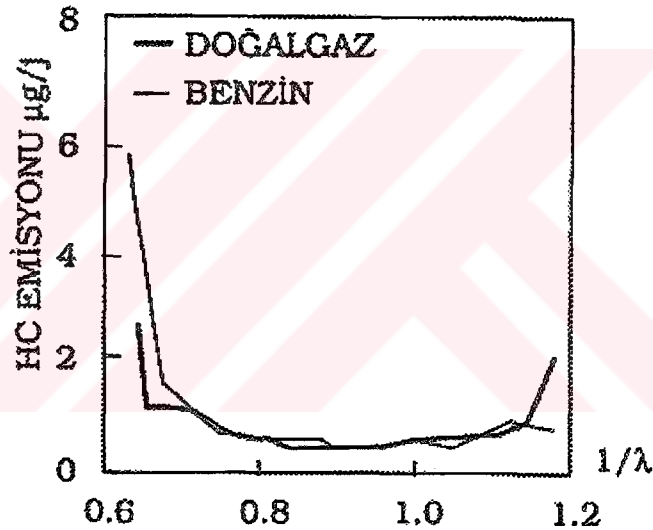
Şekil 3.4 Sıkıştırma oranına bağlı olarak ısı veriminin değişimi. [1]

Her bir yakıt için uygulanabilecek maksimum sıkıştırma oranı kullanılarak yapılan deneylerde ısı verim ve ortalama efektif basınç açısından doğal gaz

avantajlı durumdadır. Isıl verim açısından H_2 en iyi yakıt olarak görünürken, daha sonra sırasıyla metan (doğal gaz), metanol, propan ve izo-oktan (benzin) gelmektedir. Maksimum güç açısından ise en yüksek değere metanol ile ulaşılırken, daha sonra sırası ile izo-oktan, doğal gaz, propan ve gaz hidrojen gelmektedir. Kısmi yüklerde ve yüksek sıkıştırma oranlarında aradaki bu fark açılmaktadır.

3.1.4. Doğal gaz motorlarında egzoz emisyonları

Doğal gaz hava kirliliği açısından da avantajlı bir yakıttır. Yanmamış HC emisyonu açısından doğal gaz ve benzin motorları arasında HFK 'nın 0.9 ile 1.4 arasında değişen değerleri için belirgin bir fark bulunmamaktadır. Ancak karışımın daha da fakirleştirilmesi durumunda doğal gaz avantajlı olmaktadır. (Şekil 3.5).

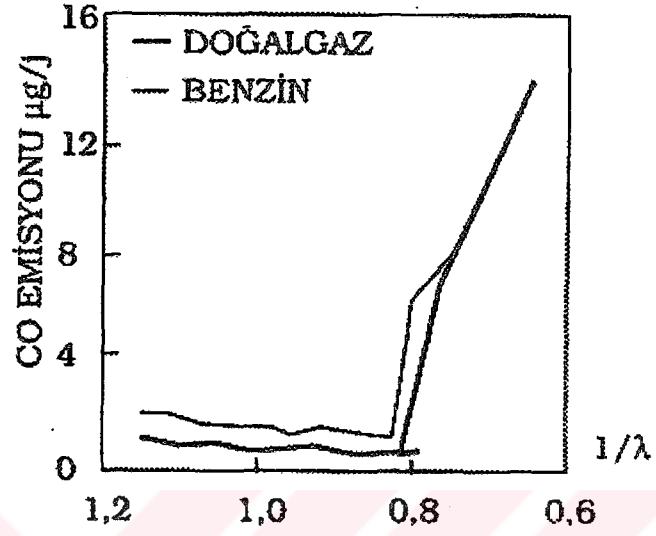


Şekil 3.5 HC emisyonu açısından doğal gaz ve benzin. [1]

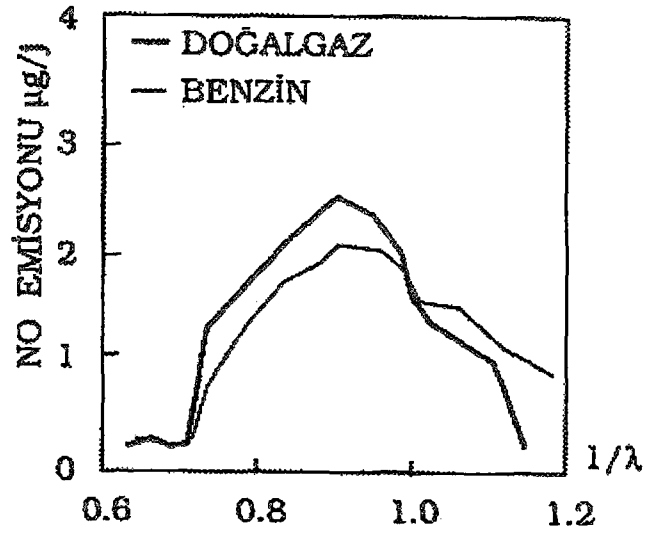
CO emisyonu açısından bir karşılaştırma yapıldığında stokiyometrik ve fakir karışımlar için doğal gaz daha avantajlı durumdadır. Ancak zengin karışımlara doğru gidildikçe benzin motorlarına benzer şekilde CO emisyonu artış göstermektedir. (Şekil 3.6).

NO_x emisyonundaki genel eğilim benzin motorlarına benzer şekilde olup stokiyometrik karışımdan biraz daha fakir tarafta bir tepe noktası oluşturacak şekilde bir eğri çizmektedir. (Şekil 3.7). Ancak maksimum değer benzine göre biraz daha yüksektir. Maksimum momenti sağlayan ateşleme avansı değerindeki

farklılıktan dolayı, HFK 'nın 1.3 değeri altında, doğal gazın NO_x emisyonları benzine göre daha az bir değerde kalmaktadır.



Şekil 3.6 CO emisyonu açısından doğal gaz ve benzin. [1]



Şekil 3.7 NO_x emisyonu açısından doğal gaz ve benzin. [1]

3.1.5. Doğal gazın araçlarda kullanılmasının çevreye etkileri

Son yıllarda tüm dünyada kırsal kesimlerden büyük metropollere ve şehirlere göç artarak devam etmektedir. Örneğin 1940 yılında tüm dünyada ortalama 100 kişiden biri nüfusu 1 milyonun üzerinde olan bir şehirde yaşarken bu sayı 1980 yılında 10 ' a çıkmıştır. Böylece yoğunluğu artan metropoller ve şehirde ulaşım, altyapı ve hava kirliliği gibi sorunlar çok büyük boyutlara ulaşmıştır.

Bugün yapılan çalışmalar şehirlerdeki CO emisyonunun %89-90'nın, NO_x emisyonunun %30-60'nın ve uçucu hidrokarbon emisyonlarının %50'den fazlasının araçlardan kaynaklandığını göstermiştir. Bu oranlarda görülen geniş aralıklar bu oranların ülkeden ülkeye ve şehirden şehire değişiminden kaynaklanır. Ayrıca taşıtların emisyonları nedeni ile oluşan uçucu organik maddeler ve NO_x fotokimyasal reaksiyona girerek atmosferin alt tabakalarında ozonun yırtılmasına neden olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak dizel taşıtlardan çıkan duman ve parçacıklarda, görünür hava kirliliğinin başka bir boyutunu oluşturmaktadır.

Araçların emisyon oranları, aracın bakım, imalat teknolojisi, araçta filtre olup olmadığı ile çok yakın ilgili olmakla beraber kullanılan yakıtta bu konuda çok önemli bir etkidir. Bugün iyi ayarlanmış bir dizel otobüste bir litre yakıt tüketildiğinde 0.5 g HC, 0.5 g kurum, 20 g NO_x açığa çıkmaktadır. Bu durumda Ankara'da trafiğe çıkan EGO araçlarının sayısının 1100 olduğu ve her aracın günde ortalama 150 litre yakıt tükettiği bilindiğine göre EGO toplu taşıma araçları en iyi ayar durumunda bile Ankara'da 0.8 ton HC, 0.8 ton kurum ve 3 ton NO_x bırakacaklardır.

Bugün için araçların emisyonlarını, geliştirilen emisyon kontrol teknikleri ile azaltmak gittikçe daha zor hale gelmektedir. Bu nedenle tüm dünyada alternatif yakıt kullanımı desteklenmekte ve teşvik edilmektedir. A.B.D.'nin üç otomotiv grubu Ford, Chrysler ve General Motors doğal gazla çalışan araçlar konusunda programlarını başlatmışlardır. Yapılan çalışmalarda tek yakıt olarak CNG kullanan araçların uçucu organik madde emisyonu benzinli motorlardan çok daha azdır. Sivilaştırılmış petrol gazı kullanılan araçlarda bu emisyon, CNG kullanılanlara göre daha fazla olmakla beraber, benzinli araçlardan daha düşük seviyededir. [3]

3.1.6. Motorlarda doğal gaz dönüşümünün avantajları

Doğal gaz bir çok ülke için benzin ve dizel yakıttan daha ucuzdur. Düşük doğal gaz birim fiyatı nedeniyle işletme masraflarında tasarruf mümkündür.

Doğal gaz yüksek sıcaklıklarda tutuşan, petrolden daha tehlikeli olmayan bir gazdır. Normal sıcaklık ve basınçta doğal gaz hızla atmosfere yayılır, aracın yakıt dağıtım sistemi tamamen izole edilmiştir.

Doğal gaz yüksek oktan karakteristiğine sahiptir. Doğal gazın oktan sayısı 130 iken süper petrolünkü 96 civarındadır. Bu yüzden doğal gaz çeşitli katkı maddelerine ihtiyaç duymaz.

Doğal gaz temiz ve çevre ile uyum içinde yanar. Minimum derecede kirlilik meydana getirir. Doğal gazda yanma daha düzgündür; doğal gaz kullanılarak sürülen araçlar petrole kullanılanlara nazaran daha uyumlu ve düzgün kullanıma sahiptir.

Daha iyi soğuk marş karakteristiğine sahiptir. Petrolün aksine, doğal gaz, soğuk motor parçalarında önce buhara dönüştürülmeye ve kondense edilmeye ihtiyaç göstermez.

Petrolün aksine, doğal gazın motor yağında neredeyse çözünmez olduğu söylenebilir, bunun sonucu olarak yağ özelliklerini daha uzun süre korur. Motorlar daha uzun bir ömre sahip olurlar. Doğal gaz bujileri karbonize etmez ve yağ filmlerinin kaybolmasına sebep olmaz.

3.1.7 Motorlarda doğal gaz dönüşümünün dezavantajları

Doğal gazın petrole çalışmak üzere ayarlanmış motorlarda kullanımında az bir güç kaybı olur. Buna karşılık gaz ile çalışmak üzere dizayn edilmiş dizel motorlarında performans açısından bir gelişme gözlenir.

Doğal gazla gidilen yol, petrole olana nazaran daha azdır. Petrole çalışan araçlarda yapılan ikili dönüşüm, aracın ilk yakıt sisteminde fazla bir değişikliğe yol açmaz. Böylece ikili yakıt sistemine sahip bir araç ikisini de kullanarak gideceği yolu arttırabilir. Doğal gazla çalışan araçlarda yakıt tankı büyük yer kaplamaktadır.

BÖLÜM 4. HİDROJENİN MOTORLARDA KULLANIMI

4.1. Hidrojenin Özellikleri, Üretim, Depolama ve Kullanımı

4.1.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Renksiz, kokusuz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif kimyasal elemandır. Çeşitli yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir. Gaz halindeki hidrojen, aynı hacimdeki havadan yaklaşık 14 kez daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan yakıtlarla karşılaştırıldığında ise, sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbon yakıtlara oranla yaklaşık 10 kere daha hafif, gaz halindeki yakıtlardan yine 10 kere daha hafif olduğu görülecektir.

Tablo 4.1 Çeşitli yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri. [4]

		Hidrojen	Metan	Metanol	Etanol	Benzin
		H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₈ H ₈
C/H oranı		0	0.25	0.25	0.33	0.56
Molekül ağırlığı	kg/kmol	2.02	16.04	32.04	46.07	91.4
Özgül ağırlığı	kg/m ³ ,sıvı	0.07	0.424	0.79	0.79	0.73
Özgül ağırlığı	kg/m ³ ,gaz	0.084	0.78			
Isıl değeri	MJ/kg	119.93	50.8	20.1	26.9	43.4
Isıl değeri	MJ/l	8.41	20.8	15.9	21.3	31.8
Buharlaştırma ısı	MJ/kg	0.447	0.509	1.102	0.856	0.272
Tutuşma sınırı	% Hacim	4.1-74	5-15.4		3.5-19	1.3-7.6
Hava Fazlalık Katsayısı	HFK	0.15-4.35	0.59-2	0.24-2.22	0.29-1.92	0.26-1.67
Alev hızı(laminer)	m/s	2.91	0.37	0.52		0.37
Ady.alev sıcaklığı	K	2383	2227	2151	2197	2266
Difüzyon katsayısı	m ² /s	0.61	0.16			0.08
Kaynama noktası	K	20.65	117.7	338.1	351.7	305
Donma noktası	K	14		175.4	155.9	217
Oktan sayısı	ROS	130	130	110	106	91-100
Oktan sayısı	MOS		105	87	89	82-94

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanımında avantaj sağlayacak en önemli özelliklerinden biri tutuşma sınırlarının çok geniş yakıt karışım oranlarına uzanmasıdır.

Hidrojen, hava içersinde %4 ile %75 oranları arasında bulunduğunda tutuşabilmektedir. Benzin-hava karışımlarında, HFK' nın 0.3-1.7 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmekte iken, hidrojen-hava karışımları için bu değer 0.14-4.35 değerlerine ulaşmaktadır. Hidrojen-hava karışımları, gaz yakıtlara göre daha geniş tutuşma sınırlarına sahiptir. Örneğin metan-hava karışımlarının tutuşabilmesi için HFK'nın 0.6-1.9 değerleri arasında bulunması gerekmektedir.

Hidrojen-hava karışımlarını ateşlemek için gerekli enerji miktarı da öteki yakıtlara oranla çok düşüktür. (Hidrojen için 0.02 MJ,benzin için 0.55 MJ). Tutuşma garantisi sağlanması bakımından, bu durum Otto prensibi ile çalışan motorlarda avantaj sağlamaktadır. Ancak hidrojenin kolay tutuşması bazı sorunlar da yaratmaktadır.

Bu durum emniyet açısından bir dezavantaj olduğu gibi, hidrojen motorlarında görülen erken-tutuşma ve geri-tutuşma ihtimallerini arttırmaktadır. Hidrojenin Otto motorlarında kullanılan yakıtlar için avantaj oluşturan diğer özellikleri de kendi kendine tutuşma sıcaklığının oldukça yüksek olması (1 atm basınçta 847-864 K) ve oktan sayısının yüksek olmasıdır.

Bu durum hidrojenin dizel motorlarından çok, Otto ilkesi ile çalışan motorlar için elverişli bir yakıt olacağını göstermektedir. Ancak dizel motorlarında ve çift yakıtlı dizel motorlarında (dizel yakıtı ve hidrojen) hidrojenin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur.

Hidrojenin yanma hızı da oldukça yüksektir. Stokiyometrik karışım oranlarında hidrojen-hava karışımlarının yanma hızı, benzin buharı-hava karışımlarının 7-8 katıdır. Hidrojenin difüzyon katsayısı da diğer motor yakıtlarından daha fazladır. Bu durum iyi bir karışım elde edilmesi, karışım oluşturma ve yanma sürelerinin azaltılması bakımından avantaj sağlamakta olup verimi arttırmaktadır.[4]

Hidrojenin alt ısı değeri diğer motor yakıtlarından daha yüksektir. (Hidrojen için 119.93 kJ/g, benzin için 43.4 kJ/g). Ancak hacimsel olarak ele alındığında hidrojenin alt ısı değeri diğer yakıtlara nazaran daha azdır. (Hidrojen için 8.41 MJ/l, benzin için 31.8 MJ/l, metanol için 15.9 MJ/l, metan için 20.8 MJ/l). Hidrojenin adyabatik alev sıcaklığı ise benzinle aynı mertebelerdedir.(Hidrojen 2318K, Benzin 2470K, Metan 2148 K).

4.1.2. Hidrojenin maliyeti

Hidrojenin uygun bir yakıt olmasını sağlayan faktörlerden biri maliyetidir. Hidrojen üretiminin ucuzluğu ve depolanmanın verimliliği bu maliyeti belirler. Doğal gazdan elde edilen hidrojen en ucuz olanıdır ve benzinden 1.72 \$/lt daha az maliyeti vardır. Güneş enerjisinden üretilen hidrojenin de yakıt pompalama dağıtılmasının maliyeti 0.41-0.53 \$/lt arasında daha ucuzdur. Ayrıca çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde benzinin maliyeti 0.26 \$ daha artmaktadır. [4]

4.1.3. Hidrojenin üretimi

Hidrojen, metandan, suyun elektrolizinden ve Rusya' nın Sibiry'a' daki yeraltı hidrojen kaynakları için düşünülmekte olan sondaj yöntemlerinin biriyle üretilir. En uygun metod, suyun, güneş enerjisi ile elde edilen elektrikle, elektrolizidir. Güneş enerjisi ile sadece Amerika'daki araçların günlük ihtiyacını karşılamak için 62000 km² güneş paneli gerekir. Bu da New Mexico' nun 1/5' i dir. [4]

4.1.4. Hidrojenin depolanması ve taşınması

Hidrojenin gaz veya sıvı halinde depolanmasında ve taşınmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılma amacına göre hidrojen çeşitli boyutlardaki stasyonier depolama sistemlerinde (sanayi tesislerinde, yakıt istasyonlarında vb.) taşınabilir sistemlerde (tankerlerde vb.) ve yakıt depolarında (otomobillerde vb.) farklı yöntemlerle depolanmaktadır. Taşıtlarda hidrojenin yakıt olarak kullanımı açısından her üç depolama şekli de önem taşımaktadır.

Hidrojenin depolanmasında kullanılan konvansiyonel yaklaşım basınçlı gaz veya sıvı olarak saklanmasıdır. Ancak günümüzde yeni geliştirilen teknolojilerde, hidrojen, metal hidritlerde veya aktif karbona emdiriliş olarak da depolanmaktadır.

Hidrojenin büyük miktarlarda depolanmasında kullanılacak en basit yaklaşımlardan biri, doğal gazın içinde bulunduğu türdeki yeraltı depolarından yararlanılmaktadır. Ancak bu tür depolardan gazın sadece %50 kadarı geri kazanılabilmektedir. Günümüzde hidrojen genellikle standart gaz tüplerinde (50L/200 bar), yüksek basınçlı depolarda (200 bardan yüksek basınç altında) düşük basınçlı küresel depolarda (15000 m³ /12-16 bar basınçta) depolanmaktadır. [4]

Hidrojenin sıvı halde depolanması teknolojik ve ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Ancak hidrojenin düşük sıcaklığının korunabilmesi için depoların perlit vb. maddelerden oluşan yalıtım malzemesi ile kaplanması gereklidir. Bu şekilde yapılmış ve hacimleri 100 litre ile 5000 m³ arasında olan değişik boyutlarda depolar mevcuttur. Ancak bu depolardan buharlaşma yolu ile günde %0.1 mertebesinde kaçaklar olmaktadır. Taşıtlarda kullanılan küçük depolarda ise kaçaklar günde %2-3 mertebesine ulaşmaktadır.

Hidrojenin büyük kapasiteli depolarda sıvı olarak saklanmasına ilişkin uygulamalar, A.B.D.' deki uzay programları ile birlikte gelişme göstermiştir. Örneğin Keneddy Space Flight Center' deki 2000 m³ kapasiteli sıvı hidrojen deposu 1940' ılı yıllardan beri kullanımdadır. Sıvı hidrojen deposu maliyetleri deponun boyutlarına bağlı olarak, 30-250 DM/kg H₂ arasında değişmektedir. Hidrojenin sıvılaştırılması ise 1 kg H₂ başına 10-13 kWh enerji gerekmektedir. [4]

Hidrojenin depolanmasında yaygınlaşan yöntemlerden biri de metal hidritlerin kullanımıdır. Bu yaklaşımda hidrojen molekülleri parçalanarak, hidrojen atomları metallerin gözenekleri içerisinde saklanmaktadır. Burada depolanan yakıt miktarı, metal alaşımının yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Hidrojenin metal alaşımının gözeneklerinden ayrılması için, tekrar dışardan enerji uygulanmaktadır. Bu sistemin başınlı olması özgül hacminin büyük ve uygulanan dönüşüm enerjisinin düşük olmasına bağlıdır. Günümüz teknolojisinde metal hidrit depolu taşıtların menzilli 150-180 km mertebesindedir.

Karayolu taşıtları üzerinde hidrojenin depolanması amacıyla kullanılmakta olan üç yaklaşım mevcuttur.

Hidrojenin atmosfer sıcaklığında ve 200 bar basınç altında gaz olarak depolanması durumunda enerji yoğunluğu oldukça azalmaktadır. Ancak geliştirilmekte olan alüminyum alaşımlı basınçlı tüplerde hidrojen 300 bar mertebesindeki basınca kadar sıkıştırıldığında depo ağırlığı 1 kg H₂ için 30 kg'a ve özgül hacim de 62 l/kg GH₂ değerine ulaşmaktadır.

Ayrıca uzay ve havacılık çalışmalarında gaz ve hidrojenin 690 bar basınca sıkıştırılarak depolanmakta olduğu uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.2, 30 litre benzine eşdeğer enerjiye sahip H₂ için farklı depolama sistemlerinin toplam ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Depo ve yakıt ağırlığının ve hacminin fazla olması nedeniyle, bu yaklaşım ancak kısa menzilli taşıtlarda uygulanabilmektedir. Tablo 4.2'den görüldüğü üzere depolama sisteminin hafifliği ve yakıt ağırlığının ve hacminin azlığı nedeniyle en ideal yakıt benzindir.

Tablo 4.2 Yakıt depolama sistemlerinin karşılaştırılması. [4]
(30 litre benzine eşdeğer enerjiye sahip H₂ için)

YAKIT	HACİM	AGIRLIK	DEPO	TOPLAM AĞIRLIK
	litre	kg	kg	kg
Benzin	30	22	5	27
Metanol	62	49	8	57
H ₂ - Metal Hidrit		8.2	764	772
H ₂ - Gaz 15 MPa	670	8.2	755	763
H ₂ -Sıvı	117	8.2	65	73

4.1.5. Hidrojenin motor performansı

Hidrojen yakıtlı motorlarda yanma karakteristiklerini, emisyon miktarını ve dolayısıyla motor performansını etkileyen en önemli etken karışımın hazırlanış yöntemidir. Hidrojen ile hava karışımı, sırasıyla dahili ve harici olarak adlandırılan yöntemlerle, motorun yanma odası içersinde veya motorun giriş manifoldunda hazırlanmaktadır. Her iki yöntemde de hidrojenin difüzyon hızının yüksek olması nedeniyle, yüksek motor devir sayılarında bile homojen bir karışım sağlamak mümkündür.

Harici karışım hazırlama yönteminde, basit bir gaz karıştırıcı içersinde düşük basınçlarda hidrojenin hava ile karıştırılması veya hidrojenin yine düşük basınçlarda motorun emme manifolduna sürekli veya kesikli olarak gönderilmesi mümkündür. Hidrojen yakıtlı motorlarda, hidrojen hava karışımı geniş sınırlar arasında tutuşabildiğinden dizel prensibi ile çalışan motorlardaki gibi yüke göre karışım ayarı yapılabilir. Bu durumda karbürötördeki gaz keleşi tam açık olacağı için motorun kısımla kayıpları da kalkacak ve kısmi yüklerde volümetrik verim, dolayısıyla toplam verim ve motorun maksimum gücü artacaktır.

Harici karışım hazırlama yöntemlerinin sağladığı bazı avantajlar yanında getirdiği önemli sorunlar da bulunmaktadır. Hidrojen yakıtlı motorların çıkışından itibaren bu motorlara kısıtlamalar getiren geri tutuşma ve erken tutuşma problemleri bu yöntemde ortaya çıkmaktadır. Geri tutuşma, yanma odasına gönderilmekte olan karışımın emme tamamlanmadan çeşitli etkenlerle tutuşması sonucu motorun giriş manifoldunda alevin geriye doğru ilerlemesidir. Emme sistemindeki elamanların zarar

görmesine neden olabilen ve emniyet açısından sakıncaları bulunan bu olayın önlenmesi gerekmektedir.Önlenmesi gereken olaylardan biri de erken tutuşmadır.Erken tutuşma, yanma odası içersine ulaşmış karışımın bujide ateşleme olmadan önce tutuşmasıdır. Hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması nedeniyle:

1. Yanma odasındaki sıcak noktalar,
2. Subap bindirmesi sırasındaki sıcak egsoz gazları,
3. Çok fakir karışımlarda yanma hızlarının düşük olması nedeniyle yanma süresinin artması sonucu yanan gazlarla yeni karışımın teması,
4. Motor yağından gelen sıcak partiküller,

yanmayı istenilenden önce başlatabilmektir. Bunun önlenmesi için yanma odası sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir.Bu amaçla :

- a. Karışımın bir miktar fakirleştirilmesi,
- b. Egsoz gazları resirkülasyonu (EGR) uygulanması,
- c. Yanma odasına su püskürtülmesi,
- d. Subap bindirmesinin azaltılması,
- e. Giriş havasının sıvı hidrojenin kullanımı sonucu soğutulması gibi çeşitli yöntemler uygulanabilir.Ancak EGR uygulanması veya gönderilen hidrojenin azaltılması sonucu karışımın fakirleştirilmesi çevrimde olan farklılıkları arttıracak ve motorun düzgün çalışmasını engelleyecektir. Ayrıca EGR sonucu ortalama efektif basınç da düşecektir. [4]

1920'lerden itibaren günümüze kadar, geri tutuşma ve erken tutuşma hidrojen yakıtlı motorlarda çözülmesi gereken bir sorun olmuş ve bu nedenle çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Bu soruna çözüm sağlanması açısından dahili karışım hazırlama yöntemi uygulamaları oldukça etkili olmaktadır. Sıvı hidrojenin 10 MPa mertebelerinde yüksek basınçla direkt olarak her silindirin yanma odasına ayrı ayrı gönderilmesi yukarıda belirtilen problemlerin bir kısmına çözüm getirmektedir. Yakıtın sıkıştırma zamanı sonuna doğru, subaplar kapandıktan sonra püskürtülmeye başlanması nedeniyle karışımın geç hazırlanması ve emme manifoldunda yakıt hava karışımının bulunmaması erken tutuşma ve geri tutuşma problemlerini çözmektedir.Bu yöntemle ayrıca hassas ölçüm sağlanabilmektedir. Böylece burada da dizel prensibine benzer bir şekilde, yük durumuna göre karışım oranının değiştirilmesi ve gaz keleşinin kullanılmaması sonucu, kısımla kayıplarının kaldırılması, sonuç olarak da volümetrik verimin artırılması mümkün olacaktır.Benzin motorlarında, stokiyometrik karışımlarda tam buharlaşmış yakıtın yanma odası içersindeki hacim oranı %1.7 mertebesindedir. Buna karşılık gaz

halindeki hidrojenin, stokiyometrik şartlardaki hacim oranı %30 olacağından, eşdeğer motordan alınacak maksimum güç miktarında, benzine oranla %15 mertebesinde bir düşüş görülecektir. Sıvı halinde hidrojenin aynı şartlar altında, ancak emme subaplarının kapanmasından sonra yanma odasına direkt olarak püskürtülmesi sonucunda ise benzine oranla yaklaşık %20 mertebesinde, ön karışimli gaz hidrojen yakıtlı motora oranla da %40 mertebesinde güç artışı sağlanabilecektir.

Bu yöntemde ayrıca yakıt miktarını hassas olarak ölçmek mümkün olmakta, ancak daha pahalı ve karmaşık mekanizmalar gerektirmektedir. Bu sistemde yanma odasında iyi karışım sağlanabilmesi için, püskürtme basıncını yüksek değerlerde sabit tutularak, gönderilen yakıt miktarının ayarlanması amacıyla püskürtme süresinin değiştirilmesi de gereklidir. Ancak bu tür sıvı hidrojen püskürtme pompalarının yağlama sorunları gibi hala araştırmaya açık noktaları da bulunmaktadır.

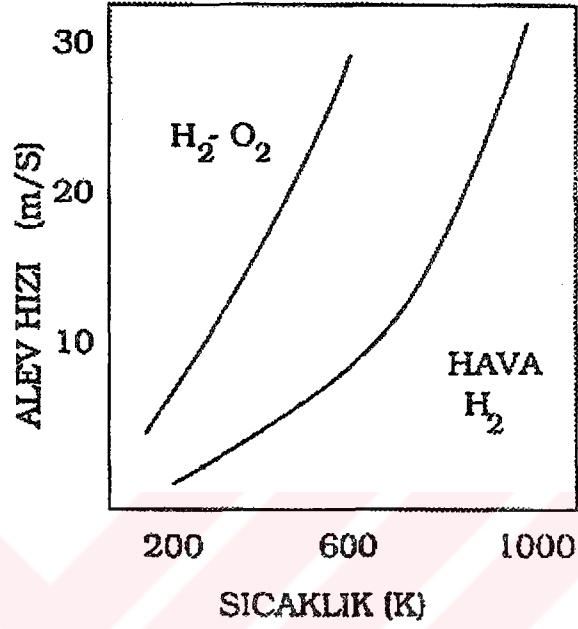
Çok fakir değerlerinde (HFK' nın 4-5 değerleri için), yanma hızı önemli ölçüde azalacağından yanma stabilitesi ve NO_x emisyonları açısından sorunlar oluşacaktır. Bu bakımdan yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü motorlarda bile bu sorunun çözümü için emme manifolduna, HFK'nın belirli sınırların üstüne çıkmasını engelleyecek bir gaz kelebeği eklenmektedir. [4]

4.1.6. Hidrojenin yanma performansı

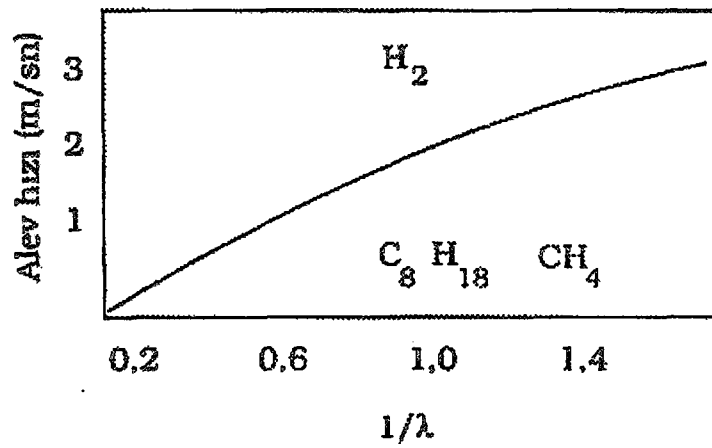
Hidrojenin motorlarda kullanımının sağlayacağı yararlardan biri de yanma hızının öteki yakıtlara oranla yüksek olmasıdır. Laminer alev hızı, burada da HFK'nın yanmamış karışım sıcaklığının ve basıncın bir fonksiyonudur. Şekil 4.1'den görüldüğü gibi yanma hızı karışım sıcaklığının azalması sonucu azalmaktadır, ancak motorun normal çalışma sıcaklıklarındaki hızlar oldukça yüksek değerlerdedir. Ayrıca karışımı fakirleştirmekte, yanma hızını düşürücü etki yapmaktadır.(Şekil 4.2). HFK'nın 2.5'den daha düşük değerlerinde yanma hızı, hidrokarbon bileşimli yakıtların stokiyometrik karışım oranlarındaki yanma hızlarından daha yüksek olmaktadır.

Motorun yanma odasındaki, yanma hızı; hava hareketleri ve türbülans etkisi ile laminer hava hızından daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yakıtın yanma odasına püskürtülmesi sonucu oluşturulan karışımlardaki ortalama alev hızları

harici olarak oluşturulması yöntemine oranla, ölçüm hassasiyetinin artımı nedeniyle yüksek olmaktadır.



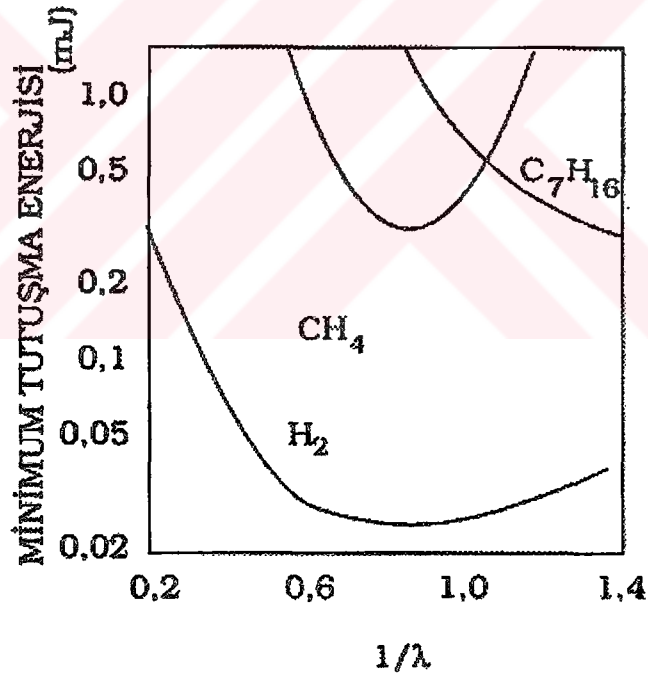
Şekil 4.1 Alev hızının sıcaklığa göre değişimi. [4]



Şekil 4.2 Alev hızının HFK' ya göre değişimi. [4]

Hidrojen hava ile bütün karışım oranları için karışma özelliğine sahiptir. Elde edilen karışımın da HFK'na ve sıcaklığına bağlı olan geri tutuşma sınırları vardır. Karışımın sıcaklığının artması nedeniyle bu sınırlar da artış gösterecektir. Ancak düşük sıcaklıklarda bile motoru, karışım oranını değiştirerek çalıştırmak mümkündür. Sonuç olarak termik verim artmakta ve benzin motoruna göre daha ekonomik koşullarda çalışılmaktadır.

Hidrojen hava karışımlarının tutuşturulabilmesi için gerekli ateşleme enerjisi miktarındaki petrol kökenli yakıtlara oranla oldukça düşük değerlere sahiptir. Örneğin stokiyometrik karışım oranları için benzin hava karışımına oranla 1/10'u dolayında enerji gerekmektedir.(Şekil 4.3). Bu özellik erken tutuşma ve geri tutuşma sorunlarını yaratmakla birlikte, çok fakir karışımlar için bile güvenli ateşleme sağlamaktadır.



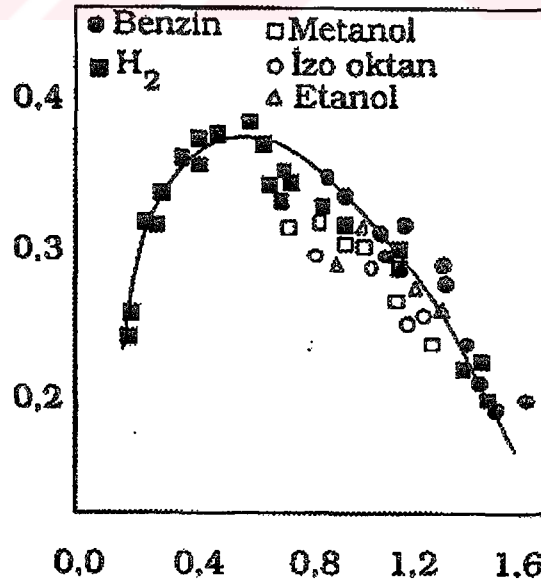
Şekil 4.3 Minimum tutuşma enerjisi miktarının değişimi. [4]

Hidrojen yakıtlı motorlarda soğuk cidarlardaki alev bölgesi benzin motorlarına göre daha azdır. Bu bakımdan, çap/ strok oranı büyük motorlar yapılarak, daha büyük çaplı ve fazla sayıda emme ve egzoz subapları kullanmak ve

böylece volümetrik verimi artırarak, pompalama kayıplarını azaltmak mümkün olabilmektedir.

Motorlarda termik verim motorun sıkıştırma oranının ve karışımın özgül ısılarının fonksiyonu olarak değişmektedir. Yanma hızının hidrojen hava karışımlarında fazla olması nedeniyle vuruntuya karşı direnç artacağından, sıkıştırma oranının da daha yüksek değerlere çıkarılması ve dolayısıyla termik verimin artırılması mümkün olmaktadır. Sıkıştırma oranının artırılması sonucunda erken tutuşma sorunu ortaya çıkacaktır. Ancak bu durum, örneğin yanma odasına yakıtın püskürtülmesi sonucunda çözümlenebilir.

Termik verim kullanılan yakıtın cinsi ile doğrudan etkilenmemekle birlikte, HFK'nın fonksiyonu olarak değiştiğinden, daha geniş tutuşma sınırlarına sahip hidrojen hava karışımlarında daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. (Şekil 4.4). Örneğin benzin motorlarında karışımın fakirleştirilmesi sonucu termik verim artmaktadır. Ancak HFK'nın 1.6'ya ulaşmasından sonra yakıtın tutuşma sınırlarına ulaşıldığından, termik verimde düşme görülmektedir. Hidrojen yakıtlı motorlarda ise bu sınır HFK'nın 3.3'lük değerlerine kadar ulaşabildiğinden, termik verimde daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Ayrıca hidrojen hava karışımlarının sahip olduğu yüksek yanma hızları nedeniyle yanma süresi kısalcak ve dolayısıyla ısı kayıpları azalacağından termik verimde artış görülecektir.

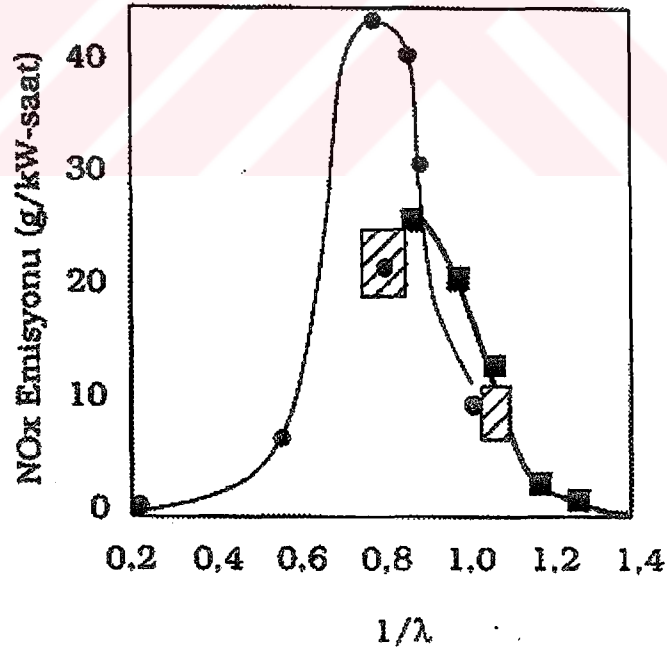


Şekil 4.4 Termik verimin HFK'na göre değişimi. [4]

4.1.7. Hidrojen motorlarında egzoz gazları emisyonu

İçten yanmalı motorlarda ortaya çıkan kirletici egzoz gazları arasında genellikle azot oksitler, karbonmonoksit ve hidrokarbonlar bulunur. Ancak hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeniyle yanma ürünleri arasında CO_2 ve HC mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeniyle oluşan HC'lar egzoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeniyle havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler bol miktarda üretilmektedir. Üretilen azot oksitlerin büyük bölümünü oluşturan NO'lar egzoz sistemi içersinde veya atmosfere çıktıktan sonra NO_2 'ye dönüşmektedir. [5]

NO_x genelde hava fazlalık katsayısının ve karışımın yerel sıcaklığının bir fonksiyonu olarak üretilmektedir. Bu nedenle zengin($\lambda < 0.9$) ve fakir($\lambda > 1.7$) karışımlarda NO_x emisyonu önemli ölçüde azalacaktır. Hidrojen yakıtlı motorların fakir karışımlarla çalışma özelliği bu konuda önemli yararlar sağlamaktadır.



Şekil 4.5 NO_x emisyonları. [4]

Hidrojen yakıtlı motorlarda egzoz gazları içersinde hava kirliliğini etkileyecek ürün olarak bulunan NO_x 'lerin miktarı, yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, oksijen konsantrasyonunun azaltılması veya yanma süresinin kısaltılması sonucu düşürülebilmektedir. Bu amaçla egzoz gazları resirkülasyonu, emme manifolduna su püskürtülmesi, ateşleme zamanının geciktirilmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır. İnert egzoz gazlarının resirkülasyonu sonucu, özellikle fakir karışımlarda oksijen konsantrasyonu düşürüldüğü için etkin bir şekilde NO_x azaltılmaktadır. Ancak bu durumda motorun gücü de bir miktar düşecektir.

Motorun emme manifolduna su püskürtülmesi sonucunda karışım sıcaklığı düşmekte, yanma hızı azalmakta ve sonuç olarak NO_x emisyonu da azalmaktadır. Ateşleme zamanının geciktirilmesi de motorun termik veriminden bazı kayıplara neden olmakla beraber, maksimum sıcaklıkları düşürmekte ve dolayısıyla da NO_x emisyonunu azaltmaktadır.

Hidrojenin direkt olarak yanma odasına püskürtülmesi de NO_x emisyonunu azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu durumda püskürtme zamanının etkileri de önem kazanmaktadır. Ayrıca yanma odası şekli ve motorun sıkıştırma oranı da hava hareketlerinin oluşturulması ve ulaşılan sıcaklıklar açısından NO_x emisyonu üzerinde etkin olmaktadır. [5]

BÖLÜM 5. LPG'NİN MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANIMI

LPG' nin motorlarda yakıt olarak kullanılmasında iki türlü etken mevcuttur. Bunlar şu şekil de sıralanabilir :

1- Ekonomik etkenler

LPG'nin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı genelde yakıt maliyetlerinin ve kirletici egzoz gazları emisyonlarının azalması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Buna karşılık taşıtların LPG kullanacak şekle dönüşümü, kullanılacak sistemin yapısına bağlı olarak değişim gösteren, ilave maliyetler getirmektedir. Ayrıca bazı ülkelerde, üzerinde üretim vergisi bulunmadığı için, otomatik olarak LPG fiyatları benzinin çok altındaki düzeylerde kalmakta ve bu ülkelerde LPG kullanan taşıtlara ek vergi uygulanmaktadır. Örneğin Hollanda'da 95 oktan benzinin litresi 1.95 Hollanda Florini, LPG'nin litresi ise 0.60 Hollanda Florini'dir. Bu ülkede LPG kullanan taşıtlara ek vergi uygulaması vardır.

Diğer taraftan bazı ülkelerde LPG kullanan taşıtlara ek vergi uygulanmamakta, ancak yakıt üzerinde üretim vergisi bulunmaktadır. Örneğin İtalya'da uygulanan bu sistemde LPG gene de benzine oranla daha ucuz fiyatla satılmakta (kurşunsuz benzin 1600 Liret/litre, LPG 800 Liret/litre, yazın LPG 750 Liret/litre) ve dönüşüm sisteminin amortismanı düşünüldüğünde, ekonomik yönden avantaj sağlanabilmesi için taşıtın yılda yaklaşık 15000-20000 km yol yapması gerekmektedir. Ülkemizde ise taşıtlarda LPG kullanımı konusunda yasal durum halen kesinleşmemiş olup, ülkemizin enerji ve çevre politikalarına bağlı olarak konuya açıklık getirmek üzere çalışmalar Sanayi Bakanlığı tarafından başlatılmıştır.

2-Teknolojik etkenler

Taşıtlarda LPG kullanımının başarılı olabilmesi, dönüşümü yapılan taşıtın mevcut performansını korumasına, sistemin bakım/ayar sürelerinin mevcut durumdan farklı olmamasına ve kullanıcıya mali avantaj sağlamasına bağlıdır. Ayrıca LPG kullanımının ekonomiklik dışında getirdiği en önemli fayda, egzoz gazları emisyonlarının benzin motorlu taşıtlara oranla daha düşük olmasıdır. Farklı

özelliklere sahip çeşitli LPG dönüşüm sistemleri vardır. Ancak genelde, günümüzdeki mevcut teknoloji ile bütün bu taleplerin karşılanması mümkündür.

5.1. LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ham petrol veya türevlerinden elde edilen propanın (C_3H_8) ve bütanın (C_4H_{10}) belirli oranlardaki karışımından oluşmaktadır. LPG ayrıca doğal gazdan da elde edilmektedir. Propanın ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

LPG'nin en önemli özelliklerinden biri buhar basıncıdır. Bu basınç değerine bağlı olarak yakıt tankında bulunan yakıtın sıvı ve buhar fazları arasındaki denge durumu sağlanmaktadır. (Şekil 5.1). Örneğin bütan için buhar basıncı 0 °C sıcaklıkta 0.005 bar iken, propan için aynı sıcaklıkta 4 bara çıkar. 15 °C sıcaklıkta ise bütan için 0.8 bar, propan için ise 6.5 bar olur. Görüldüğü gibi karışımın bütan/propan oranına bağlı olarak LPG'nin buhar basıncı değişmektedir. Artan sıcaklıkla birlikte sıvı fazındaki propan ve bütanın hacmi hızla değişmekte ve basınç değerlerinde artış görülmektedir. Bu husus yakıt tanklarında emniyet açısından önem taşımaktadır. [6]

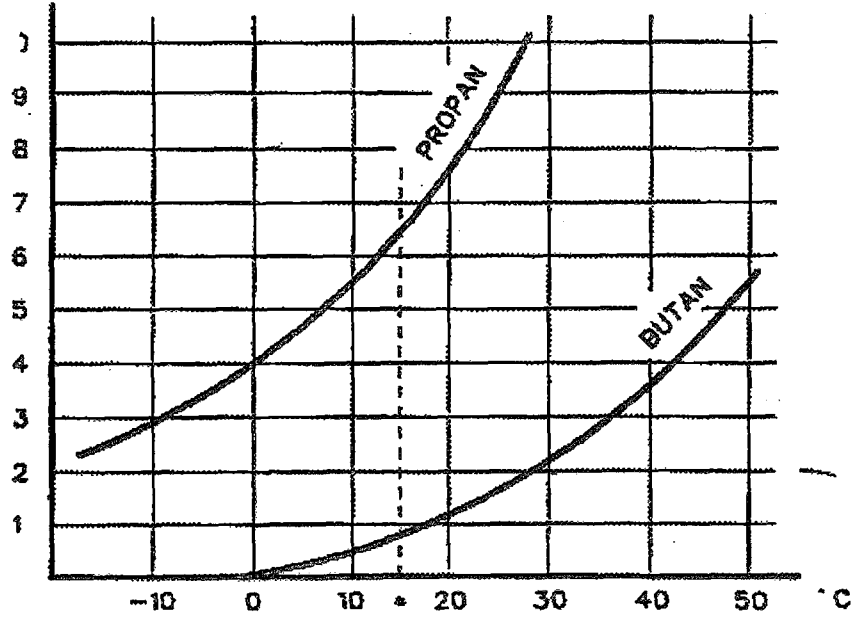
Propan ve bütan arasındaki diğer bir farklılık da kaynama noktasıdır. Kaynama noktası, atmosfer basıncı altında, gaz fazından buhar fazına geçiş sıcaklığını vermektedir. Propan - 43 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunurken, bütan 0 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle soğuk iklim ortamlarında LPG bünyesindeki propan daha fazla tutularak sıvı fazından gaz fazına geçiş kolaylaştırılmaktadır.

Tablo 5.1 Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri. [7]

GAZ	PROPAN	BÜTAN
Kimyasal Formülü	C_3H_8	C_4H_{10}
Moleküler Ağırlığı	44	58
Özgül Ağırlığı (kg/litre)	0.51	0.58
Kaynama Noktası (°C)	-43	-0.5
Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	11070	10920
Tutuşma Noktası (°C)	510	490
Tutuşma Sınırları (hacimsel %)	2.1-9.5	1.5-8.5
Yanma Hızı (cm/s)	32	32

BASINÇ

Bar

**SICAKLIK**

Şekil 5.1 Propan ve bütan için basınç ve sıcaklığa bağlı olarak denge durumu. [7]

Propan ve bütanın bir diğer özelliği de yağ, boya gibi maddeleri eritmesidir. Ayrıca kauçuk hortumların da deforme olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle LPG hortumları sentetik malzemeden yapılmaktadır. Yakıt tankı ile regülatör arasında yer alan basınç altındaki LPG hatları için ise özel bakır veya çelik boru kullanılmaktadır.

5.2. LPG'nin Karakteristikleri

Normal benzin ile LPG arasında bazı asal farklılıklar vardır. LPG motoru gaz olarak besleyen bir propan-bütan 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 hacime yayılır. Ayrıca gizli buharlaşma ısı motoradaki termodinamik işlemi etkilemez. Bunun sebebi soğutma suyunun gaz karıştırıcıya girmeden önce buharlaştırıcıyı ısıtmasıdır. Şekil 5.2'de motorla ilgili en önemli LPG karakteristiklerinin buna karşılık gelen benzin değerleri ile karşılaştırılması

görülmektedir. LPG'nin bileşiminin bir bölgeden diğerine büyük ölçüde değiştiği için buna bağlı olarak karakteristiklerinin de değişeceği beklenmelidir. Örneğin, Avrupa'da ülkelere göre propan-bütan oranı %96 ila %20 arasında dalgalanmaktadır. Bu nedenle Şekil 5.2'deki değerlerin değişeceği aşıkardır. Tablo 5.2'de çeşitli Avrupa ülkelerindeki propan-bütan oranlarındaki değişim gösterilmektedir. [8]

	BENZİN	LPG %100 %20 PROPAN
YOĞUNLUK (15° C) Kg/l	0.75	0.507 2.36
VOL. ISIL DEĞER Mj/dm ³	33	23.5 28.6
STOİKOMETRİK HAVA-YAKIT ORANI (VOL.) m ³ hava / litre yakıt	8.52	6.12 6.09
OKTAN SAYILARI RON	99	111 92.8
MON	89	97 88.6

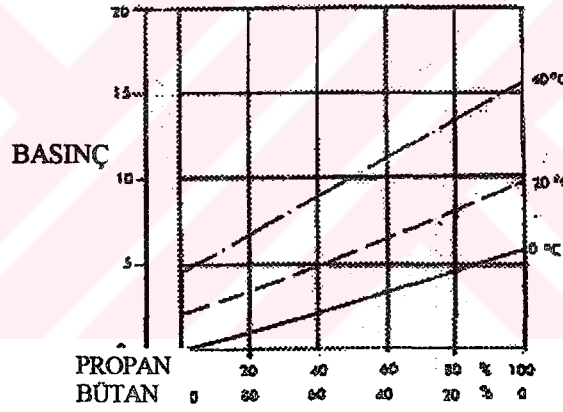
Şekil 5.2 Bir motor için en önemli benzin ve LPG karakteristiklerinin karşılaştırılması. [8]

Bileşimi meydana getirenlerin elde edilebilirliğine ve iklimik şartlara göre benzer değişimler diğer ülkelerde de gözlenebilir, propan verilen sıcaklıklarda daha yüksek basınçlar verebilir.(Şekil 5.3).Tablo 5.3'de piyasadaki değişik propan-bütan

oranlarının ısı değerlerinde ve stokiyometrik hava yakıt oranlarında yaklaşık %9 civarında bir değişim ve oktan sayılarında 17'ye varan farklılık görülebilmektedir.

Tablo 5.2 Çeşitli Avrupa ülkelerindeki propan/bütan oranı. [8]

ÜLKELER	PROPAN/BÜTAN ORANI	
	YAZ	KIŞ
BELÇİKA	30/70	50/50
ALMANYA	PROPAN	PROPAN
DANİMARKA	50/50	70/30
İNGİLTERE	PROPAN	PROPAN
AVUSTURYA	20/80	80/20
HOLLANDA	30/70	70/30
İSVEÇ	PROPAN	50/50
İSVİÇRE	PROPAN	PROPAN



Şekil 5.3 Propan ve bütan basıncının sıcaklığa bağlı değişimi. [8]

Tablo 5.3 Değişik propan/bütan oranlarına göre LPG'nin gösterdiği değişim miktarı

PROPAN/BÜTAN	%96 / %4	%20 / %20	DEĞİŞİM
Yoğunluk %15 kg/l	0.507	0.56	%10.4
Hacimsel Isıl Değer 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'nin benzine göre avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir :

1. LPG'nin avantajları :

- Daha yüksek oktan sayıları,
- Daha iyi bir yakıt dağıtımı,
- Daha verimli yanma,
- Fakir yanma mümkün,
- Daha düşük emisyonlar,
- Yağlama maddeleri için daha az yıpranma,
- Yanma odasında daha az artık maddeler,
- Egzoz sisteminde yüksek dayanıklılık.

2. LPG'nin dezavantajları :

- Yakıt tankının çok ağır oluşu,
- Yakıt tankı için yer gereksinimi,
- Güç çıkışında azalma,
- Emme sisteminde ve buharlaştırıcı basınç regülatöründe artıklar,
- Katkı maddeleri ilavesi mümkün değil. [8]

Ayrıca LPG'nin avantaj ve dezavantajları otomobil kullanıcıları arasında yapılan araştırma sonucu şöyle tesbit edilmiştir :

1.LPG'nin avantajları :

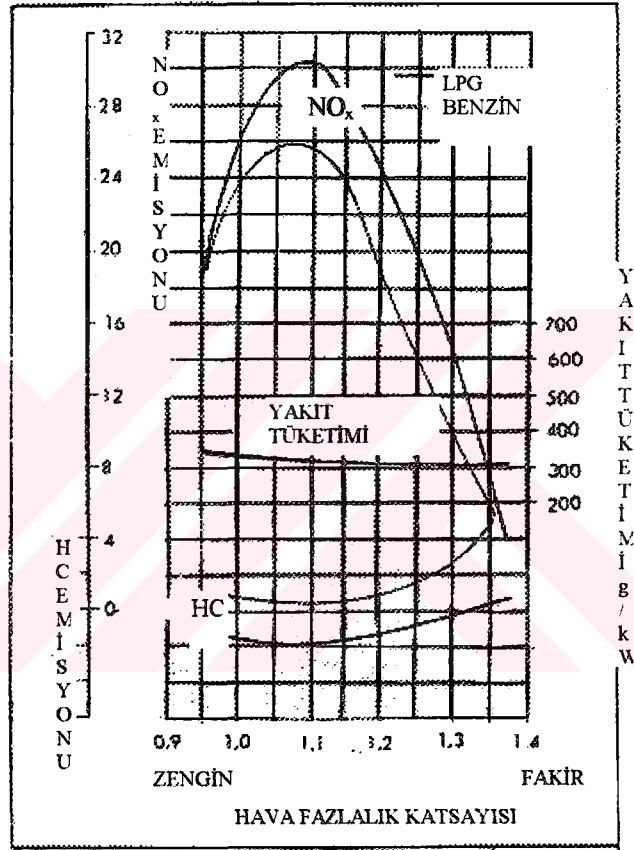
- İyi kullanım özelliği,
- Düşük yakıt masrafı,
- Çevreyi daha az kirletmesi,
- Daha düşük servis masrafları(yağlama maddeleri, bujiler, egzoz sistemi vb.).

2.LPG'nin dezavantajları :

- Yüksek yatırım,
- Daha yüksek hacimsel tüketim,
- Güç çıkışında azalma,
- Daha zor yakıt temini,
- Güvenlik kuralları. [8]

Eğer emisyonlar dikkate alınacak olursa, yakıttan bağımsız olarak hava-yakıt oranları CO konsantrasyonuna bağlıdır.Bununla beraber NO_x ve HC emisyonları geleneksel benzin motoruyla karşılaştırıldığında önemli farklılıklar göstermektedir. Şekil 5.4'de 90 km/h hızla yol şartlarında yükleme hali

görülmektedir. NO_x değerleri LPG için benzine göre önemli ölçüde yüksektir. Bunun aksine, HC değerleri ise LPG için benzine göre daha düşüktür. Ayrıca normal kullanma şartları altında gaz motorları kabul edilebilir kullanılabilmede daha fakir karışımlara izin verirler. Böylece fakir karışım limitleri genişletilmiş ve daha düşük NO_x emisyonlarına ulaşılmıştır. Benzin kullanıldığında ulaşılan fakir karışım limiti %10-%15 iken bu oran gaz da hiçbir kullanma koşulu kötüleştirilmeden %35'e çıkarılmıştır. [8]



Şekil 5.4 90 km/h hızla yol şartlarında yükleme durumunda LPG ve benzinin HC ve NO_x emisyonlarının karşılaştırılması. (2800 d/dak. ve 47 Nm). [8]

5.3. LPG' nin Motor Yakıtı Olarak Kullanımı

LPG çeşitli sanayi uygulamalarında, ısıtmada, evlerde, tarımda ve motorlu taşıtlarda enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda benzin ve dizel yakıtına alternatif olarak kullanımı mümkündür. Benzinin ve dizel yakıtının

kaynama sıcaklıkları normal ortam sıcaklıklarının üzerinde olmasına karşın, LPG 0 °C sıcaklığın altındaki ortamlarda buharlaşmaktadır. Bu nedenle konvansiyonel yakıtlar taşıt üzerindeki yakıt depolarında, atmosfer basıncı altında sıvı fazında saklanabilirken, LPG'nin yakıt tankında sıvı fazında depolanması için yüksek basınca gerek vardır. DIN 51600 standartına göre, 38 °C sıcaklıkta yaz benzininin 0.7 bar, kış benzininin 0.9 bar değerlerini geçmeyen buhar basıncına sahip olması gerekmektedir. Ancak propan için bu sıcaklıktaki buhar basıncı değeri 12.1 bar, bütan için 2.6 bar'dır. Bu nedenle LPG yakıtlar taşıt üzerinde 4-10 bar arasında değişen basınçlar altında depolanır.

Benzin ve dizel yakıtına oranla LPG'nin birim kütlesinin alt ısı değeri daha yüksektir. Bu değer LPG bünyesindeki propan/bütan oranına bağlı olarak değişmektedir. (Tablo 5.4)

Tablo 5.4 Çeşitli motor yakıtlarının karşılaştırılması. [8]

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin	Dizel Yakıtı
Yoğunluk 15 °C (kg/litre)	0.508	0.584	0.73-0.78	0.81-0.83
Buhar Basıncı 38 °C (bar)	12.1	2.6	0.5-0.9	0.003
Kaynama Noktası (°C)	-43	-0.5	30-225	150-560
R.O.N.	111	103	96-98	-
M.O.N.	97	89	85-87	-
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	46.5	45.46	44.03	42.4
Alt Isıl Değeri (Mj/litre)	23.42	26.55	32.32	35.62
Stokiyometrik Oran	15.8	15.6	14.7	-
Karşım Isıl Değeri (kJ/m ³)	3414	3446	3482	-

Bu nedenle özgül yakıt tüketimi bakımından (g/kWh), LPG yakıtlı motorlar benzin ve dizel yakıtlı motorlara göre daha avantajlıdır. Ancak LPG'nin özgül kütlesinin daha düşük olması nedeniyle, hacimsel açıdan yakıt tüketimi karşılaştırıldığında LPG'nin avantajlı olmadığı görülmektedir. Birim hacimdeki enerji eşdeğerine bakıldığında, teorik olarak hacimsel yakıt tüketimi benzine oranla propan için 1.38 (32.32 Mj/litre / 23.42 Mj/litre) ve bütan için 1.22 (32.32 Mj/litre / 26.55 Mj/litre) kat daha fazladır. Dizel motorlarında ise yakıt tüketimi benzine oranla 0.9 (32.32 Mj/litre / 35.62 Mj/litre) mertebesinde dir. Ancak gaz yakıtların hava ile daha iyi karışma özelliğine sahip olmaları nedeniyle, daha homojen bir karışım elde

edilmekte, silindirler arası farklılıklar azalmakta ve motor performansı % 8-10 mertebelerinde iyileşmektedir. Bu durumda gerçek yakıt tüketimi katsayıları propan için 1.27 ve bütan için 1.11 mertebelerine düşmektedir. [9]

Propan/bütan oranı 50/50 mertebesindeki LPG'nin alt ısı değeri 46.0 Mj/kg veya 546.1 kg/m^3 (25.1 Mj/litre)'dir. Stokiyometrik karışımın sahip olduğu ısı değerler açısından durum incelendiğinde, karışımın alt ısı değeri benzin için 3482 kJ/m^3 , propan için 3414 kJ/m^3 ve bütan için 3446 kJ/m^3 mertebesinde olup propan/bütan oranı 50/50 mertebesindeki LPG için 3430 kJ/m^3 'tür.

Bu nedenle LPG yakıt kullanımı sonucunda benzine oranla motor gücünde, teorik olarak, % 2 mertebesine varan bir düşüş beklenir. Ancak motor parametrelerinin aynı performansı sağlayacak şekilde kontrolü de mümkündür. Genellikle pratikteki uygulamalarda karbüratörlü motorlarda maksimum güçte ancak % 3-5 mertebelerinde bir azalma görülmektedir.

Benzin püskürtmeli ve elektronik kontrol sistemli motorlarda ise güç düşüşü tamamen önlenebilmektedir. Diğer taraftan LPG'nin daha yüksek oktan sayısına sahip olması nedeniyle, yeniden tasarlanacak motorlarda sıkıştırma oranının yüksek tutulması da motor gücünün artırılmasına olanak tanıyacaktır.

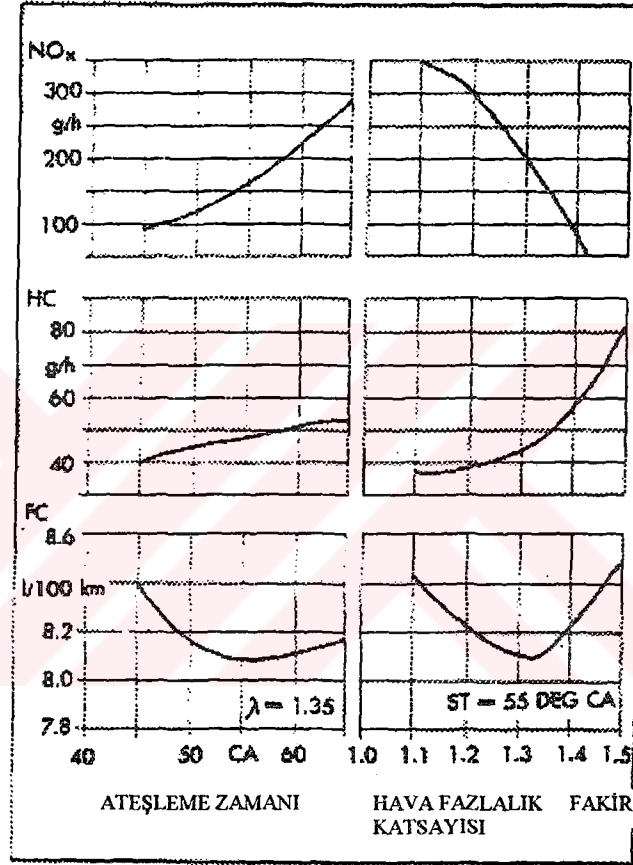
Taşıtlarda da kullanılabilen petrol gazının önemli bölümünü propan oluşturur. Propanın egzoz emisyonları düşük ve yüksek oktan sayısına sahiptir. En önemli üstünlüklerinden birisi metana göre daha kolay sıvılaştırılabilmesidir. Örneğin 21°C sıcaklıktaki 110 Pa basınç altında sıvılaştırılabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile daha kolay sıvılaştırılarak depolanabilmektedir.

Sıkıştırılmış petrol gazı, yüksek basınç altında saklanır. Sıvılaştırılmış petrol gazının oktan sayısı 103-105'dir. Oktan sayısının yüksek olmasına rağmen enerji yoğunluğu petrole göre, kütleli olarak %11, hacimsel olarak %33 daha azdır. Setan sayısı düşük olduğu için dizel motorlarında kullanılmaya uygun değildir.

Sıvı yakıt yerine gaz kullanıldığında, emilen karışım içinde gaz yakıt daha fazla hacim kapladığından, volümetrik verim ve güç belirgin olarak düşer. Bu güç kaybı 103-105 gibi yüksek oktan sayısına uygun olarak dizayn edilmiş motorlarda giderilebilir.

Burada benzin tankı yerine, bagaj bölmesi veya bölmenin altına LPG tankı yerleştirilir. Motorun sıkıştırma oranı, yakıtın oktan sayısına uygun olarak, 10.5-11'e yükseltilebilir. Emilen dolgu hacmi artacağından emme sistemi uygun şekilde değiştirilmelidir. Ayrıca ateşleme avansı ve kam ayarı uygun şekilde yapılmalıdır.

Ford motor şirketindeki mühendislere göre propan yakıtlı taşıtların hızlanma ve soğuk havalarda kullanım kabiliyeti benzin yakıtlı taşıtlara göre daha iyidir ve düşük egzoz gazları emisyonu sağlar. Propan yakıtlı taşıtlarda buji ömürleri, yağ filtresi ve yağ kullanım ömrü daha iyidir. Silindir çapı daha küçük olmaktadır. Propan yakıtının oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle sıkıştırma oranı yükseltilebilmektedir.



Şekil 5.5 HC ve NO_x emisyonları ile yakıt tüketiminin hava - yakıt oranına ve ateşleme zamanına bağlı değişimi. [8]

5.4. Optime Edilmiş Bir LPG Motoru

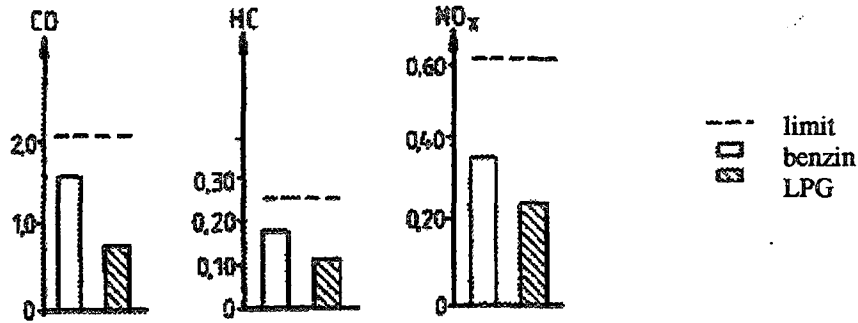
Mümkün olacak en iyi sonuçları verecek bir LPG motoru elde etmek için motorun yakıt olarak sadece LPG kullanacak şekilde dizayn ve optime

edilmelidir. Böylece çeşitli yakıtlarla çalışmak üzere dizayn edilen sistemlerdeki problemler önlenir. Yanma odası, kompresyon oranı, ateşleme zamanı ve karışım hazırlanışı sadece LPG kullanımı için dizayn edilen motorlarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu işlem, ayrıca LPG ve benzin kullanılan motorlardaki gaz karıştırma sistemlerindeki sınırlamaları da ortadan kaldırır.

Şekil 5.5'de kısmi yüklerde 90 km/h için hız için hava yakıt oranı ve ateşleme zamanının HC ve NO_x emisyonları üzerindeki etkisi bununla beraber yakıt tüketimine etkisi görülmektedir. Gözle görülebilir oranlardaki NO_x emisyonlarda azalma sağlanabilmesi için karışımın fakirleştirilmesi gerekmektedir. Bununla beraber çok düşük değerler kullanılması problem yaratabilir. [8]

5.5. LPG Motorunda Egzoz Gazları Emisyonu

LPG yakıtlı motorlarda kirlетici egzoz gazları emisyonu önemli ölçülerde azalmaktadır. Yakıt içersinde kurşun bulunmadığı için kurşun bileşenleri emisyonu yoktur. Diğer taraftan kurşunsuz benzine oktan sayısını arttırmak için katılan benzen vb. aromatik hidrokarbonlar ve polimerler de LPG yakıtlarda bulunmamaktadır. Yakıt içersinde kükürt olmaması nedeniyle kükürt oksitlerin emisyonu da söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is ve partiküler madde emisyonu da oluşmaz.



Şekil 5.6 LPG ve benzinin egzoz gazları emisyonu.

LPG yakıtlı taşıtlarda, CO, HC ve NO_x emisyonları benzine oranla çok düşük seviyelere indirilebilmektedir. (Şekil 5.6). Kullanılan LPG dönüşüm sisteminin yapısına ve kullanılan elektronik kontrol donanımına bağlı olarak taşıtın emisyon

seviyeleri değişim göstermektedir.Ayrıca orjinal taşıtın karbüratörü olması durumunda, emisyon seviyesinin daha düşük olması nedeniyle, LPG dönüşümü sonucundaki emisyon düşüş oranları da daha fazladır. Ancak benzin püskürtme sistemli ve katalitik reaktörü taşıtların emisyon seviyeleri zaten çok düşük olduğundan, LPG dönüşüm sisteminin getirdiğı fayda Şekil 5.6'dan de görüldüğü gibi, oransal olarak daha düşük kalmaktadır.

LPG'nin kurşunsuz benzin kullanımına uygun taşıtlarda kullanımı motor ömrü açısından hiçbir sorun oluşturmaz. Ancak kurşunlu benzin gerektiren eski teknolojiye göre üretilmiş motorlarda, supap yuvalarında bir miktar aşınma söz konusu olabilmektedir. Buna önlem olarak ya belirli aralıklarla kurşunlu benzin kullanılmalı (toplam tüketimin % 30'u oranında kurşunlu benzin kullanılması gerekli kurşun ihtiyacını karşılayacaktır.),veya supap boşluğu ayarlanarak supap aşınmasının minimuma indirilmesi yoluna gidilmelidir.

5.6. LPG ve Çevre

Trafiğin artması çevreyi ve enerji tüketimini gittikçe negatif yönde daha çok etkilemektedir. Gittikçe artan C, NO,yanmamış hidrokarbonlar, kurşun,CO₂, sülfüranhidrid kömür parçacıkları (dizel emisyonundan oluşan) çevreyi kirletmektedir.

Yanma kaçınılmaz olarak kirleticidir.Emisyonlar yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağılı olarak ortaya çıkmakla beraber, yakıtla yanıcı maddelerin karışımının bileşimine bağılıdır ve bununla beraber yanma işlemine ve çevre karakteristiklerine de bağılıdır.

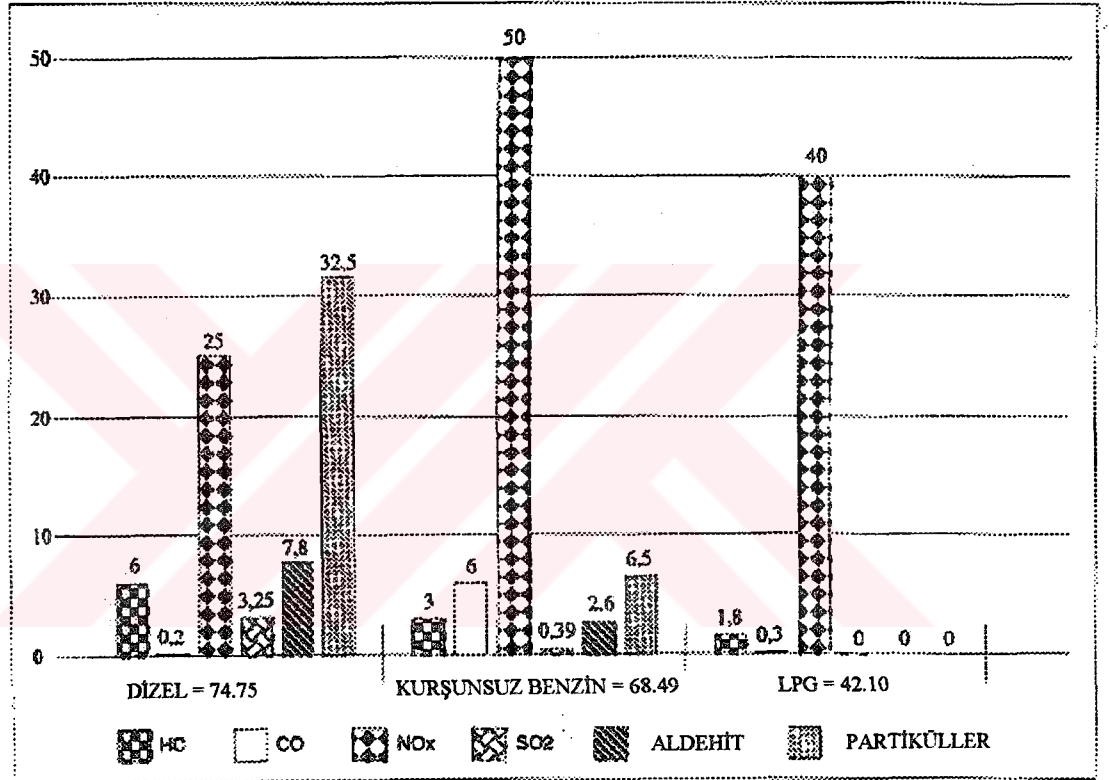
Benzin, kurşunsuz benzin, dizel ve LPG'yi karşılaştırdığımız zaman bütün hepsinin C, NO ve yanmamış hidrokarbonlar ürettiğini görürüz. Ancak içlerinde sadece benzin kurşun üretir.Ayrıca LPG sülfüranhidrid ve aromatikler üretmez.

Yanmadan gelen tüm ürünler hava kalitesini negatif yönde etkiler. Bununla beraber her elementin zehirliyi değeri bilmek ve gerçek zarar verme miktarını tanımlamak önemlidir.

Aşağıdaki tablodan anlaşıldığı üzere yanma sonucu oluşan en zehirli ürünlerin LPG tarafından üretilmeyen ürünler olduğu anlaşılmaktadır.Ayrıca LPG'deki yanmamış hidrokarbonların diğer yakıtlardakilerine nazaran daha az zehirli olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise LPG'nin aromatikleri ve katkı maddelerini içermemesidir. [10]

Tablo 5.5 Bileşenlerin gerçek zarar verme değerleri . [10]

Bileşenler	Zehirliyi Parametre
CO	1
HC	60
NO _x	100
IPA ve Aldehit	130
SO ₂	130



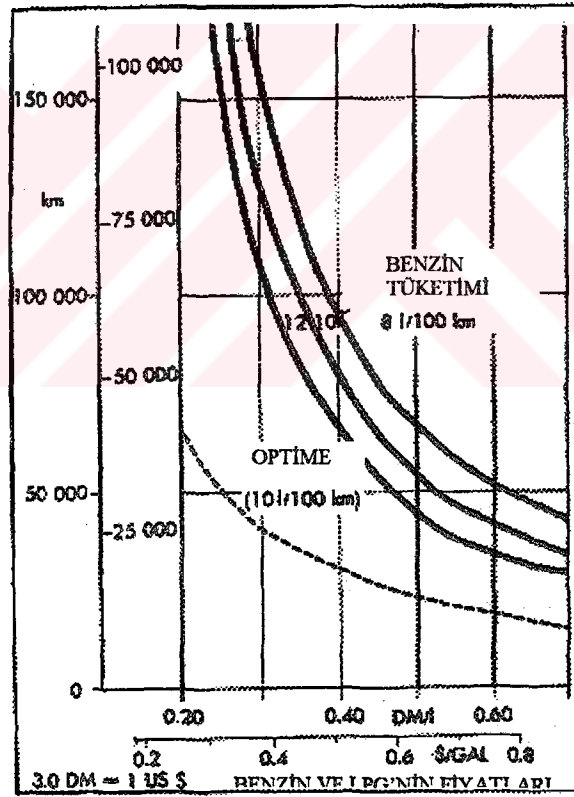
Şekil 5.7 Dizel, kurşunsuz benzin ve LPG oluşturduğu bileşenler. [10]

LPG'nin daha az kirlenici olduğu şöyle özetlenebilir :

- Yanma gaz fazında yapılır. LPG gaz olduğu için yanmaya daha iyi uyum sağlar ve daha homojen bir karışım sağlanır.
- Yüksek termodinamik karakteristiklere sahip olduğu için daha iyi bir tüketim sağlanır.
- Kurşun, sülfür ve aromatikler gibi katkı maddeleri içermediği için daha az kirlenicidir. [10]

5.7. LPG İle Çalışan Bir Taşıtın İşletme Masrafları

Geliştirilmiş bir LPG sistemi, benzine karşı ekonomik bir alternatif olarak görülmektedir. Daha düşük üretim masrafları, yakıt tüketimindeki azalma ve daha düşük egzoz emisyonları LPG motorlarının gelecekte benzin motorlarına en güçlü rakip olacağını göstermektedir. Şekil 5.8'de Almanya'da ve Amerika'da şu andaki fiyatlarla işletme masrafları hesaplanmış ve gösterilmiştir. Şehir trafiğindeki taksilerin ve belediye araçlarının LPG kullanması, LPG ile çalışan taşıtlarla uzun yola çıkmaya göre daha avantajlı olmaktadır. Bunun nedeni ise LPG dolum istasyonlarının sınırlı sayıda olması ve her yerde bulunmamasıdır. Tablo 5.6'da çeşitli Avrupa ülkelerinde LPG ile çalışan otomobil sayısı ve dolum istasyonları sayısı görülmektedir. [8]



Şekil 5.8 A.B.D. ve Almanya'da günümüz fiyatlarına göre optime edilmiş bir LPG motoru ile dönüşüm sistemleri ile LPG kullanabilir hale getirilmiş bir motorun işletme masraflarının karşılaştırılması. [8]

Tablo 5.6 Avrupa'daki LPG dolum istasyonları ve LPG ile çalışan otomobil sayısı.
(1983). [8]

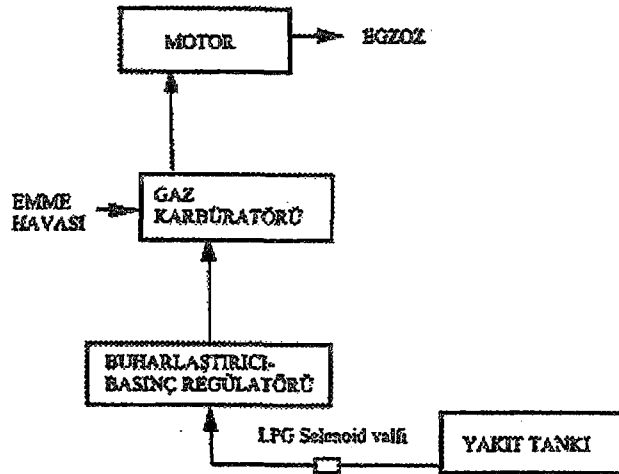
	Servis istasyonları sayısı	LPG ile çalışan otomobil sayısı
AVUSTURYA	187	12400
BELÇİKA	750	95700
DANİMARKA	800	40000
ALMANYA	700	25000
İTALYA	1400	900000
HOLLANDA	2400	540000
İSVEÇ	75	2500
İNGİLTERE	400	50000

5.8. LPG Dönüşüm Sistemleri

5.8.1. LPG dönüşüm sistemlerinin tanımı ve genel yapısı

Benzin motorlarının aynı zamanda LPG ile çalışmasını sağlayacak olan en basit (1.nesil) sistem (Şekil 5.9) aşağıdaki ana elemanlardan oluşmaktadır :

- Yakıt tankı, kumanda ve emniyet valfleri
- Buharlaştırıcı-Basınç regülatörü
- Benzin ve LPG kumanda valfleri
- Gaz karbüratörü
- Yüksek basınçlı LPG taşıma borusu
- Düşük basınçlı gaz borusu.



Şekil 5.9 Basit LPG dönüşüm sistemi şeması. [11]

Bu tür açık devreli sistemlerde hava fazlalık katsayısı gaz karbüratörünün sağladığı sınırlar dahilinde değişmekte ve kapalı devre kontrolü yapılmadığı için HFK'nı sabit tutmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle HFK=1'de çalışarak ve 3-yollu katalitik dönüştürücü kullanarak en son emisyon sınırlarını (EURO 93) sağlamak böyle bir sistemle olanaksızdır. Ancak, taşıtın orjinal benzin motorlu tipi ECE R-15.04 sınırlarını sağlamasa bile, iyi tasarlanmış ve kalibre edilmiş bir LPG'li sistem ile bu sınırları sağlamak genellikle mümkün olmaktadır. Sistem elemanları aşağıdaki genel özelliklere sahiptir. [11]

5.8.1.1. Yakıt tankı

Yakıt tankı propan-bütan karışımından oluşan petrol gazını, sıcaklığına ve bileşen oranlarına bağlı olarak, basınç altında (%70 propan ve %30 bütan bileşimi için -15 °C'da 1.5 bar ve +35 °C'da 10 bar) ve sıvı fazda tutacak şekilde imal edilmiştir. Bu tüplerin:

- Test basıncı 30-45 (basınç emniyet valfi yok ise) bar,
- Yırtılma testi basıncı 100 bar,
- Malzemesi DIN 17100'e göre St 37-2 veya St 37-3'tür.

Tank üzerinde:

- %80 dolum sınırı, geri dönüşsüz, mekanik kilitlenmeli dolum valfi (uzaktan doldurulmalı tip de olabilir.)
- Basınç emniyet valfi (25 bar için ayarlı)
- LPG kullanma valfi (aşırı LPG debisi için sınırlamalı, el veya elektrik kumandalı)
- Yakıt miktarı göstergesi (gösterge ile iç mekanizma arasında doğrudan bağlantısız tip)

bulunmaktadır. [9]

Bu valflerin her biri tüp üzerine ayrı ayrı takılabilecekleri gibi hepsi tek bir gövde üzerinde de olabilir. Ancak bütün valfler, kaçak gazların tankın bulunduğu kısma (örneğin bagaj bölmesi) sızmasını önleyecek şekilde, sızdırmaz bir kapak ile örtülmelidir. Bu kapak valflerden olabilecek bir gaz sızıntısını dış ortama (atmosfere) taşıyacak bir havalandırmaya sahip olmalıdır. Havalandırma sistemi birer karşılıklı giriş ve çıkışla dış ortama açılmalıdır.

Yakıt tankının yalnızca hacim olarak %80'inin LPG ile doldurulması şartı emniyet açısından çok önemlidir. Çünkü örneğin, tank 15 °C'da %80 doldurulmuş ise basıncı 6.5 bar iken, sıcaklık 50 °C'a çıktığında basınç 16.8 bara çıkmakta, eğer

yakıt tankı 15 °C'da %90 doldurulmuş ise sıcaklık 50 °C'a çıktığında bütün tank hacmi sıvı gaz ile dolmakta ve basınç mukavemet sınırının çok üstünde değerlere çıkmaktadır. %80'lik dolum sınırını otomatik olarak kontrol eden valf dolum miktarını bir şamandıradan aldığından yakıt tankının araca takılma pozisyonu önemlidir ve montaj sırasında dikkat edilmesi gereken bir husustur.

5.8.1.2. Buharlaştırıcı-basınç regülatörü

Bu eleman motor bölmesine sıvı fazda gelen yüksek basınçlı petrol gazını genişleterek gaz fazına çevirirken, motorun tükettiği yakıt miktarını sağlayacak şekilde düzenlenmiş bir besleme basıncı sağlar.LPG'nin sıvı fazdan gaz fazına geçerken gerek duyduğu ısıнын büyük bir bölümü motor soğutma suyundan sağlanmaktadır.

Basınç düşürme ve regülasyon iki kademe de yapılmaktadır. Birinci kademedede LPG buharlaştırılıp basıncı 1.45-1.65 bara (mutlak) düşürülür. İkinci kademe çıkışı motora gaz yakıt sağlamaktadır. Bu kademenin çıkış basıncı, motorun dönme sayısı ve gaz keleşi açıklığının belirlediğı gaz yakıt debisini sağlayacak şekilde değışir. (1 bar civarında).

Basınç regülatörü, motor çalışmadığı sürece motora olan gaz akışını önleyecek, soğukta ilk harekette ise gerekli zenginlikte yakıt-hava karışımını sağlayacak ek donanımlara sahip olmalıdır. Bu, ikinci kademe giriş süpabına kumanda ederek ek gaz akışı sağlayan elektriksel kumandalı bir zenginleştirici ile sağlanmaktadır.

Basınç regülatörü, basınç regülasyon işini gövde içinde bulunan ve eksenel yönde hareketli membran ve supaplar ile sağladığından, bunların aracın ivmelerinden etkilenmemesi için, motor bölümü içinde eksen hareket yönüne dik kalacak şekilde monte edilmelidir ve seviyesi radyatör su seviyesinin mümkün mertebe altında kalmalıdır. [9]

5.8.1.3. Benzin ve LPG kumanda valfleri

Bunlar benzin ve yüksek basınçlı LPG boru devreleri üstünde bulunan ve elektriksiz durumda kapalı olan selenoid valflerdir. LPG valfi genellikle bir filitre ile donatılmıştır. Bu valfin test basıncı 50 bar'dır. [9]

5.8.1.4. Gaz karbüratörü

Karbüratör, gerekli HFK'nı sağlayacak miktarda petrol gazını motor emme havasıyla, mümkün mertebede homojen bir şekilde, karıştıran organdır. Motorun hava filitresi ile orjinal benzin karbüratörü girişine (giriş karbüratörü) veya karbüratör girişi ile gaz kelebeği arasına (ara karbüratör) takılabilir. Gaz karbüratörleri gerek gaz-hava karışımının sağlanması gerekse gaz debisi ölçme yöntemleri açısından çok çeşitli tiplerde olabilirler. Gaz akışı için gerekli regülatör tarafı-motor tarafı basınç farkını sağlamak ve homojen bir karışım elde edebilmek için genellikle çok delikli Venturi tipi karbüratörler kullanılmaktadır.

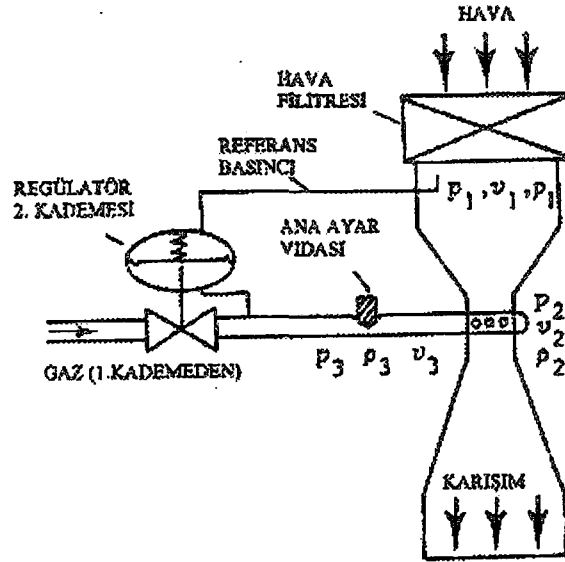
Belli bir motor hacmine kadar aynı regülatör ve aynı basınç seviyeleri kullanılmaktadır. Bu bakımdan, gerek motorun çalışma HFK'na gerekse orjinal karbüratör boyutlarına uyum sağlamak için her motor için ayrı boyutlarda ve özelliklerde gaz karbüratörü kullanılmaktadır. [9]

- Giriş tipi karbüratör, eğer hava filitresi ile motor kaputu arasında yer problemi doğurmuyorsa, optimum çözüm olmaktadır. Bunun yerleştirilmesi kolay ve maliyeti düşüktür.
- Ara tip karbüratör, eğer benzin karbüratörünün yapısı uygun ise (Venturi borusu ile gaz kelebeği ayrı parçalar üzerinde ise), ince olarak imal edilip kolaylıkla gaz kelebeğinden önce monte edilebilir. Bu uygulama daha iyi bir karışım oluşturma ve emisyon performansı sağlayabilmektedir.

En basit karbüratör ise orjinal benzin karbüratörünün Venturi borusu içine yerleştirilmiş tek bir borudan oluşmaktadır.

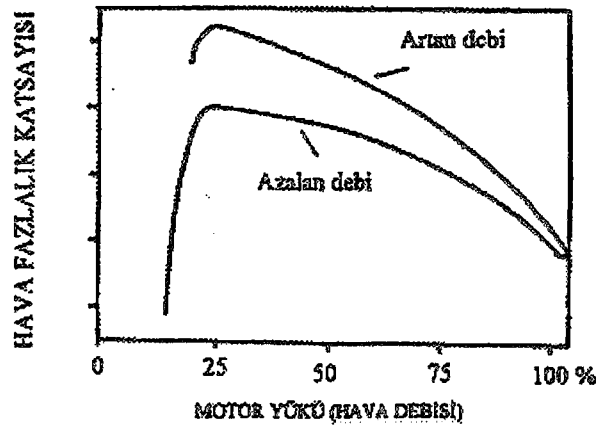
Gaz karbüratörü (Şekil 5.10), ideal olarak, motorun dönme sayısı ve gaz kelebeği açıklığının belirlediği hava debisinin sabit bir kesri (LPG için ve HFK=1 için bu 1/15.5 kadardır.) gaz yakıt debisini sağlamalıdır. Ancak bu şekilde sabit HFK ile çalışmak mümkün olur. Eğer karbüratördeki akış hızlarında havayı ve gazı sıkıştırılmaz kabul edecek olursak motorun hava debisi; $m_h = A_h [p_h (p_1 - p_2)]^{0.5}$ ve gaz debisi $m_g = A_g [p_g (p_3 - p_2)]^{0.5}$ olur. Burada p_1 = Hava filitresinden sonraki emme kanalı basıncı, p_2 = Gaz karbüratörü Venturi lülesindeki basınç ve p_3 = Gaz regülatörü ikinci kademe çıkış basıncı, A_h =Gaz karbüratörü Venturi lülesi dar kesit alanı, A_g =Gaz karbüratörü Venturi lülesindeki toplam gaz geçiş alanıdır. Sabit bir gaz -hava oranı (m_h/m_g) için $p_3=p_1$ (veya orantılı) olması gerektiği görülmektedir. Buna göre gaz regülatörünün ikinci kademesi gaz debisinden bağımsız olarak sabit p_3 basıncını

sağlamalıdır. Ancak p_1 basıncı emme filtresinden sonraki değer olduğu ve aerodinamik kayıplar nedeni ile hava debisine bağlı olarak değiştiği için regülatörün



Şekil 5.10 Venturi tipi gaz karbüratörü. [9]

sağladığı p_3 gaz besleme basıncının da paralel değişmesi gerekir. Bu nedenle basınç regülatörünün 2. kademesi referans basıncı için emme filtresinden sonraki bir noktaya bağlanabilir. Pratikte gerek hava ve petrol gazının sıkıştırılabilir oluşu, özellikle gaz devresindeki Reynolds sayısına bağlı sürtünme ve basınç kayıpları gibi etkilerle gerekse regülatörün istenen besleme basıncını sağlayamaması nedeniyle arzu edilen sabit gaz/hava oranı elde edilememektedir. Debinin artışı ve azalışı yönünde de farklı oranlar elde edilmesi gaz regülatörünün yapısından kaynaklanan histerizis kayıpları nedeniyledir. (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Venturi tipi karbüratör HFK karakteristiği.

Basınç regülatörü ile gaz karbüratörü arasında bulunan bir ana ayar musluğu ile gaz miktarı baz olarak kabul edilen HFK'nı verecek şekilde ayarlanmaktadır. Ancak bu ayar motorun tek bir çalışma noktasında yapılabilir. Bunun dışındaki noktalar istenen HFK'dan sapacaktır.

5.8.1.5. Yüksek basınçlı sıvı gaz taşıma borusu

Bu boru bakırdan olup basınçlı (6-10 bar) sıvı petrol gazını yakıt tankının LPG kullanma valfinden alarak motor bölmesine taşımaktadır. Bakır boru 45 bar ile test edilmiş, üstü plastik korumalı olmalı ve en az her 80 cm'de bir şasiye bağlanmalıdır. [9]

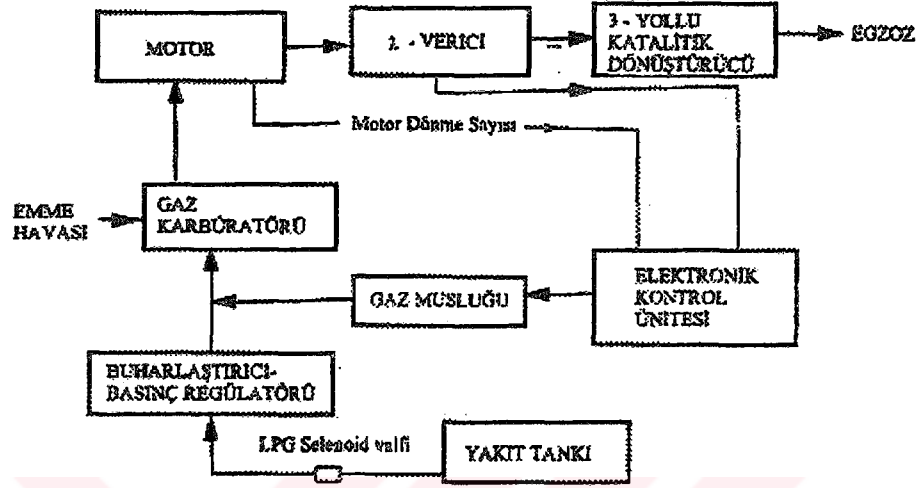
5.8.1.6. Düşük basınçlı gaz borusu

Bu boru buharlaştırıcı/regülatörden gelen gaz yakıtı gaz karbüratörüne taşır. Petrol gazının korozyon etkisine karşı dirençli ve 100 mbar'lık basınçlar için sızdırmaz olmalıdır. [9]

5.8.2. Gelişmiş LPG dönüşüm sistemleri

Benzin motorunun LPG ile çalışmasını sağlayan ve aynı zamanda EURO 93, hatta EURO 96 emisyon sınırlarını sağlayan 2. nesil sistem kapalı devre HFK kontrolü yapan sistemdir. (Şekil 5.12). Sistem ilk basit sistem elemanlarına ek olarak bir λ -vereciye (orjinal motorun vericisi), bu vericinin sinyalini (dönme sayısı, gaz kelebeği konumu ve motor sıcaklığı ile birlikte) değerlendiren elektronik kontrol ünitesine ve gaz debisini değiştiren debi ayar valfine sahiptir. Debi ayarı ya basınç regülatörü ikinci kademesi basıncı ile veya doğrudan düşük basınçlı gaz borusu üzerinde gaz debisi değiştirilerek yapılmaktadır. Bu debi ayar valfine, HFK=1 şartını sağlamak amacıyla elektronik kontrol ünitesinden aldığı sinyal ile çalışan elektrikli adım motoru ile kumanda edilmektedir. Elektronik kontrol ünitesi orjinal motorun elektronik kontrol ünitesinden farklıdır ancak bu orjinal üniteyle paralel çalışmaktadır ve sadece HFK kontrolü işini üstlenmiştir. Elektronik kontrol üniteleri genellikle öğrenen sistemler olup böylece benzer çalışma şartları durumunda hızlı kararlar vererek HFK'nı hassas bir şekilde sabit tutmak mümkün olmaktadır.

Böyle bir LPG dönüşüm sistemi ile EURO 93 sınırlarının çok altında emisyon değerleri elde etmek olanaklıdır. [11]



Şekil 5.12 HFK kontrollü LPG dönüşüm sistemi şeması. [11]

Petrol gazıyla çalışmaya dönüştürülmüş motorlarda, gaz karbüratörü emme manifoldu girişine konulduğu için tüm emme manifoldu patlayabilir gaz-hava karışımı ile doludur. Bu durumda, dinamik doldurmadan faydalanan, uzun emme borulu modern motorlarda meydana gelen emme kanalı patlamaları çoğu kez sistemleri tahrip edici boyutlarda olabilmektedir.

Bu nedenle, bir çok yeni motorda, her silindire ayrı ve supap önüne yapılan benzin püskürtmesine benzer şekilde, her silindirin emme kanalına, emme supabına en yakın bir yere gaz püskürtmesi yapılmaktadır. Bu şekilde emme kanalı yalnızca hava ile dolu kaldığından geri patlamalar önlenmektedir. Gaz enjektörü, geri akış önleme valfine sahip basit bir orifis şeklindedir.

Henüz araştırma safhasında olan, silindirlerin emme kanallarına sıvı petrol gazı püskürtmesi yapan daha gelişmiş sistemler de mevcuttur.

Deneyler de kullanılan Renault 12 motorunda da silindirlerin emme supabının oturma yüzeylerine LPG direkt olarak gönderilmiştir.

5.9. Çeşitli LPG Dönüşüm Sistemleri

Avrupa ülkelerinde kullanılmakta olan LPG dönüşüm sistemleri genel yapıları bakımından Hollanda ve İtalyan sistemleri olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Bu sistemler arasındaki en belirgin farklılık yakıt tankı donanımıdır. Hollanda sisteminde yakıt tankı donanımı dolum valfi, yakıt seviye göstergesi, basınç emniyet valfi ve %80 dolumda devreye giren sınırlandırıcıdan oluşmaktadır. Bu elemanlar tank üzerinde ayrı ayrı yer almaktadır. İtalyan sisteminde ise basınç emniyet valfi yoktur. Donanımın diğer elemanları ise tek bir ünite halinde bulunmaktadır ve multivalf olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca yakıt dolum ağzının şekli de her iki sistemde farklıdır. Dolayısıyla yakıt istasyonlarındaki pompaların ağzları da farklı yapıdadır. Bunun dışında sistemler prensipte aynıdır.

Farklı yapıdaki LPG dönüşüm sistemleri aşağıda tanıtılmıştır.

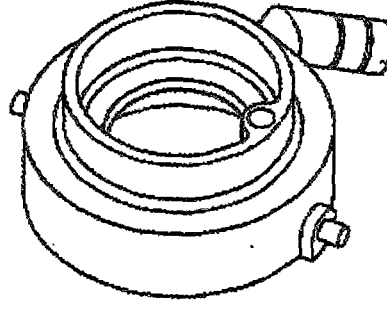
5.9.1. Lovato Autogas

Lovato tarafından geliştirilen LPG dönüşüm sistemleri İtalyan Ulaştırma Bakanlığı tarafından yayınlanmış olan 341-351 sayılı yönetmenliklerine uygundur. Ayrıca bu donanım elemanları ECE R 67 yönetmeliği şartlarını da sağlamaktadır.

Karbüratörlü ve yakıt püskürtmeli motorlar için ayrı sistemler mevcuttur. Her iki sisteminde aşırı doldurmalı motorlar için ayrı donanımları bulunmaktadır. Karbüratörlü motorlarda kullanılan donanım ayrıca standart donanım ve elektronik kontrollü donanım olarak ikiye ayrılmaktadır.(Şekil 5.13 ve Şekil 5.14). Her iki sistemde de ana elemanları karbüratördeki gaz karıştırıcı (2), maksimum LPG debisi için ayar supabı (4), basınç regülatörü (6), LPG (12) ve benzin (13) akışını kesmek için selenoid valfler, motor soğutma suyu regülatör bağlantısı (7), yakıt tankı, tank üzerindeki multivalf (5), benzin-LPG seçici düğme, yakıt seviye göstergesi ve yakıt boruları oluşturmaktadır. Elektronik kontrollü sistemde ayrıca elektronik kontrol ünitesi (10) yer almaktadır. Bu ünite sürücü tarafından yapılması gereken bazı işleri (ilk hareket esnasında yakıtı zenginleştirmek gibi) üstlenmiştir.

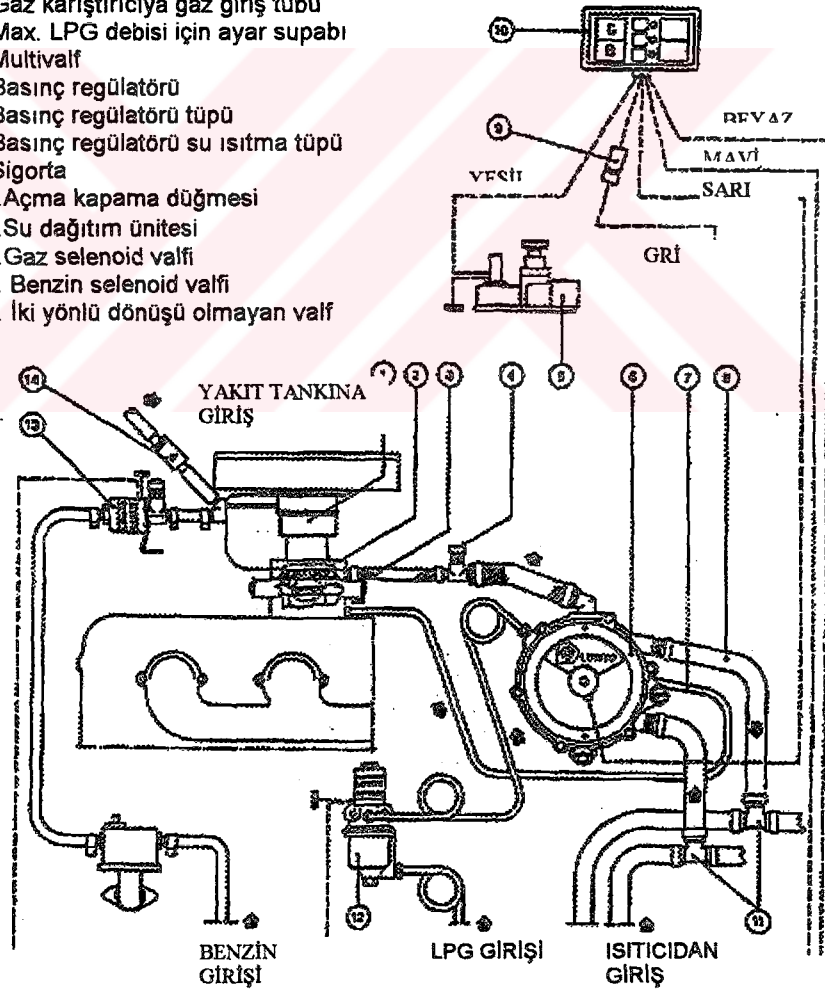
5.9.1.1. Sistemin elemanları

Gaz karıştırıcı karbüratörün üst kısmında yer almaktadır ve takılabilmesi için motorun üzerinde 40 mm kadar bir boşluğa gerek vardır.



Şekil 5.15 Lovato 756018 gaz karıştırıcı. [9]

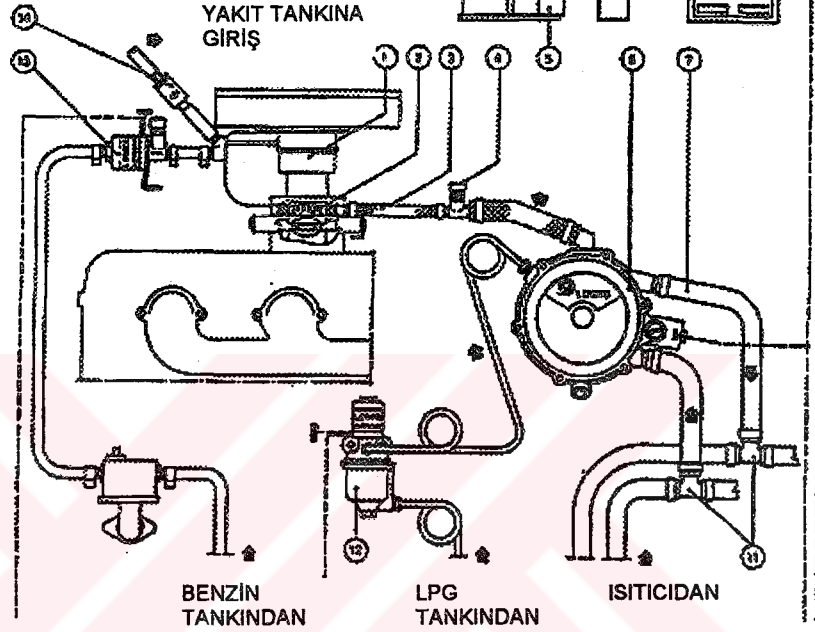
1. Karbüratör
2. Gaz karıştırıcı
3. Gaz karıştırıcıya gaz giriş tübü
4. Max. LPG debisi için ayar supabı
5. Multivalf
6. Basınç regülatörü
7. Basınç regülatörü tüpü
8. Basınç regülatörü su ısıtma tüpü
9. Sigorta
10. Açma kapama düğmesi
11. Su dağıtım ünitesi
12. Gaz selenoid valfi
13. Benzin selenoid valfi
14. İki yönlü dönüşü olmayan valf



Şekil 5.13 Lovato standart LPG donanımı. [9]

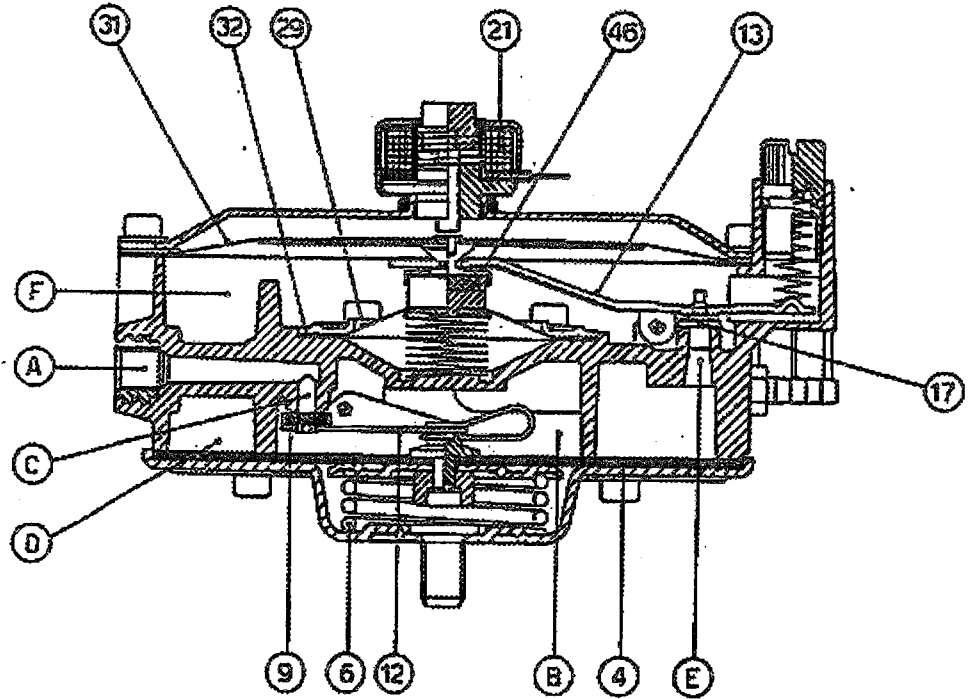
- 1.Karbüratör
- 2.Gaz karıştırıcı
- 3.Tüpe gaz girişi
- 4.Max. LPG debisi için ayar supabı
- 5.Multivalf
- 6.Elektronik basınç regülatörü
- 7.Basınç regülatörü su ısıtma tüpü
- 8.Sigorta
- 9.Açma kapama düğmesi
- 10.Elektronik kontrol kutusu
- 11.Su dağıtma ünitesi
12. Gaz selenoid valfi
13. Benzin selenoid valfi
- 14.İki yönlü dönüşü olmayan valf

AÇMA ANAHTARINA



Şekil 5.14 Lovato elektrik kontrollü LPG sistemi. [9]

Standart donanımda kullanılan regülatör, iki kademeli olarak gaz basıncını düşürmektedir.(Şekil 5.16). İlk kademe sonunda gaz basıncı 0.45- 0.65 bar mertebesine düşürülmektedir. İkinci kademe odacığı ise motorun karbüratöründe bulunan gaz karıştırıcıya bağlantılanmış olup, burada yaratılan vakuma göre gaz miktarını ayarlamaktadır. Regülatör üzerinde ilk hareket sırasında birinci kademeye kumanda ederek motora bir miktar zengin karışım göndermek için bir düzenek yer almaktadır.(Şekil 5.17). Bu düzenek bir elektrik bağlantısı ile benzin-LPG seçici şalter kutusuna bağlantılanmıştır. Elektronik kontrollü regülatörde ise bu düzenek yoktur.(Şekil 5.18). [9]



Şekil 5.16 Buharlaştırıcı - basınç regülatörü. [9]

Buharlaştırıcı-basınç regülatöründe kullanılan parçaların listesi ve işlevleri hakkında kısa açıklamalar :

- A - Sıvı LPG yakıt tankının selenoid valfinden basınç altında besleme kanalına geliş.
- B - Birinci aşama gaz basıncı azaltma odasına giriş.
- C - Besleme orifizi.
- D - Isı kaybını kompensene etmek için motorun soğutma sisteminden gelen suyun sirküle edildiği oda.
- E - LPG' nin ikinci aşama gaz basıncı düşürülme odasına giriş orifizi.
- F - İkinci aşama gaz basıncı düşürülme işlemi yapılan oda.
- 4 - Basınç düşürülmesi için gazın harcandığı membran.
- 6 - Manivela kolunun hareketini besleme orifizinin kontrol valfine iletmek için kalibre edilmiş yaylar.
- 9 - Besleme orifizinin kontrol valfi.
- 12 - Besleme orifizini kapatan manivela kolu.

13- İndüksiyon sonucu basınç azaltıcının merkezine doğru hareket eden membranin hareketi sonucu manivela kolu birinci aşama gaz basıncı düşürülme odasından ikinci aşama gaz basıncı düşürülme odasına geçişi kontrol eder.

17 - Gazın ikinci aşama odasına girişini ayar eden valf.

21 - Motorun mekanik veya elektrikli parçalarında bir bozukluk olması durumunda devreye giren elektrikli acil durum marş motoru.

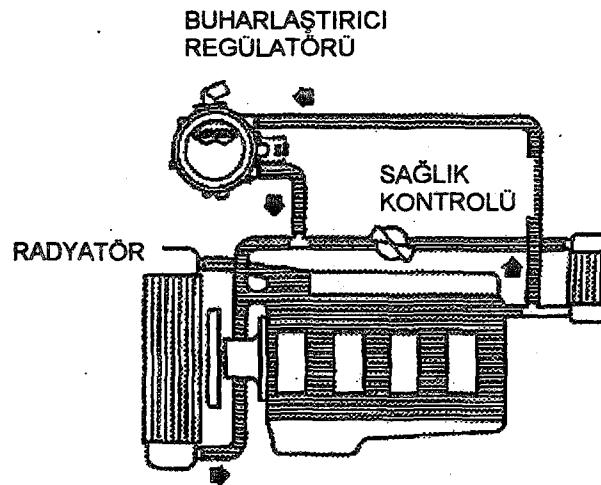
29 - Karbüratör gaz kelebeğinin önünde oluşan basınç düşmesini emen membran.

31 - Eğer gaz karıştırıcı da emme azalması olması durumunda karşı basınç oluşturulan membran.

32 - Motorun çalışmaması durumunda 17 nolu valfin gaz kaçırmamasını sağlayan yaylar.

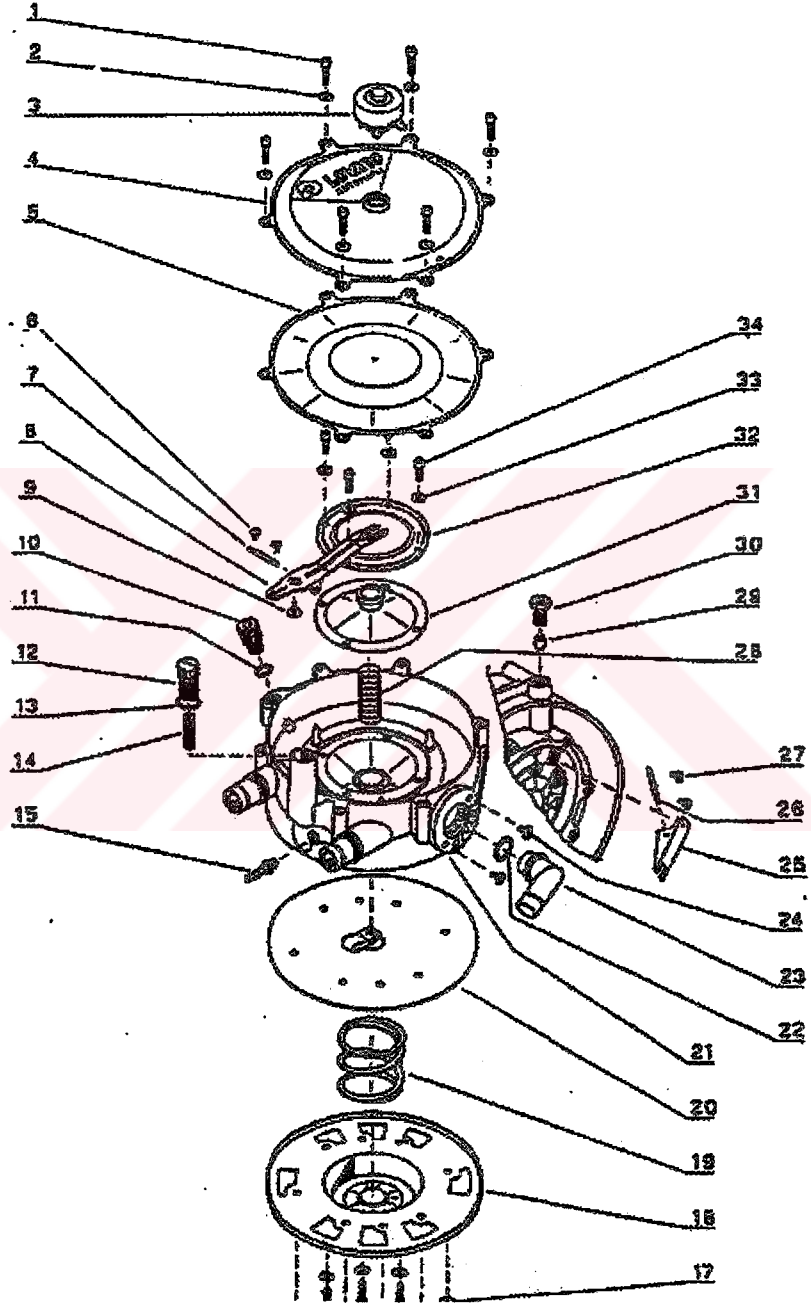
46 - 29 nolu membran ile birlikte çalışan bu mıknatıs, ne zaman motor çalışırsa çalışsın 13 nolu manivela kolu üzerinde geçici bir çekiş yaratır; bu da bir miktar ekstra gaz geçişine izin verir.

Regülatörde, sıvı halindeki LPG motorun soğutma suyu ısısından yararlanılarak buharlaştırılmaktadır.(Şekil 5.17). Bu nedenle regülatörün motor üzerinde radyatör seviyesinin altındaki bir konuma yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca taşıtın ivmelenmesi sırasında regülatör elemanlarının (diyafram vb.) etkilenecek ayarların bozulmaması için regülatör ekseninin taşıtın hareket doğrultusuna dik olması gerekmektedir.



Şekil 5.17 Buharlaştırıcı - regülatörün motor suyu devresine bağlantısı. [9]

STANDART LPG
BUHARLAŞTIRICI - BASINÇ
REGÜLATÖRÜ

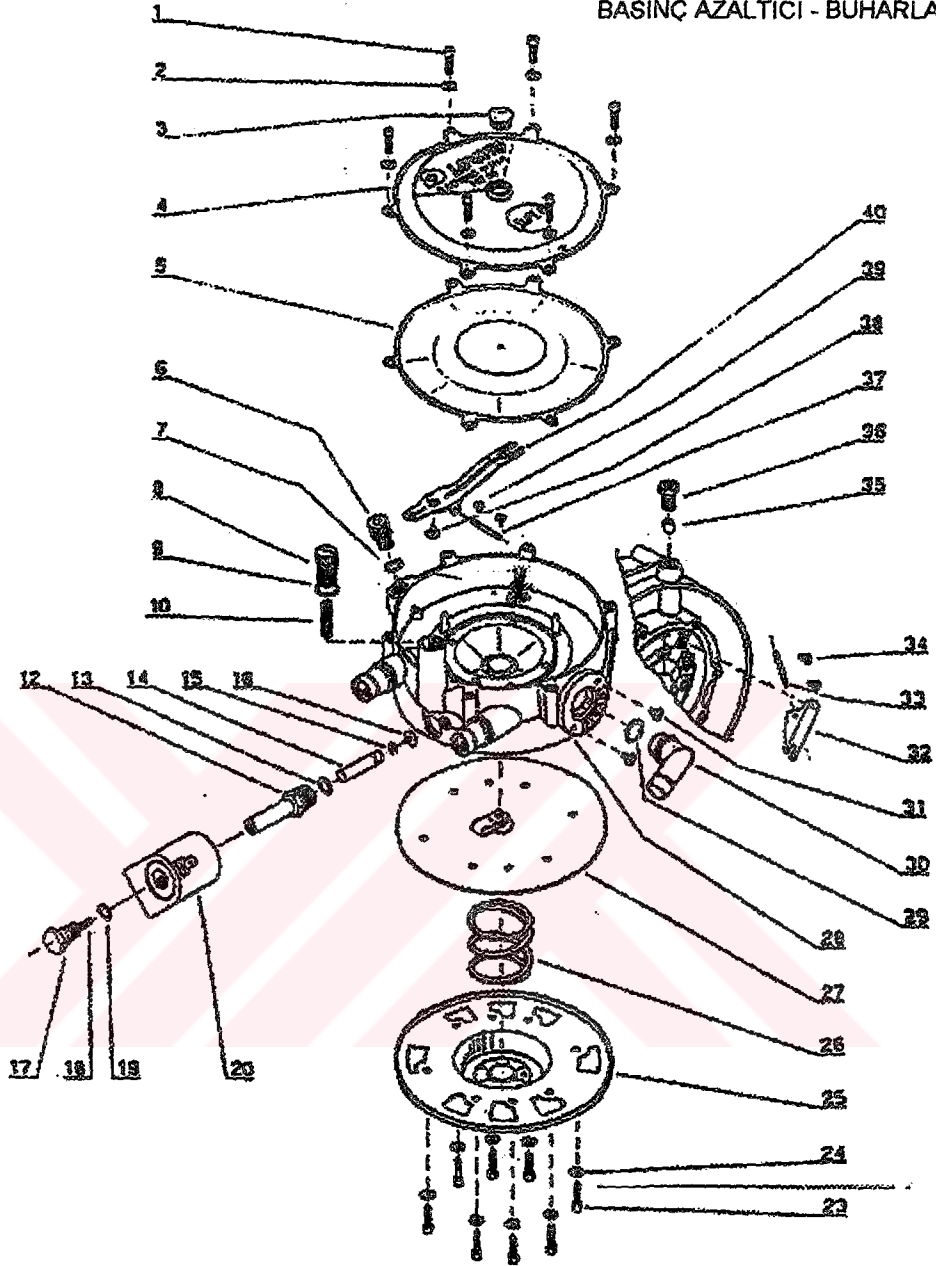


Şekil 5.18 Lovato standart regülatör elemanları. [9]

Lovato standart regülatör elemanları parça listesi :

- 1 - TCCE M5x14 vida
- 2 - Yay rondelası.
- 3 - Elektrikli marş motoru.
- 4 - İkinci aşama kapağı.
- 5 - İkinci aşama membranı.
- 6 - TC M4x6 vida..
- 7 - Silindirik pim.
- 8 - İkinci aşama kaldıraç.
- 9 - İkinci aşama kaldıraç dayanağı.
- 10 - Yağ boşaltma tapası.
- 11 - OR sızdırmazlık halkası.
- 12 - Minimum akış ayar vidası.
- 13 - OR sızdırmazlık halkası.
- 14 - Minimum akış ayar yayı.
- 15 - Basınç düşürücü konnektör.
- 16 - TCCE M5x14 vida.
- 17 - Yay rondelası.
- 18 - Birinci aşama kapağı.
- 19 - Birinci aşama membran yayı.
- 20 - Birinci aşama membranı.
- 21 - Azaltıcı gövde.
- 22 - OR sızdırmazlık halkası.
- 23 - Gaz çıkış borusu.
- 24 - TCI M4x6 vida.
- 25 - Birinci aşama kaldıraç.
- 26 - Silindirik pim.
- 27 - TCI M4x6 vida.
- 28 - Basınç verici yay.
- 29 - Çift konikli sızdırmazlık halkası.
- 30 - Bağlantı.
- 31 - Basınç verici membran.
- 32 - Basınç verici membran kapağı.
- 33 - Yay rondelası.
- 34 - TCCE M5x10 vida.

ELEKTRONİK LPG
BASINÇ AZALTICI - BUHARLAŞTIRICI



Şekil 5.19 Lovato elektronik regülatör. [9]

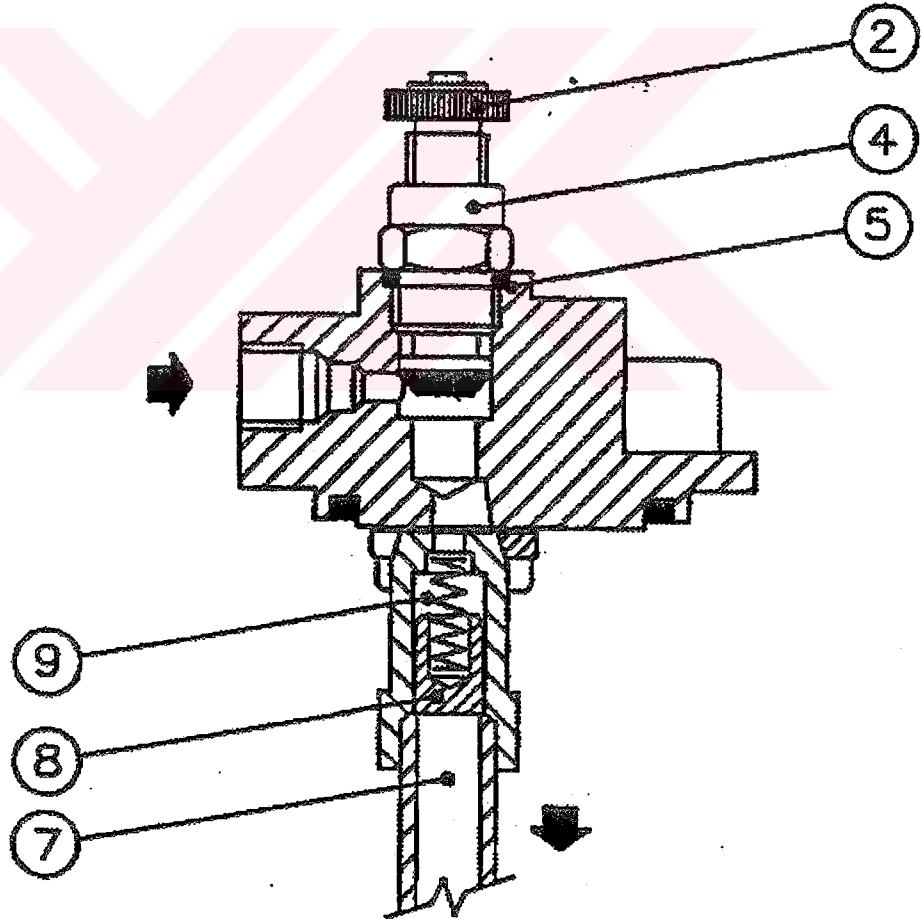
Lovato elektronik regülatör elemanları parça listesi :

1 - TCCE M5x14 vida.

2 - Yay rondelası.

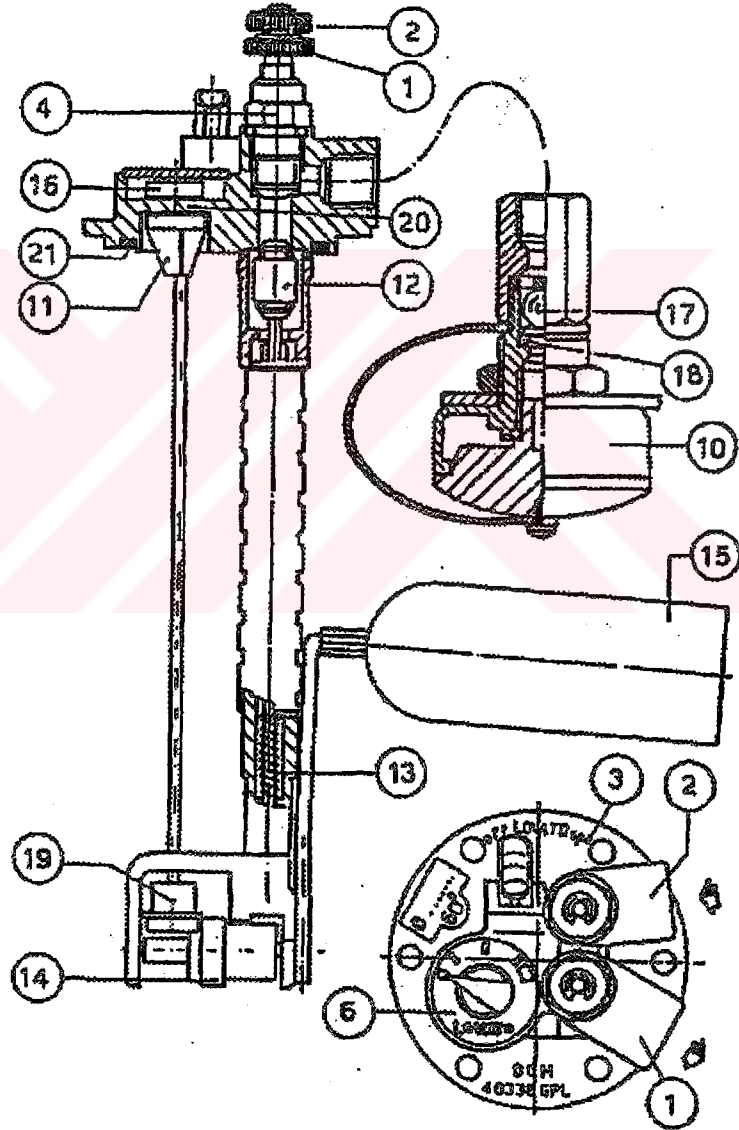
- 3 - Tapa.
- 4 - İkinci aşama kapağı.
- 5 - İkinci aşama membranı.
- 6 - Yağ boşaltma buşonu.
- 7 - OR sızdırmazlık halkası.
- 8 - Minimum akış ayar vidası.
- 9 - OR sızdırmazlık halkası.
- 10 - Minimum akış ayar yayı.
- 12 - Basınç düşürücü boru ağzı.
- 13 - OR sızdırmazlık halkası.
- 14 - Piston.
- 15 - Rondela.
- 16 - Keçe.
- 17 - Sabit göbek.
- 18 - Yay.
- 19 - OR sızdırmazlık halkası.
- 20 - Bobin.
- 23 - TCCE M5x14 vida.
- 24 - Yay rondelası.
- 25 - Birinci aşama kapağı.
- 26 - Birinci aşama membran yayı.
- 27 - Birinci aşama membranı.
- 28 - Azaltıcı gövde.
- 29 - OR sızdırmazlık halkası.
- 30 - Gaz çıkış borusu.
- 31 - TCI M4x6 vida.
- 32 - Birinci aşama kaldıraç.
- 33 - Silindirik pim.
- 34 - TCI M4x6 vida.
- 35 - Çift konikli sızdırmazlık halkası.
- 36 - Bağlantı.
- 37 - Silindirik pim.
- 38 - İkinci aşama kaldıraç dayanağı.
- 39 - TCCE M5x10 vida.
- 40 - İkinci aşama kaldıraç.

Lovato tarafından temin edilen, multivalf şeklindeki yakıt tankı bağlantıları İtalyan ve Hollanda sistemlerine göre iki tipte imal edilmektedir. (Şekil 5.20). Bu sistemde yakıt tankı bağlantıları tek bir bağlantı elemanı üzerinde yer almakta ve bu komponent üzerinde yakıt dolum, yakıt besleme, basınç tahliye ağzları ve yakıt seviyesi göstergesi bulunmaktadır. İtalyan sisteminde ayrı bir basınç tahliye supabı bulunmamaktadır. Burada yakıt dolum ağzı (1), %80 dolumda yakıt girişini kesme sistemi (2), yakıt seviye göstergesi (6) bulunmaktadır. (Şekil 5.21) .Dolum elemanı üzerinde ise sızdırmazlık sağlayan bir kutu yer almaktadır.(Şekil 5.22). Bu kutu yakıt deposunun kapalı hacimlerde (taşıtın bagajında) bulunduğu durumlarda, dış ortam ile bağlantılanarak gerekli havalandırma sağlanmaktadır. Ayrıca vana vb. elemanları çamur, toz gibi etkenlerden de korumaktır. İtalya dışındaki ülkelerde kullanılmak üzere imal edilmiş olan diğer tip multivalf ünitelerinde ise basınç tahliye supabı bulunmaktadır. İtalyan yönetmenliklerinde bu supabın yakıt tankı üzerinde yer alması önlenmiştir. [9]



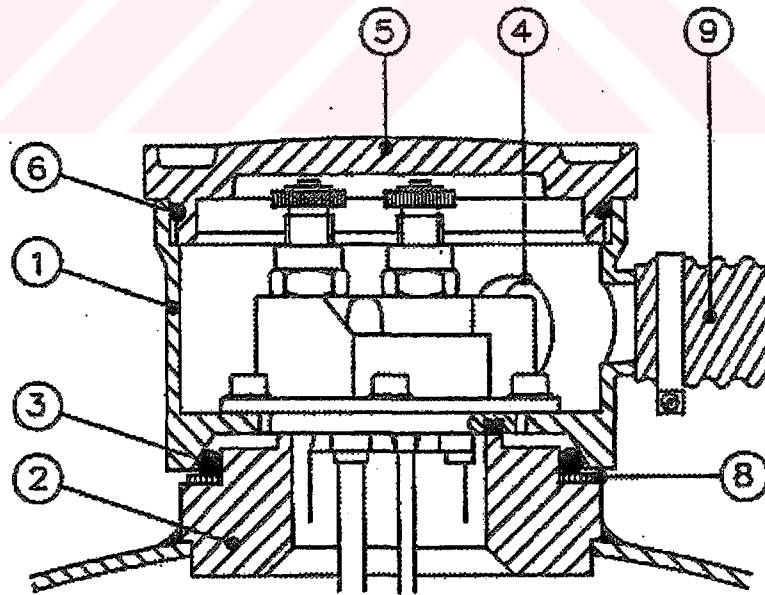
Şekil 5.20 Multivalf başlığı. [9]

- 2 - Dışarı çıkış kanalı kapatma tapası.
- 4 - Cıvata.
- 5 - Sızdırmazlık contası.
- 7 - Akışkanın geçtiği kanal.
- 8 - Fazla akış kontrol valfi.
- 9 - Kalibre edilmiş yaylar.



Şekil 5.21 Lovato multivalf sistemi. [9]

- 1 - Yakıt dolum ağızı.
- 2 - %80 dolumda yakıt girişini kesme sistemi.
- 3 - Gövde.
- 4 - Cıvata.
- 6 - Yakıt gösterge seviyesi.
- 10 - Gövde.
- 11 - Sürekli mıknatıs.
- 12 - Gaz sızmasını önlemek için kullanılan kontrol valfi.
- 14 - Dişli pinyonu.
- 15 - Şamandıra.
- 16 - Gösterge.
- 17 - Gaz sızmasını önlemek için kullanılan kontrol valfi.
- 19 - Kavrama tertibatı.
- 20 - Metalik diyafram.
- 21 - Lastik conta.

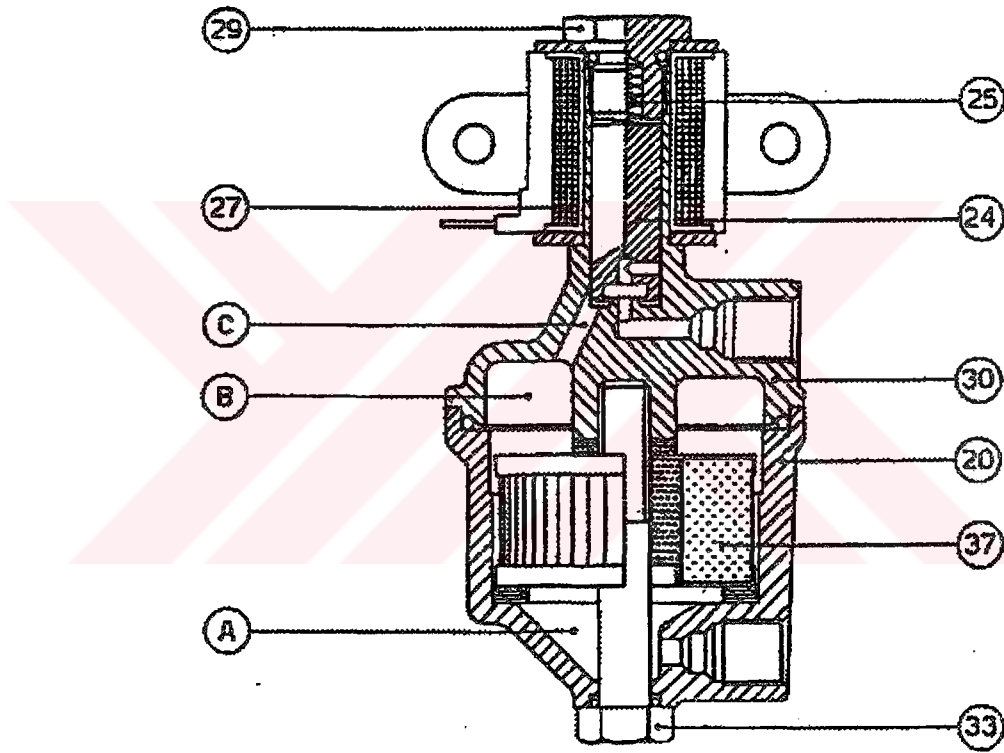


Şekil 5.22 Yakıt tankı donanımı sızdırmazlık kutusu. [9]

- 1 - Konteyner gövde,.
- 2 - Yakıt tankı flanşı.

- 3 - Conta.
- 4 - Havalandırmaya açılan kanal.
- 5 - Kapak.
- 6 - O halkalı conta.
- 8 - Ara halkaları.
- 9 -Havalandırma tübü.

Taşıtın motoru durdurulduğunda veya benzinle çalıştırıldığında LPG akışını kesmek için bir selenoid valf kullanılmaktadır.(Şekil 5.23). Bu valfin içinde ayrıca bir yakıt filitresi yer almaktadır.

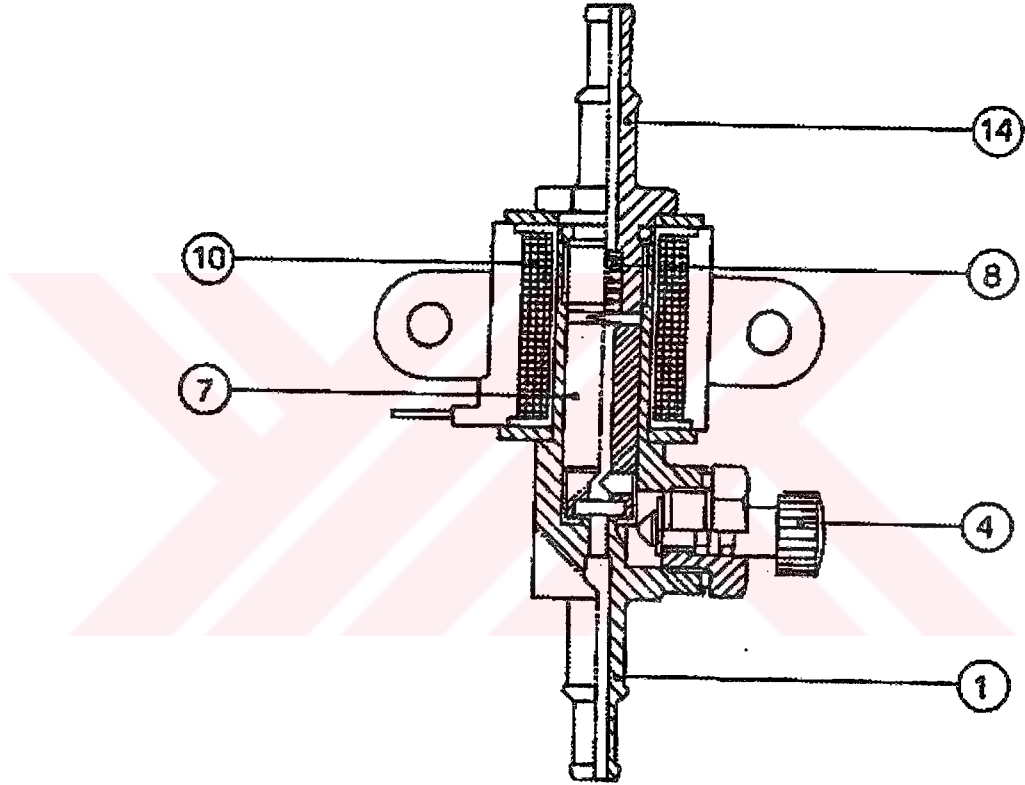


Şekil 5.23 Lovato LPG selenoid valfi. [9]

- A - Süzgeç odası.
- B - Akışkanın selenoid valfin üst kısmına geçmeden önce bulunduğu oda.
- C - Akışkanın selenoid valfin üst kısmına geçtiği kanal.
- 20 - Selenoid valf kutusu.
- 24 - LPG dışarı çıkış borusuna kumanda eden valf.
- 25 - Yay.
- 27 - Bobin.

- 29 - Elektromanyetik kutup.
- 30 - Selenoid valfin gövdesi.
- 33 - Cıvata.
- 37 - Filtre.

Ayrıca yakıt pompası ile karbüratör arasına yerleştirilen bir selenoid valf ile, motor LPG ile çalıştırıldığında benzin akışı kesilmektedir.(Şekil 5.24).



Şekil 5.24 Lovato benzin selenoid valfi. [9]

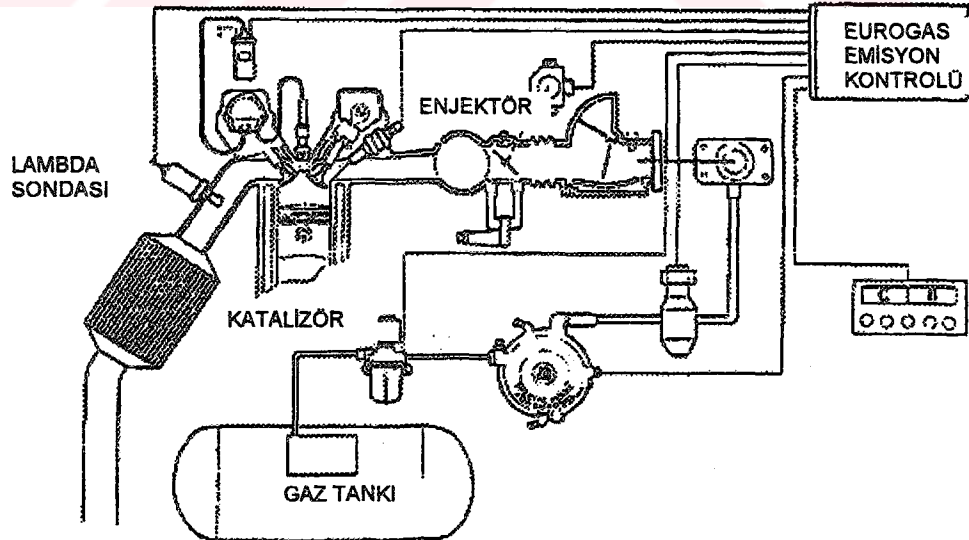
- 1 -Benzin tahliye kanalı.
- 4 - Ayar vidası.
- 7 - Benzinin tahliye kanalına gitmek için geçtiği valfin merkezi.
- 8 - Yay.
- 10 - Bobin.
- 14 - Bağlantı.

Dolum ağzından yakıt tankına kadar ki bölümde 8 mm, yakıt tankından regülatöre kadar ki kısımda ise 6 mm bakır yakıt borusu kullanılmaktadır. Boruların cidar kalınlığı 1 mm olup, standartlara göre üzeri plastik kaplanmaktadır. Regülatör sonrasında ise 12 mm çapında özel lastik hortum kullanılmaktadır.

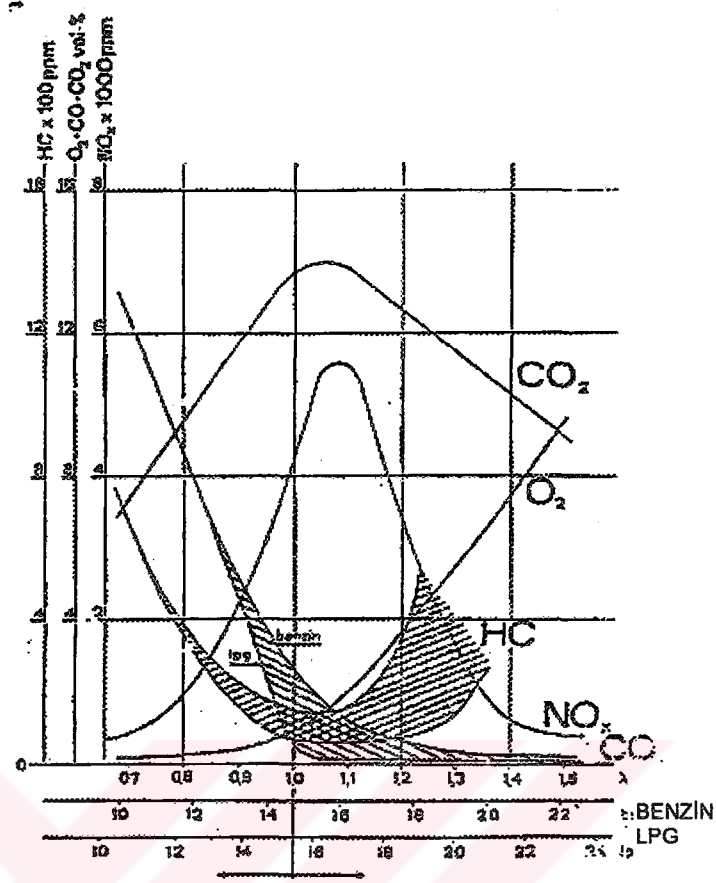
5.9.2. Eurogas

Eurogas, mevcut motorun yapısına uyum sağlayacak şekilde açık ve kapalı devreli LPG dönüşüm sistemleri üretmektedir. Hollanda' da uygulamaya konulan açık devreli 1. nesil LPG dönüşüm sistemleri karbüratörlü taşıtlar için yapılmaktadır. Bu sistemde ayrıca rölanti ayarı için ikinci step motor kullanılarak HFK' nın hassas olarak ayarlanması sağlanabilmektedir.

Eurogas tarafından ayrıca elektronik-mekanik kontrollü LPG dönüşüm sistemleri de üretilmektedir. (Şekil 5.25). Bu sistemde benzin püskürtmeli motorların, motor parametrelerine ilişkin değerler bir elektronik devre ile değerlendirilerek, LPG sistemine kumanda edilmektedir. Benzin motoru ile karşılaştırmalı olarak egzoz emisyonları sonuçları Şekil 5.26'da görülmektedir. [12]



Şekil 5.25 Eurogas elektronik kontrollü LPG sistemi. [12]



Şekil 5.26 Benzin ve LPG için karşılaştırmalı emisyon değerleri. [12]

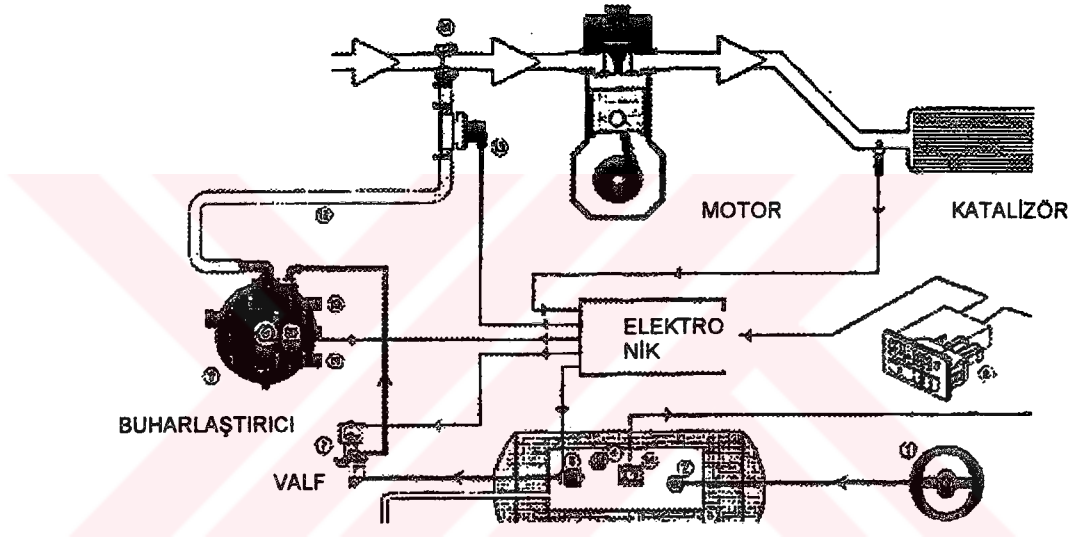
5.9.2.1. Sistemin elemanları

Eurogas sistemlerinde özel olarak imal edilmiş İtalyan Landi Renzo regülatör kullanılmaktadır. ECE LPG elektronik kontrollü donanımda SIC tipi regülatör üzerinde selenoid valf ile rölanti ayarı yapılmaktadır. Rölanti sistemi ayrıca ilk hareket sırasında gönderilen yakıt miktarını da kontrol etmekte ve böylece her ortam sıcaklığında motorun kolay ilk hareketi sağlanabilmektedir.

Emniyetin sağlanması, lamda kontrolü, hız kesme durumunda yakıt kesme, LPG seviyesi göstergesi vb. fonksiyonları bu eleman sağlamaktadır. Ayrıca lamda sensörünü simüle edebilmekte ve çok noktadan benzin püskürtmeli motorlarda ilk hareketin benzinle verilmesini de sağlamaktadır. [12]

5.9.3. AG autogas

AG Autogas firması motor gücü 80 kW değerinin altında olan taşıtlar için AG-2000 ve 80 kW değerinin üstündeki taşıtlar için de AG-2000 H regülatör sistemlerini geliştirmiştir. Bu sistemler mekanik ve elektronik olarak kontrol edilebilmektedir.(Şekil 5.27). Bu sistemin elemanları ECE R 67 regülasyonlarını sağlamaktadır. [13]



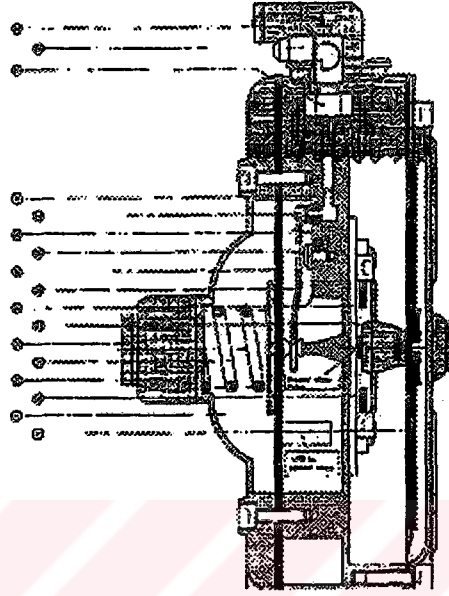
Şekil 5.27 Autogas LPG sistemi elemanları. [13]

5.9.3.1. Sistemin elemanları

AG-2000 regülatör yakıt tankındaki LPG basıncını sabit olarak 0.6 bar değerinde tutacak şekilde çalışmakta ve buharlaştırılan yakıtı motorun ihtiyacına göre ayarlayarak göndermektedir.(Şekil 5.28). Bu regülatör de iki kademeli olarak çalışmaktadır.

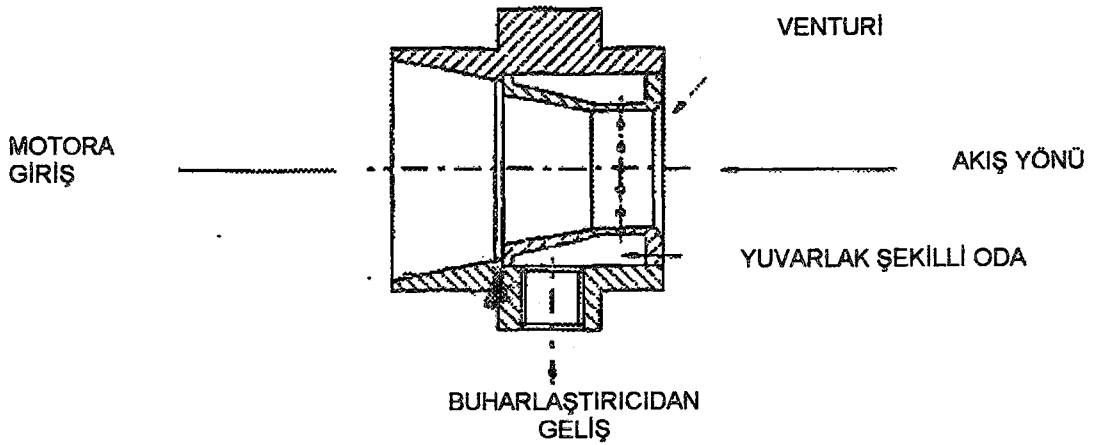
Gaz karıştırıcı, motorun yük durumuna bağlı olarak yaratılan vakum değerinden etkilenecek regülatörün sağladığı yakıtı bir venturi lülesi yardımıyla hava ile karıştırmaktadır. (Şekil 5.29). Motorun karbüratörü veya benzin püskürtmeli

oluşuna göre gaz karıştırıcısının bağlandığı yer değişmektedir. Karbüratörü ve tek noktadan püskürtmeli taşıtlarda gaz karıştırıcı hava filtresi muhafazası içine monte edilir. [13]



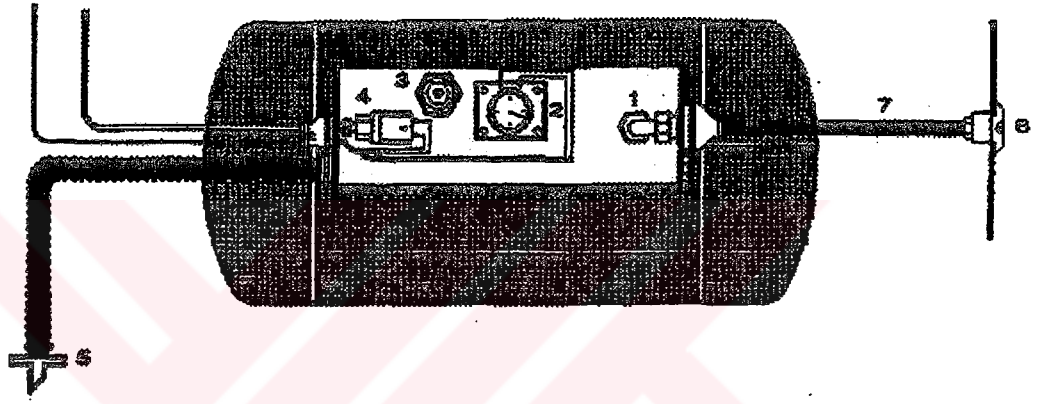
Şekil 5.28 Autogas regülatörü - birinci kademe. [13]

Regülatör ile gaz karıştırıcı arasında ise ana kontrol elemanı yerleştirilerek gönderilen yakıt miktarının ilk ayarı sağlanmaktadır.(Şekil 5.32). Bu elemanın mümkün olduğunca gaz karıştırıcıya yakın monte edilmesi gerekmektedir. Elektrik kontrollü sistemde ise bu eleman bir step motor ile ayarlanmaktadır.

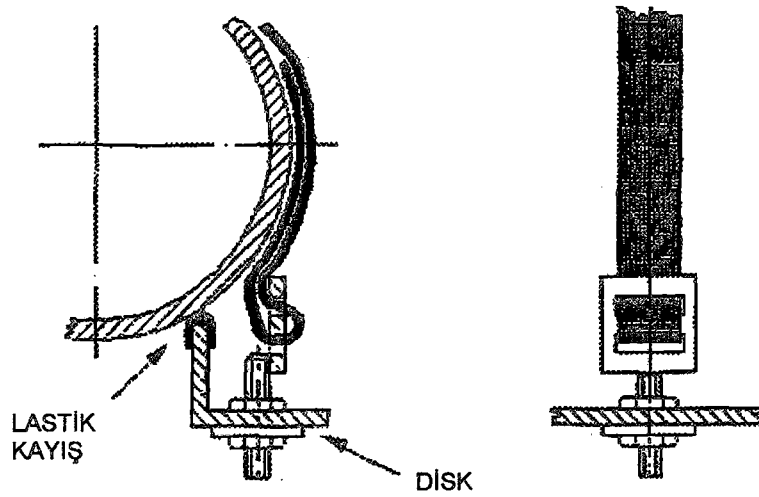


Şekil 5.29 Autogas gaz karıştırıcı. [13]

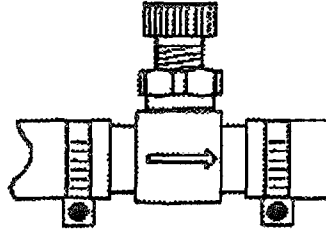
Sistem üzerinde benzin ve LPG akışını kesen valfler vardır. Yakıt tankından regülatöre LPG aktaran bakır yakıt boruları 6 mm dış çapa sahip olup, dış yüzeyleri sentetik malzeme ile kaplanmıştır. Yakıt tankı İtalyan sistemlerinden farklı yapıdadır. Burada multivalf yerine bir muhafaza içine yerleştirilmiş olarak dolum ağzı, yakıt göstergesi, basınç tahliye supabı, yakıt besleme ağzı ve havalandırma ağzı bulunmaktadır.(Şekil 5.30). Yakıt tankı metalin metale temasını önleyecek şekilde lastik kayışlar ile tesbit edilmektedir.(Şekil 5.31). [13]



Şekil 5.30 Yakıt tankı ve donanımı. [13]



5.31 Yakıt tankı bağlantı donanımı. [13]



Şekil 5.32 Autogas ana gaz musluğu. [13]

5.10. LPG Kullanımı İçin Ekonomiklik Sınırı

LPG, kısıtlı olarak doğrudan doğal kaynaklardan elde edilmekte, ancak genellikle ham petrolün damıtılması sırasında %10-15 oranlarında yan ürün olarak üretilmekte ve bir çok ülkede mutfak, ısınma ve otomatik maksatları için tüketilmektedir. Avrupa ülkeleri içinde otomatik maksatlı LPG tüketimi, toplam otomatik maksatlı tüketimin %15.5'i ile, en yüksek oranda Hollanda'da yapılmaktadır. Bu tüketimin gerçekleşmesi için Hollanda'da benzin istasyonlarının %34'ünde LPG satışı yapılmaktadır. Hollanda binek ve minibüs araç parkının %10'u olan yaklaşık 600000 araç LPG ile çalışacak şekilde dönüştürülmüştür. Bu oran İtalya için %4.5 ve Fransa için %1.5'tir. Her ne kadar rafineri çıkış maliyeti gerek benzinin gerekse dizel yakıtının altında ise de miktarının kısıtlı olması nedeniyle bir çok ülkede otomatik maksatları için kullanımı sınırlandırılmaktadır. Örneğin Avrupa ülkeleri bu sınırlandırmayı LPG sistemi ile donatılmış taşıta ek vergi uygulayarak sağlamaktadır. Tablo 5.7'de, örnek olarak, Hollanda'daki fiyatlar ve bu yıl içindeki fiyat salınımları verilmiştir. [13]

Tablo 5.7 Hollanda için otomatik maksatlı yakıt fiyatları karşılaştırılması
(1994 yılı için). [13]

	Kurşunsuz(süper)	Dizel	LPG
Rafineri çıkış fiyatı	0.534 Hfl	0.453 Hfl	0.408 Hfl
Vergili fiyat	1.95 Hfl	1.33 Hfl	0.550 Hfl
Yıllık fiyat salınımı	%7	%5.5	%5.5

Böylece LPG'ye dönüşüm, taşıt ancak yıllık belli bir km'nin üstünde yol yapıyorsa ekonomik olmaktadır. Bu sınır örneğin Hollanda için 25000 km'nin, İtalya

Böylece LPG'ye dönüşüm, taşıt ancak yıllık belli bir km'nin üstünde yol yapıyorsa ekonomik olmaktadır. Bu sınır örneğin Hollanda için 25000 km'nin, İtalya için 15000 km'nin üstüdür. Ek vergilendirme yoluyla genellikle özel taşımacılıkta LPG sınırlandırılırken, şehir içinde çalışan ve yıllık katettiği yol fazla olan taksi ve minibüs gibi taşıtlar LPG çalışmasına dönüştürülmeye özendirilmektedir. Böylece örneğin Hollanda'da, 1994 istatistiklerine göre ortalama olarak yılda, benzinli taşıtlar 13000 km, dizel taşıtlar 28400 km yaparken bu değer LPG ile çalışan taşıtlar için 27700 km'dir.

LPG ile kullanımının karlılık noktasının belirlenmesi için bir örnek, Ford Mondeo 1.6(benzin), Ford Mondeo 1.8 td (dizel) ve Hollanda için Tablo 5.8'de verilmiştir. Her üç durum için de (benzin,dizel,LPG) araç performansı aynıdır.

Tablo 5.8 Ford Mondeo 1.6 ve Ford Mondeo 1.8 td için LPG kullanımı karlılık analizi. [13]

	Dizel	LPG	Benzin
Yakıt tüketimi,(litre/100 km)	6.6	10.3	8.2
Yakıt fiyatı,(Hfl/litre)	1.33	0.57	1.9
Araç fiyatı,(Hfl)	43490	40280	36990
Araç fiyatı farkı,(Hfl)	6500	3290	-
Yakıt maliyeti,(Hfl/km)	0.088	0.0586	0.1558
Toplam işletme maliyeti,(Hfl/km)	0.0916	0.0607	-
Ek vergi ve yatırım faizi farkı,(Hfl)	3.734	2.606	-
Kilometre başına kazanç,(Hfl/km)	0.0642	0.0951	-
Karlılık noktası,(km/yıl)	58126	27394	-
Yıllık 90000 km için amortisman süresi,(yıl)	3.1	0.6	-
Yıllık 45000 km için amortisman süresi,(yıl)	-	2	-

5.11. LPG Dönüşüm Sistemleri İle İlgili Standartlar

Taşıtların LPG ile çalışabilir şekle dönüştürülmesi ile ilgili ve ülkeler tarafından resmen kabul edilmiş ortak standartlar mevcut değildir. Ancak her ülkenin kabul ettiği standartlar %80-90'a varan bir oranda ortak özellikler taşımaktadır. Örneğin bugün bir çok Avrupa ülkesinde, dönüşüm sistemleri ile ilgili olarak, ya E/ECE/324 R-67 standardı veya bu standartın yalnızca birkaç maddesinin değiştirilmesi ile oluşturulan ulusal standartlar uygulanmaktadır.

Konu ile ilgili standartları iki kısımda ele almak mümkündür. Birinci tür standartlar dönüşüm sisteminin tanımı ve elemanlarının taşınması gereken özelliklerle ilgili standartlardır. İkinci tür standartlar ise dönüşümün taşıta uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken hususları içermektedir.

Birinci tür standartlar yakıt tankı, yakıt tankı üzerinde veya motor bölmesinde bulunan emniyet ve kumanda valfleri, buharlaştırıcı-basınç regülatörü, yüksek ve düşük basınçlı LPG taşıma hortum ve borusu ile ilgili imalat, emniyet ve dayanıklılık standartlarıdır. Birinci tür standartların önemli ortak özellikleri ilgili elemana bağlı olarak, aşağıdaki gibi verilebilir :

- Yakıt tankının test basıncı 30 bar, eğer tank üzerinde basınç emniyet valfi yok ise 45 bar'dır.
- Tankın yırtılma testi basıncı 100 bar'dır.

İmalat gereği aşırı deforme olmuş (%5'den fazla) tanklar, 5 mm'den kalın malzemeden imal edilen tanklar ısıtılma işleminden geçirilir.

Tank üzerindeki,

- Dolum valfi %80 dolum sınırlıdır. En az iki adet geri dönüşsüz valf veya bir geri dönüşsüz valf ile birlikte bir kapama valfine sahiptir. Geri dönüşsüz valflerden biri mutlaka tüpün iç kısmında kalmalıdır.
- Basınç emniyet valfi 25 bar için ayarlıdır.
- LPG kullanma valfi (açma kapama valfi) aşırı LPG debisi halinde bir kesme valfine sahip olmalıdır. Kesme valfi, 1 bar'lık basınç farkında çalışmaya başlamalıdır.
- Yakıt tankı aracın kapalı bir hacminde ise valfler sızdırmaz ve dış ortama havalandırması olan bir kapak ile örtülüdür.

Bu valflerin test basıncı 50 bar'dır.

- Düşük basınçlı gaz hortumları 100 mbar'da sızdırmazdır. Akış kesiti en az 500 mm²'dir. Ve içi petrol gazından etkilenmeyen bir malzeme ile kaplıdır.
- Yüksek basınçlı LPG borusu dikişsiz çelik veya bakır borudur ve tek parça olmalıdır.

Dönüşümün taşıta uygulanması sırasında geçerli olan standartlar ise aşağıdaki ortak özelliklere sahiptir :

- Yakıt tankı araca sürekli takılı kalacak bir şekilde monte edilmiştir.
- Yakıt tankının üzerine oturduğu şasi elemanı plastik kaplı olmalıdır. Ayrıca tankı bağlamada kullanılan kayışlar da metal değil, plastik veya başka tür sentetik malzeme olmalıdır.

- Yakıt tankının ve diğer sistem elemanlarının en alt seviyesi, taşıt yüklü iken, yol yüzeyine en az 25 cm mesafededir. Bu şartı sağlamak amacıyla taşıtın yerden olan yüksekliğinde yapılacak değişiklik, ancak imalatçı firma tarafından onaylanırsa mümkündür.
- Yakıt tankı ve diğer sistem elemanları en alt seviyesi, taşıt yüklü iken, ön ve arka lastiklerle taşıtın gövdesini birleştiren çizginin dışına taşamaz.
- Yakıt tankı ve yüksek basınçlı LPG borusu egzoz borusuna 10 cm' den daha yakınsa araya ısı yalıtıcı bir levha konur.
- Tank bağlantıları 4 g'lık kuvvetlere dayanmalıdır.
- LPG dönüşüm sistemi için ayrı bir elektrik sigortası kullanılır.



BÖLÜM 6. DÖRT SİLİNDİRLİ BİR BENZİN MOTORU ÜZERİNDE GAZ YAKITA DÖNÜŞÜM DENEYİ İÇİN MOTORUN HAZIRLANIŞI

Hidrojen yakıtlı motorlarda daha önce yapılan deneylerde ortaya çıkan geri tutuşma ve erken tutuşma sorunlarına çözüm getirmek ve yüksek basınçlı püskürtme sistemleri gerektiren dahili karışım hazırlama yöntemlerinin getireceği karmaşık ve pahalı mekanizmalardan kurtulmak amacıyla motor üzerindeki çok az değişiklik gerektiren bir sistem geliştirilmiştir.

Dahili karışım hazırlama yönteminde, emme supabı hareketi kontrol edilen bir mekanizma yardımıyla gaz kesikli olarak yanma odasına gönderilmesi düşünülmüştür. Şekil 6.1'de bu mekanizma görülmektedir.

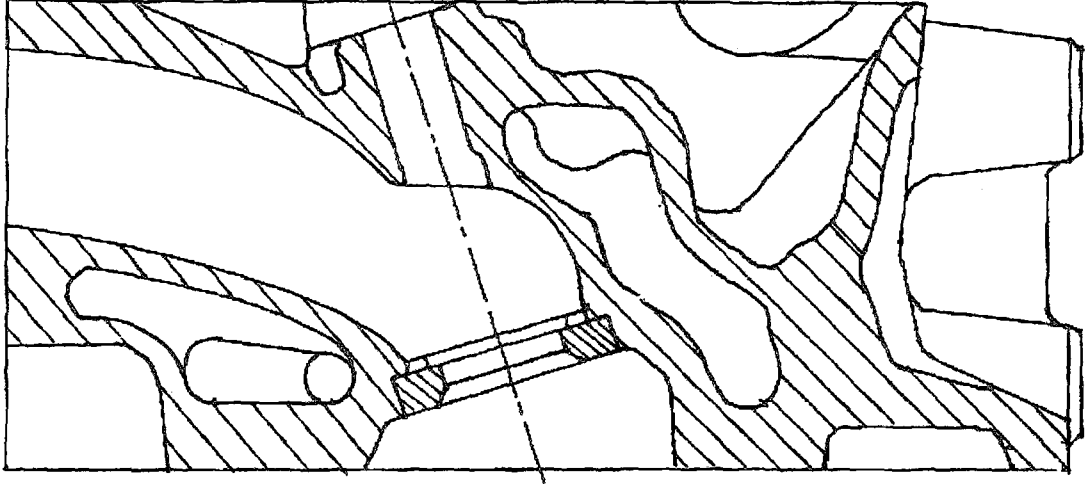
Bu çalışmada 4 zamanlı, su soğutmalı, 4 silindirli, 1290 cm³ strok hacmine sahip RENAULT 12 tipi bir benzin motoru üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır.

6.1 Motor Kafası Üzerinde Yapılan Değişiklikler

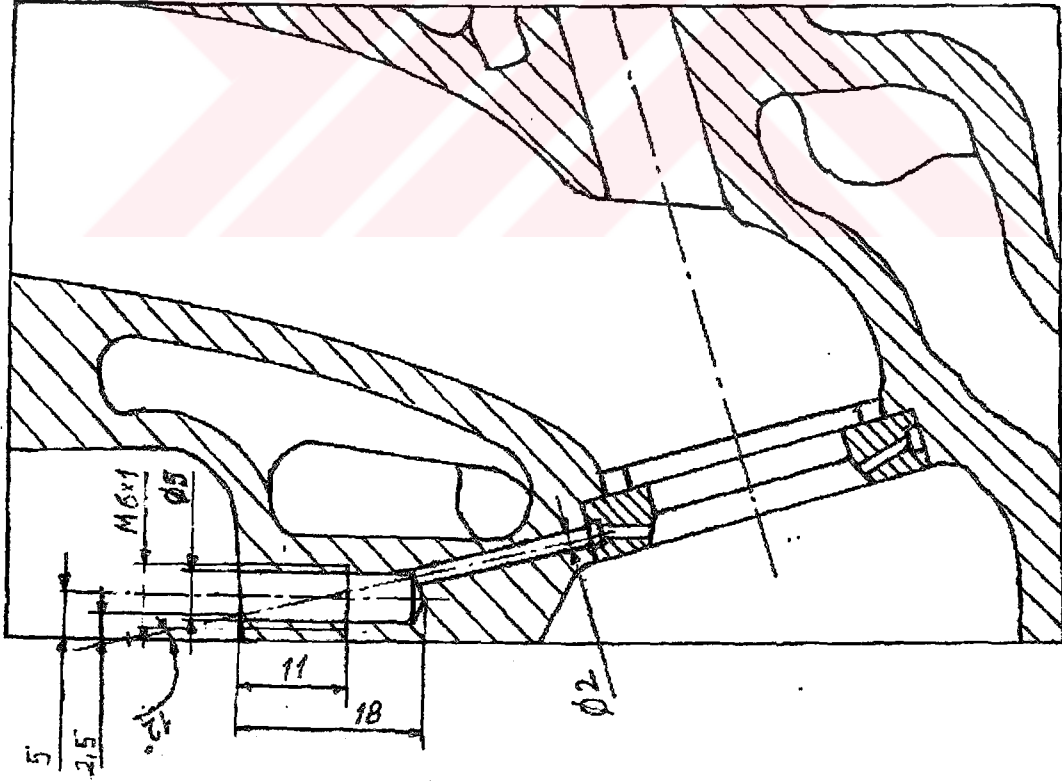
İlk aşamada Renault 12 motor kafası ve teknik resimlerinden (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4) emme subabı oturma yüzeyine gaz ulaştırmak için en uygun kesit saptanmıştır. Bu kesit Şekil 6.1'de görülmektedir. Sonra bu kesitten faydalanan uygun kanal konstrüksiyonu saptanmıştır. Şekil 6.2'de bu konstrüksiyon görülmektedir. Bu konstrüksiyonun hazırlanmasında dikkat çekilmesi gereken konular şunlardır.

Motor kafasının dış kısmından emme kanalındaki supap oturma yüzeyine giden kanalın motor soğutma suyunun bulunduğu kanalı delmeden açılmasıdır. Açılı açılacak kanalın açısının hassas ölçülüp supap oturma yüzeyini ortalamasıdır. Geri tutuşmanın olmaması için supap ile supap oturma halkasının sızdırmaz bir şekilde kapanmalıdır.

Freze tezgahında 12° olarak tesbit edilen bu açıyla eski bir motor kafasında supap oturma yüzeyine kadar 2 mm delik delinmiştir. Açının uygun olduğu saptanmış ve deney motoruna uygulanmıştır.



Şekil 6.1 Emme manifoldu A - A kesit görünüşü.



Şekil 6.2 Gaz iletim kanalının konstrüksiyonu.

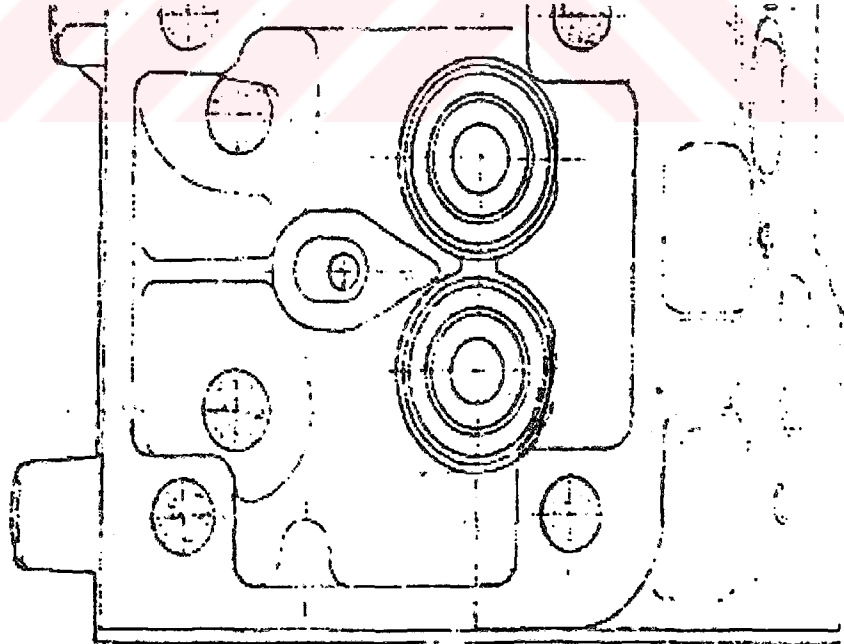
Şekil 6.2'de görüldüğü gibi motor kafasının alt kısmından 5 mm'lik eksen mesafesinden motor kafası ile gaz iletim borularının bağlantısı için 18 mm derinlikte M6x1 kılavuz çekilmiştir.

Supap oturma halkalarına 2 mm genişliğinde 1 mm derinliğinde çepeçevre kanallar açılmıştır. Supap oturma halkasına tornada 45° açıyla ön havşa verilmiş ve supap alıştırma işlemi için havşada 0.1-0.2 mm'lik pay bırakılmıştır.

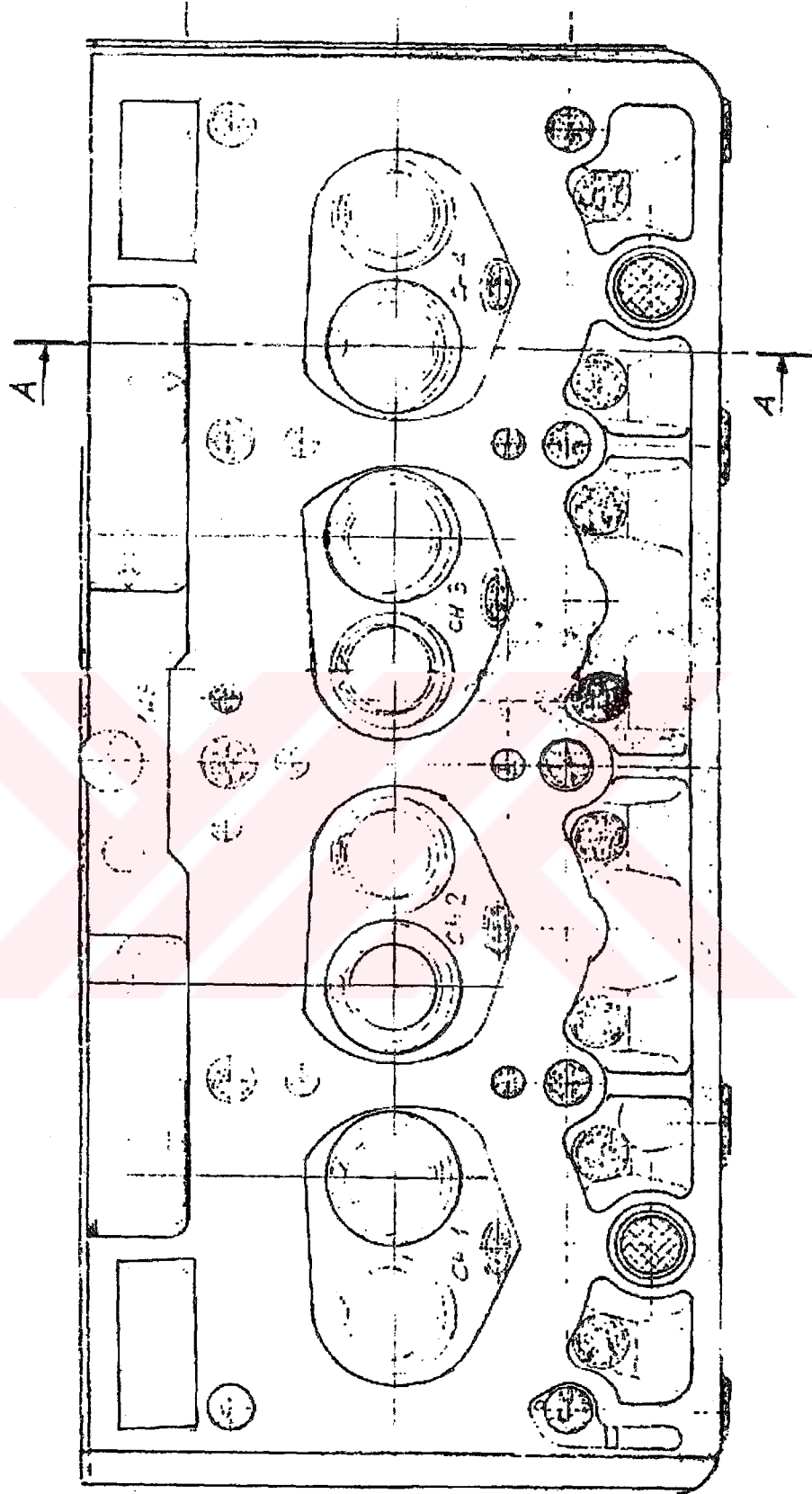
Bu 45°'lik yüzeye dik ve ortadan 1 mm'lik karşılıklı 12 adet delik delinmiştir. Bu işlemler 4 emme supabı oturma halkası için tekrarlanmıştır. Sonra bu halkalar azotla soğutulurak kafaya monte edilmiştir.

Kafa üzerindeki supap oturma halkalarına aşındırma macunuyla (kalın macun ve ince macun olmak üzere) iki kademedede son havşa verilmiş ve supaplar alıştırılmıştır. Bu işlemler tüm emme supaplarına tekrar edilmiş ve son olarak ince sıvıyla (tiner) kaçak kontrolü yapılmıştır.

Renault 12 motor kafasına delik açılma işlemi bittirdikten sonra üstten görünüşü aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.3 Renault 12 motor kafası üstten görünüşü.



Şekil 6.4 Renault 12 motor kafası alttan görünüş.

6.2 Deney Donanımı

Bu çalışmada üzerinde bazı değişiklikler yapılmış olan dört silindirli Renault 12 tipi deney motoru, Schenck marka W70 tipi su freni ile yükleme yapılarak denenmiştir. Emilen hava miktarının ölçülmesi motor performansının ve egzoz emisyonlarının değerlendirilebilmesi açısından önem kazanmaktadır. Ancak motor tarafından emilen hava miktarının ölçülmesinde bazı zorluklarla karşılaşmaktadır.

Bunlardan en önemlisi pistonların ileri geri öteleme hareketleri ve her silindirin iki periyot arasında belirli bir süre emiş yapması dolayısıyla emme kanalındaki hava akımının darbeleri oluşu ve bu durumun akımın kararlılığını bozarak ölçümleri zorlaştırması ve hatalı ölçümlere neden olmasıdır.

Bu hatalar özellikle basınç farkına dayalı ölçümlerde daha fazladır. Ölçülen hava miktarındaki hatalar motorla ölçme yapılan yer arasındaki akış dirençlerine, darbelerin şiddet ve frekanslarına, akışkanın viskozite ve yoğunluğuna bağlıdır. Hatayı en aza indirmek için ölçme yapılan yerde kararlı bir akışı sağlamak ana zorunluluktur.

Bunun için ise genellikle kullanılan yol ölçme noktası ile motor arasında damper görevi yapan bir hava deposu kullanmaktır. Bu amaçla deney donanımına 50 santimetre çapında ve 1 metre boyunda silindirik bir hava deposu eklenmiştir.

Bu metotta motorun emdiği hava, hava deposundan geçirilir. Hava deposuna yerleştirilen lüledeki kesit değişmesi sebebiyle daralan kesitte hava hızlanır. Dinamik basınç artar. Toplam basınç sabit kalacağından statik basınç azalır. Statik basınçtaki azalama debinin karesiyle orantılı olduğundan U borusu yardımıyla basınç farkı ölçülerek debi hesaplanır. [14]

LPG ile ölçüm yapılabilmesi için sisteme mutfak tipi bir LPG tübü eklenmiştir. Ayrıca tüpten çıkan basıncın ve motora giriş basıncının ölçülebilmesi için iki manometreye sahip bir detantör ile tüpten motora giden hattaki basıncı yükseltebilmek amacıyla içi sıcak su ile doldurulmuş bir kova içine koyulmak üzere spiral borular eklenmiştir.

Benzin ve LPG ile yapılan tüm ölçümlerde egzoz emisyonlarını ve hava fazlalık katsayısını ölçebilmek amacıyla Sun Modular Gas Analyzer MGA 1200 marka gaz analizörü kullanılmıştır. Bu gaz analizör, dağılmayan infra-red ışınları ve bir galvanik hücredeki oksijen yüzdesini esas alarak ölçüm yapmaktadır.

6.3 Deney Yöntemi ve Ölçümler

Deneyler sırasında, öncelikle motorun benzinle çalışması durumundaki performansı belirlenmiştir. Motor dönme sayısı 1500 ila 4000 d/dak arasında değiştirilerek Schenck su freninin terazisinde bunlara karşılık gelen kuvvetler okunmuştur. Bu değerler yardımıyla motorun gücü, momenti ve ortalama efektif basıncı hesaplanmıştır. Ölçümler sırasında ayrıca yakıt ve hava debisi de ölçülerek hava fazlalık katsayısı belirlenmiştir. Ayrıca gaz analizör yardımıyla ölçülen hava fazlalık katsayısı ile hesaplanan hava fazlalık katsayısı mukayese edilerek birbirine yakınlığı görülmüştür.

Motora emilen havanın darbesiz şekilde gelmesi için karbüratöre gelen havanın damper görevi gören bir hava deposundan geçirilerek emilmesi sağlanmıştır. U borusu ile debi ölçme yönteminde iki türlü problemle karşılaşmıştır. Bunlardan ilki keskin kenarlı lülenin daha önceki ölçümlerdeki gibi hava deposu üzerinde bulunduğu durumda ölçüm yapılmaya çalışılması ile ortaya çıkmıştır. Buradaki problem lülenin debi katsayısını belirlemek için kullanılması gereken d/D (lüle çapı/ boru çapı) oranına göre grafiklerin bulunmamasıdır. Bunun sebebi ise boru çapı olarak depo çapı kullanıldığı için, elde edilen d/D oranını içeren bir grafiğin olmamasıdır.

Bu problemi çözebilmek için depoya bir boru sistemi ekleyerek havanın buradan emilmesi düşünülmüştür. 70 mm çapında 50 cm uzunluğunda kesilen bir pimaş boru depoya gerdirilerek tutturulmuş ve borunun diğer ucuna ölçüm yapılacak keskin kenarlı lüleyi sabit olarak tutacak beyaz köpük malzemeden bir sistem hazırlanmıştır. Böylece grafiklerde verilen sınırlar içinde d/D oranı elde edilmiş ve Reynolds sayısı da hesaplanarak debi katsayısı hesaplanmıştır.

Diğer problem ise sadece 50 mm çapında lüle kullanılarak yapılan ölçümlerin küçük devirlerde yetersiz kaldığıdır. Bu nedenle de en iyi sonuçları elde edebilmek için lüle çapında oynamalar yapılarak çapın küçültülmesi gerektiği bulunmuştur. Ölçümlerde pirizin lüleye en yakın noktaya takılmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Burada yapılan ölçümde piriz keskin kenarlı lülenin hemen altına takılmıştır. Yapılan bütün bu iyileştirmelerden sonra ölçümlerin değişik lüle çaplarında ve değişik zamanlarda aynı yük ve devir sayılarında aynı sonucu verdiği görülmüştür. Böylece hesaplanan hava debisi ve yakıt debisi yardımıyla hesaplanan HFK'nın gaz analizöründen ölçülen HFK'larına çok yakın olduğu saptanmıştır.

Yapılan bir seri deney sonucunda motorun performansı belirlenmiştir. Ancak elde edilen bu performansın fabrika tarafından verilen değerlerin çok altında kalması nedeniyle, performansı arttırmak amacıyla çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Bunun sebebi, motor kafasında yapılan değişikliklerden ve atmosfere açık hava kanalları nedeniyle fakir karışım bölgesinde çalışıldığından istenilen devirlere çıkılamamayışı sebebiyle büyük bir güç kaybı ile karşılaşılmasıdır.

Burada şüphelenilen konu motorun herhangi bir yerden hava alması durumudur. Bu nedenle; ilk olarak subap oturma yüzeyine LPG göndermek için bulunan atmosfere açık bakır borunun ucu sızdırmaz bir şekilde kapatılmıştır. Daha sonra emme manifoldu civataları sıkılmıştır. Böylece ekstra hava girişi önlenmek istenmiştir. Ayrıca emme manifoldu üzerinde bir çatlak olup olmadığını anlamak için üzerine sabun köpüğü sürülerek kontrol edilmiştir. Daha sonra distiribütör ayarı yapılmış ve platin aralığı artırılarak daha iyi ateşleme yapması sağlanmıştır. Yapılan bu değişikliklerin sonuç vermemesi üzerine şüpheler karbüratör üzerinde yoğunlaşmış ve karbüratörün temizlenmesine karar verilmiştir. Karbüratör tamamen temizlenmiş ve bu işlem sonunda karbüratörün içinin tamamen oksit tabakaları ile kaplandığı görülmüştür.

Ancak karbüratörün temizlenmesi bir miktar değişime neden olduysa da istenilen sonucu vermediği için araştırmalara devam edilmiştir. Son olarak bobinden şüphelenilmiştir. Bobinin değiştirilmesi ile istenilen performansa çıkılmıştır. Bunun sebebi ise motor ısındığı zaman bobin bozuk olduğu için hız kesmiş oluşudur.

Motor performansının benzin kullanılarak istenilen şekilde belirlenmesinden sonra, LPG ile çalıştırılarak denemeler yapılmış ve benzin ile elde edilen performansı yakalamaya çalışılmıştır. Burada da çeşitli problemlerle karşılaşmıştır. Bunlardan ilki LPG tüpünden gönderilen yakıt debisinin yeterli olmaması nedeniyle yüklü durumda istenilen devirlere çıkılamamıştır. Buna çözüm olarak tüpten çıkış basıncını arttırmak düşünülmüştür. Bu nedenle tüpün ısıtılmasına karar verilmiştir. Bunun nedeni ise LPG kullanılmaya başlandıktan kısa bir süre sonunda buharlaşma ısısının giderek düşmesi nedeniyle tüpten tahaliye valfinin uç kısımlarında donma oluştuğu düşünülmeydi. Tüp belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak bu sorun çözümlenmek istenmiştir. Böylece tüp içi su dolu bir kovanın içine daldırılarak bir direnç yardımıyla 45 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda istenilen basınçlara çıkılamamış ve böylece istenilen yakıt debisi motora gönderilmemiştir. Bunun sebebi Şekil 5.1'de görülen grafikten anlaşılacağı

üzere propan ve bütanın buharlaşma basınçlarının farklı oluşudur. Propanın buharlaşma basıncının bütana göre daha yüksek olması nedeniyle, tüpü 45 °C sıcaklığa kadar ısıttığımız zaman, propan daha önce buharlaşarak kullanıldığı için belirli bir zaman sonra tüpün içinde sadece bütan kalmıştır. Böylece yapılan deney LPG ile motor çalıştırılması deneyinden çıkıp bütan ile motor çalıştırılması deneyine dönüşmüştür.

Bunun ispatlanması için tüpün statik basıncı (tüp 45 °C sıcaklıkta iken) ölçülmüş ve 3 bar olarak bulunmuştur. Şekil 5.1'e bakıldığı zaman bütanın 45 °C sıcaklıkta basıncının 3 bar civarında olduğu görülmektedir. Bu problemin çözülebilmesi için LPG'nin tüpten dışarıya sıvı olarak tahliye edildikten sonra bir buharlaştırıcıdan geçirilip bir bakır boru yardımıyla motor kafasına gönderilmesine karar verilmiştir. LPG'nin tüpten sıvı olarak tahliye edilebilmesi için tüpün ters çevrilerek kullanılması gerekmiştir. Böylece tübün içindeki basınç devamlı olarak aynı seviyede tutulabilmiştir. Tüpün baş aşağı çevrilip su ile dolu kova içinde 40-45 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp sıvı olarak tahliye edilerek su dolu diğer bir kova içinde 50°C sıcaklığa kadar ısıtılmış spiral borulardan geçirildikten sonra aynı kova içinde bulunan bir genişleme kabından geçirilip sonra motor kafasına gönderilmiştir. Genleşme kabı ile motor kafası arasına iki adet manometreye sahip bir detantör takılmıştır.

Ancak yapılan işlemlerin tüp ile detantör arasındaki hat basıncını artırdığı fakat detantörden sonraki basıncın 3.5 barı geçmediği gözlenmiştir. Bunun nedeni ise LPG' nin detantörün içinde buharlaşması ve bu nedenle de sıcaklığının hızla düşmesidir. Bu ise tam gaz durumunda 3500 ve 4000 devirler de güç düşmesinin artmasına neden olmaktadır. Bu sorundan kurtulabilmek için detantörün de ısıtılmasına karar verilmiştir. Ancak hem detantörün bulunduğu yer hem de işlevi itibarıyla ısıtılmasının güç oluşu nedeniyle deneylerin burada kesilmesine karar verilmiştir. Bu nedenle tam gaz açıklığında 3500 ve 4000 d/dak. değerlerinde güç artışının nedeninin ne olduğu açıklığa kavuşamamıştır. Bununla beraber bir sonraki çalışma da yol göstermesi amacıyla ya detantörün ısıtılmaması yüzünden ya da bu devirler de kritik hıza ulaşılması nedeniyle güç düşümünün arttığı söylenebilir.

Deneyler sırasında ölçülen büyüklükler ve birimleri aşağıda verilmiştir :

- n : Motor dönme sayısı (d/dak)
- F : Yükleme freni terazi kuvveti (N)
- t : 150 cm³ yakıtın (benzinin) tüketilme süresi (s)
- m_h : Motor tarafından emilen havanın kütleli debisi (Kg/s)

- m_y : Motor tarafından emilen yakıtın kütleli debisi (Kg/s)
 t_a : Ortam sıcaklığı (°C)
 AA : Ateşleme avansı (°KMA, üst ölü noktadan önce)
 CO : Karbonmonoksit emisyonu (%)
 HC : Hidrokarbon emisyonu (ppm)
 CO_2 : Karbondioksit emisyonu (%)
 O_2 : Egzoz gazları içindeki oksijen miktarı (%)
 ΔH_h : U manometrede okunan seviye farkı (mmsu)

Ölçülen büyüklükler kullanılarak hesaplanan büyüklükler, hesap yöntemi, formüller ve birimleri ise aşağıdaki gibidir : [15]

$$N_e(BG) = F(Kg) * n(d/d) / 1000, \quad (6.1)$$

$$M_d(Kgm) = F(Kg) * l(m), \quad (6.2)$$

$$p_{me}(Kg/cm^2) = 900 * N_e(BG) / [V_h(lt) * n(d/d)], \quad (6.3)$$

$$b_e(gr/BGh) = V_y(cm^3) * \rho_b(gr/cm^3) * 3600 / [t(s) * N_e(BG)], \quad (6.4)$$

$$m_h(Kg/s) = \rho_h(Kg/m^3) * A_d(m^2) * \alpha * [2g(m/s^2) * (\rho_s(Kg/m^3) - \rho_h(Kg/m^3)) * \Delta H_h(mmsu) / \rho_h(Kg/m^3)]^{1/2}, \quad (6.5)$$

$$m_y(Kg/s) = V_y(cm^3) * \rho_b(gr/cm^3) / [1000 * t(s)], \quad (6.6)$$

$$\lambda = [m_h(Kg/s) / m_y(Kg/s)]_g / [m_h(Kg/s) / m_y(Kg/s)]_t. \quad (6.7)$$

Moment hesaplanırken l kuvvet kolu Schenk su freni için 0.7162 metre alınmıştır. Ortalama efektif basınç hesaplanırken V_h motor hacmi Renault 12 motoru için 1.289 litre alınmıştır.

Tüketilen benzinin miktarı 150 cm^3 hacmin tüketilme zamanı (t) ölçülerek bulunmuştur. Benzinin yoğunluğu $\rho_b = 0.735 \text{ gr/cm}^3$ alınmıştır. Havanın yoğunluğu 15°C için 1.2045 Kg/m^3 alınmıştır.

Daraltılmış kesit alanı ve debi katasayı 50 mm çapa sahip keskin kenarlı lüle için hesaplanmıştır. α debi katsayısı 50 mm çapa sahip keskin kenarlı lüle için 0.83 olarak tesbit edilmiştir. $(\rho_s(Kg/m^3) - \rho_h(Kg/m^3))$ yaklaşık olarak 1000 Kg/m^3 kabul edilmiştir. Yerçekimi ivmesi 9.81 m/s^2 alınmıştır.

Hava fazlalık katsayısı hesaplanırken benzin için $[m_h(Kg/s) / m_y(Kg/s)]_t$ oranı 14.7 alınmıştır.

Aşağıda örnek olarak benzin ile tam gaz açıklığında 3500 d/d' de tablo A.1' de verilen büyüklüklerin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$N_e(BG) = F(Kg) * n(d/d) / 1000, N_e = 11.4 * 3500 / 1000 = 39.9 \text{ BG}. \quad (6.8)$$

$$M_d(Kgm) = F(Kg) * l(m), M_d = 11.4 * 0.7162 = 8.164 \text{ Kgm}. \quad (6.9)$$

$$\rho_{me}(\text{Kg/cm}^2)=900*N_e(\text{BG})/[V_h(\text{lt})*n(d/d)] , \quad (6.10)$$

$$\rho_{me}=900*39.9/[1.289*3500]=7.959 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$b_e(\text{gr/BGh}) = V_y(\text{cm}^3)*\rho_b(\text{gr/cm}^3)*3600/[t(s)*N_e(\text{BG})] , \quad (6.11)$$

$$b_e=150*0.735*3600/[44.5*39.9] = 223.53 \text{ gr/BGh}.$$

$$m_h(\text{Kg/s})=\rho_h(\text{Kg/m}^3)*A_d(\text{m}^2)*\alpha*[2g(\text{m/s}^2)*(p_s(\text{Kg/m}^3)-\rho_h(\text{Kg/m}^3))*\Delta H_h(\text{mmsu})/\rho_h(\text{Kg/m}^3)]^{1/2},$$

$$m_h= 1.2045*[\pi*0.05^2/4]*0.83*[2*9.81*1000*0.024/1.2045]^{1/2}= 0.037 \text{ Kg/s}. \quad (6.12)$$

$$m_y(\text{Kg/s})= V_y(\text{cm}^3)*\rho_b(\text{gr/cm}^3)/[1000*t(s)],$$

$$m_y= 150*0.735/[1000*44.5] = 0.0024 \text{ Kg/s}. \quad (6.13)$$

$$\lambda = [m_h(\text{Kg/s}) / m_y(\text{Kg/s})]_g / [m_h(\text{Kg/s}) / m_y(\text{Kg/s})]_t ,$$

$$\lambda = [0.037/0.0024]/14.7 = 1.046. \quad (6.14)$$

Deneylerin sonucunda ölçülen büyüklükler ve bunların yardımıyla hesaplanan büyüklükler tablolar halinde Ek A kısmında verilmiştir.

6.4 Benzin İle Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar

Daha önce özellikleri verilen Renault 12 deney motoru benzin ile çalıştırılmış ve Schenk marka su freni ile yüklenerek fren terazisinden buna karşılık gelen kuvvet değerleri okunmuştur. Bu kuvvet değerleri yardımıyla motor karakteristikleri hesaplanmıştır.

Daha önce bahsedildiği üzere damper görevi yapan hava deposu üzerinde bulunan lülenin çapları değiştirilerek çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bunun amacı değişen lüle çaplarının emme havası debisini nasıl etkilediği, hesap yoluyla bulunan hava fazlalık katsayısının lüle çapı ile değişip değişmediğinin incelenmesidir. İlk önce hava deposu üzerine 50 mm çapa sahip lüle takılarak ölçümler yapılmış daha sonra 30 mm çapa sahip lüle ile aynı ölçümler tekrar edilmiştir.

1/3 ve 2/3 gaz açıklığı konumlarında her iki lüle çapında da ölçüm yapılabildiği halde tam gaz açıklığı konumunda sadece 50 mm çapa sahip lüle ile ölçüm yapılmıştır. Bunun sebebi ise tam gaz açıklığı konumunda 30 mm çapa sahip lüle ile ölçüm yapılması durumunda kısılma miktarının çok artması sebebiyle aşırı zenginleşme meydana gelmesidir. 1/3 ve 2/3 gaz keleşbeği konumlarında yapılan ölçümler sonucunda çizilen grafikler den şu sonuçlar çıkarılmıştır.

30 ve 50 mm çapa sahip lüleler ile ölçüm yapıldığı zaman gaz analizöründen aynı hava fazlalık katsayıları okunmuştur. (Maksimum fark %3.). Hava deposu üzerinde 30 mm çapa sahip lüle kullanılması ile U manometre üzerinde daha hassas okuma mümkün olmakla beraber emilen hava miktarındaki kısılmanın artması nedeniyle motor performansında bir miktar düşüş görülmektedir. Ayrıca kısılma nedeniyle yanma odasına giren hava miktarı azalmakta dolayısıyla yanma kötüleşmekte böylece de egzoz emisyonlarında bir miktar artış görülmektedir. Bu istenmeyen iki durumdan ötürü son ölçümlerin 50 mm çapa sahip lüle ile yapılmasına karar verilmiştir. Şekil B.1' den şekil B.22' ya kadar olan grafikler de motor performanslarının ve egzoz emisyonlarının lüle çapı ile nasıl değiştiği verilmiştir.

6.5 LPG ile Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar

Bu deneysel çalışmada, özellikleri daha önce verilen Renault 12 deney motoru LPG ile çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar, çeşitli parametreler baz alınarak benzin çalışma koşulları ile karşılaştırılmıştır. Benzin ile çalıştırma esnasında motorun 4500 d/dak.' da sağlıklı çalışmadığı görüldüğü için ölçümler 1500 ila 4000 d/dak. arasında yapılmıştır. Yaptığımız deney bir mukayese deneyi olduğu için LPG' de de aynı aralıklarda çalışılmıştır.

Deney amacının motor performansına yönelik olduğu göz önüne alınacak olursa şu sonuçlara varılabilir. LPG ' nin buharlaşma hızının yüksek olması sebebiyle çok kısa bir sürede sıvı fazından gaz fazına geçerek yanma odası için de geniş bir hacime yayılır.

LPG' nin geniş bir hacime yayılması sonucunda yanma odası içine istenilen miktar da hava sokulamamaktadır. Böylece içerideki dolgu maddesi miktarı arttırılamadığı için benzine göre motordan alınan güçte % 10 kadar bir düşüş beklenmektedir. Gaz karbüratörlü sistemler de olan bu performans düşüşünün ortadan kaldırılabilmesi veya azaltılabilmesi için geliştirilen sistemimizde de LPG ile çalışmada benzin ile çalışmadaki güç değerlerinin yaklaşık olarak % 8 altında kalındığı görülmüştür. Bunun sebebi ise bizim sistemimiz de kısılma kayıplarını azaltmak için LPG her ne kadar direkt olarak emme subaplarının oturma yüzeylerine gönderildiyse de benzin karbüratörü motorun üzerinden sökülmediği için yanma odasına giren hava miktarı karbüratörün venturisi tarafından kısıldığı

için yanma odasına istenilen miktarda hava gönderilememiştir. Ayrıca LPG' nin buharlaşma hızının yüksek oluşu sebebiyle sıvı fazından gaz faza geçerken yanma odasında geniş bir hacime yayılmasıyla yanma odasına girmek isteyen hava miktarı sınırlanmaktadır. Bu nedenle yanma odası içerisindeki dolgu maddesi miktarı arttırılmadığı için benzin ile çalışma da ulaşılan güç değerlerine ulaşılamamıştır.

Benzin ile çalışma da ve LPG ile çalışma da ulaşılan güç değerleri arasındaki farkın yüksek devirler de daha fazla arttığı görülmüştür. Bunun nedeni tam olarak belirlenememiştir. Ancak bundan sonra yapılacak bir çalışma da kolaylık sağlanabilmesi için şu nedenler sıralanabilir.

İlk olarak, LPG' nin sıvı fazdan gaz fazına geçerken soğumasından dolayı gaz akışında olası bir kesiklik veya tüpten motor kafasına giden hat üzerindeki boru kesitlerinde bir daralma mümkün olabilir. Ayrıca, LPG' nin sıvı fazdan gaz faza geçerken buharlaşma hızının yüksek olması sebebiyle yüksek devirler de gaz debisinin yetersiz kalma ihtimali ortaya çıkmaktadır.

Son olarak da supap oturma yüzeylerine açılmış olan deliklerin sayısının veya çaplarının yetersiz olabileceğidir. Bu sayılan nedenler den biri veya birkaçı sebebiyle 3500 ve 4000 d/dak. değerlerin de benzin ve LPG ile çalışma esnasındaki güç değerleri arasındaki fark % 10' a yaklaşmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda ölçülen değerler ve bunlar yardımı ile hesaplanan büyüklüklerden yararlanılarak deney motorunun benzin ve LPG ile çalışması durumundaki karakteristikleri çıkarılmıştır. Benzin ve LPG' nin en iyi şekilde karşılaştırılması için motor karakteristikleri aynı grafikler üzerinde incelenmiştir.

LPG ile yapılan deneyler sırasında 2/3 gaz açıklığı konumunda 1500 d/dak.' da titreşimlerin artması nedeniyle fakir ve zengin hava fazlalık katsayılarında ölçüm yapılmamıştır. Ayrıca LPG ile yapılan deneyler sırasında tam gaz açıklığında 3500 ve 4000 d/dak. değerlerinde egzoz manifoldunun çok fazla ısınmasından dolayı hava fazlalık katsayısı ayarı sadece maksimum gücü verecek şekil de yapılmıştır.

Şekil C.1' den şekil C.19' a kadar olan grafikler de deney motorunun LPG ile çalışması esnasında 1/3, 2/3 ve tam gaz açıklıklarında motor freni sayesinde devir sayısı sabit tutularak gaz analizörü yardımı ile hava fazlalık katsayısındaki değişimlerin motorun performans ve egzoz emisyonları değerlerini nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Bu inceleme sırasında hava fazlalık katsayısı ilk olarak maksimum güç elde edilecek şekilde ayarlanmış daha sonra ise hava fazlalık katsayıları fakir ve zengin değerlere getirilerek deneyler tekrar edilmiştir.

Hava-yakıt oranının zenginleştirilmesi performans olarak fakirleştirilmesinden iyi olarak gözükse de egzoz emisyonları açısından kötüdür. Ayrıca bu grafikler den elde edilen en önemli sonuçlar dan bir tanesi ise fakir hava-yakıt karışımlarında LPG' nin benzine oranla daha iyi sonuçlar verdiğidir.

Şekil C.19' dan şekil C.37' ye kadar olan grafikler de ise deney motorunun 1/3, 2/3 ve tam gaz açıklığı konumlarında benzin ve LPG ile çalıştırılması durumunda motor performans ve egzoz emisyonları değerleri birbirleriyle kıyaslanarak incelenmiştir. LPG' den maksimum güç alınabilmesi için hava fazlalık katsayısı gaz analizörüyle ayarlanmıştır.

Şekil C.37' den şekil C.54' e kadar olan grafikler de ise deney motorunun 1/3, 2/3 ve tam gaz açıklığı konumlarında benzin ve LPG ile çalıştırılması durumunda egzoz emisyonları değerlerinin hava fazlalık katsayısına göre değişimi verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda deney motorunun benzin ile çalıştırılmasıyla ulaşılan performans değerlerine motorun LPG ile çalıştırılmasıyla ulaşamamıştır. Ancak, bu deneylerin yapılmasın da esas amaç olan yeni bir yakıt -hava ön karışım modeli geliştirme fikri başarıyla sonuçlanmıştır. Daha önce tek silindirli hidrojen motorunda denenen yakıt ile havayı emme subapı oturma yüzeyinde karıştırma fikri dört silindirli bir motorda da başarıyla uygulanmıştır. LPG kullanılarak denenen bu motor da benzin ile ulaşılan değerlere ulaşılmamasının sebeplerinden bir tanesi yakıt - hava karışımının subap oturma yüzeyinde gerçekleştirilmesine rağmen deneyler sırasında motor üzerindeki karbüratörün sökölmemesi sonucu meydana gelen kısılma kayıplarıdır. Nedenlerden bir diğeri ise LPG' nin buharlaşma hızının yüksek oluşu sebebiyle sıvı fazından gaz fazına geçerken yanma odası içinde daha fazla bir hacime yayılması sonucu içerideki dolgu maddesi miktarının arttırılamamasıdır. Bu nedenler den dolayı motor dan istenilen performans artışı sağlanamamıştır.

Bundan sonra yapılacak bir çalışmaya yol göstermesi amacıyla benzin karbüratörünün sökölerek motorun sadece LPG ile çalışır hale getirilmesiyle elde edilen güç miktarında artış olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] SAFGÖNÜL, B. , ERGENEMAN, M. , SORUŞBAY, C. , ARSLAN, H. E. , ÖZAKTAŞ, T. , Motorlu Taşıtlarda Doğal Gaz ve Hidrojen Kullanımı , İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu , DPT proje no : 90K120670/12 , Nisan (1994).
- [2] HARMON, R. , Alternative Vehicle Propulsion Systems , Mechanical Engineering , Sayfa 58-65 , March (1992).
- [3] DURGUN, O. , Motorlarda Petrol Yerine Kullanılabilecek Yakıtlar , Mühendis ve Makina Dergisi , Cilt 29 , Sayı 336 , Sayfa 24-26 , (1988).
- [4] SORUŞBAY, C. , ARSLAN, E. ,Hidrojen Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı , Mühendis ve Makina Dergisi , Cilt 29 , Sayı 339 , Sayfa 15-24 , (1988).
- [5] BAKER, R. E. ,MACPHERSON, I. , Future Transportation Fuels and the Environment , Automotive Engineering , Cilt 99 , Num. 1 , Sayfa 27-29 , (1991).
- [6] HOLT, D. J. , Propane Fueled Vehicles , Automotive Engineering , Cilt 90 , Num. 2 , Sayfa 133 , (1982).
- [7] THRING, R. H. , Alternative Fuels , Automotive Engineering , Vol. 91, Num.12, pp. 31-33 , 1983.
- [8] MENRAD, H. , WEGENER, R. , LOECK, H. , An LPG Optimized Engine Vehicle Design , Society of Automotive Engineers , Sayfa 1-12 , (1985).
- [9] LPG Systems Manual , LOVATO Autogas , Italy , (1994).
- [10] Guide to Use LPG , BRC Gas Equipments , Italy , (1995).
- [11] ALANKUŞ, O. B. , LPG as Automotive Fuel , Prospects in the Turkish Market , The 8th World LPG Conference , Sayfa 1-8, September (1995).
- [12] LPG Systems Manual , EUROGAS , Germany , (1994).
- [13] General and Technical Information LPG Systems , AG Autogas , Holland , (1994).
- [14] ARSLAN, H. E. , Taşıt Motorlarında Araştırma Ve Deney Teknikleri , İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Sayfa 37-46, (1994).
- [15] ÖZ, İ. , H. , Kuvvet Makinalarında Ölçü Tekniği, Şirketi Morettibiye Basımevi , Sayfa 29-50 , (1960).

[16] HOLT, D. J. , Alternative Fuels Update , Automative Engineering , Cilt101 , Num. 5 , Sayfa 8 , (1993).



EKLER

Ek A : Deneyler sonucunda ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin tablolar halinde verilmesi.

Ek B : Benzin ile çalışmada motor performansına ve egzoz emisyonlarına hava deposu üzerindeki lüle çaplarının değişiminin etkisi.

Ek C : LPG ile benzinin yapılan deneyler sonucunda motor yakıtı olarak karşılaştırılması. (Motor performansları ve egzoz emisyonları açısından.).



Ek A : Deneyler sonucunda ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin tablolar halinde verilmesi.



Tablo A.1.a. Deney motorunda benzin ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.

Yakıt : Benzin, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t	DH _h	t _{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	sn	mmsu	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	11.7	104.5	2	86	5.16	12.06	208	0.3	0.883
2000	11.6	65	5	86	9.51	9.68	195	0.3	0.769
2500	12.5	46.1	12	87	9.72	9.83	210	0.2	0.727
3000	12.25	45	18	87	3.78	13.69	127	0.2	0.909
3500	11.4	44.5	24	89	0.88	15.02	78	0.4	0.994
4000	10.6	39.3	40	90	1.65	14.51	75	0.3	0.969

Tablo A.1.b. Deney motorunda benzin ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.

Yakıt : Benzin, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N _e	M _d	p _{me}	m _h	m _y	b _e	HFK
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²	Kg/s	Kg/s	gr/BGh	
1500	17.55	8.379	8.169	0.01	0.001	214.58	0.809
2000	23.2	8.307	8.099	0.017	0.0016	263.19	0.697
2500	31.25	8.952	8.727	0.026	0.0023	275.5	0.766
3000	36.75	8.773	8.553	0.032	0.0024	240	0.916
3500	39.9	8.164	7.959	0.037	0.0024	223.53	1.046
4000	42.4	7.591	7.401	0.048	0.0028	238.18	1.193

Tablo A.2.a. Deney motorunda benzin ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.

Yakıt : Benzin, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t	DH _h	t _{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	sn	mmsu	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	10.7	121	3.5	83	1.38	14.27	138	0.7	0.988
2000	9.8	92	5	83	1.05	15.09	107	0.4	0.965
2500	8.45	83	7	84	1.26	14.89	105	0.6	0.989
3000	7.1	75.3	8	85	1.27	14.97	95	0.5	0.984
3500	5.3	71	10	85	1.26	14.91	76	0.5	0.983

Tablo A.2.b. Deney motorunda benzin ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.

Yakıt : Benzin, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N_e	M_d	p_{me}	m_h	m_y	b_e	HFK
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²	Kg/s	Kg/s	gr/BGh	
1500	16.05	7.663	7.401	0.0146	0.0009	204.37	1.093
2000	19.6	7.018	6.702	0.0175	0.0013	220.11	0.993
2500	21.125	6.051	5.868	0.02	0.0013	226.36	1.06
3000	21.3	5.085	4.957	0.022	0.0014	247.46	1.028
3500	18.55	3.795	3.7	0.024	0.0015	301.36	1.084

Tablo A.3.a. Deney motorunda benzin ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.

Yakıt : Benzin, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t	DH_h	t_{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	sn	mmsu	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	7.9	155	2	81	1.22	14.34	127	0.8	1.009
2000	6.1	132	2.6	81	1.59	14.22	125	0.5	0.979
2500	4.4	125	3.25	82	1.48	14.36	114	0.4	0.975
3000	2.6	123	3.4	82	1.11	14.67	76	0.5	0.986

Tablo A.3.b. Deney motorunda benzin ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.

Yakıt : Benzin, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N_e	M_d	p_{me}	m_h	m_y	b_e	HFK
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²	Kg/s	Kg/s	gr/BGh	
1500	11.85	5.657	5.446	0.0111	0.0007	216.09	1.058
2000	12.2	4.368	4.294	0.0126	0.0008	246.46	1.028
2500	11	3.151	3.072	0.014	0.0009	288.65	1.079
3000	7.8	1.862	2.024	0.0144	0.0009	421.81	1.095

Tablo A.4.a. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t_{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	11.2	84	2.41	12.51	268	0.6	0.948
2000	11.2	84	4.72	11.49	239	0.3	0.922
2500	11.8	85	5.41	10.65	246	0.2	0.845
3000	11.65	85	3.48	11.52	179	0.3	0.908
3500	10.65	86	4.28	11.69	228	0.2	0.885
4000	9.7	87	2.36	12.42	149	0.8	0.959

Tablo A.4.b. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N _e	M _d	P _{me}
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	16.8	8.021	7.82
2000	22.4	8.021	7.82
2500	29.5	8.451	8.238
3000	34.95	8.343	8.134
3500	37.275	7.627	7.435
4000	38.8	6.947	6.772

Tablo A.5.a. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t_{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	10.4	84	9.82	7.65	360	0.5	0.735
2000	10.6	84	9.66	7.97	335	0.3	0.731
2500	11.3	85	9.78	7.96	390	0.3	0.729
3000	11.6	85	9.02	8.72	379	0.2	0.751

Tablo A.5.b. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.

(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N_e	M_d	p_{me}
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	15.6	7.448	7.261
2000	21.2	7.591	7.401
2500	28.25	8.093	7.889
3000	34.8	8.307	8.099

Tablo A.6.a. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında ölçülen değerler.

(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t_{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	10.3	83	0.05	12.66	135	2.4	1.124
2000	9.8	84	0.05	12.18	103	3.1	1.17
2500	10.8	85	0.1	12.65	104	2.8	1.145
3000	10.7	85	0.15	12.36	85	2.8	1.138

Tablo A.6.b. Deney motorunda LPG ile tam gaz açıklığında hesaplanan değerler.

(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 3/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N_e	M_d	p_{me}
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	15.45	7.376	7.191
2000	19.6	7.018	6.842
2500	27	7.734	7.54
3000	32.1	7.663	7.54

Tablo A.7.a. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t_{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500	10.1	82	4.91	10.98	223	0.4	0.862
2000	9.3	82	5.59	10.75	221	0.3	0.856
2500	8.2	83	2.49	12.96	159	0.4	0.944
3000	7.05	83	3.79	12.03	171	0.3	0.913
3500	5.6	83	6.7	10.04	323	0.3	0.825

Tablo A.7.b. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	N _e	M _d	P _{me}
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	15.15	7.233	7.051
2000	18.6	6.661	6.493
2500	20.5	5.872	5.725
3000	21.15	5.049	4.922
3500	19.6	4.011	3.91

Tablo A.8.a. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' larzengin karışım bölgesinde alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	t_{su}	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	°C	%	%	ppm	%	analizör
1500							
2000	9.1	83	8.5	8.93	292	0.3	0.772
2500	8.1	83	9.12	8.74	303	0.2	0.774
3000	6.9	84	8.95	8.91	308	0.2	0.769
3500	5.55	84	8.6	8.84	458	0.3	0.779

Tablo A.8.b. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	Ne	Md	pme
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500			
2000	18.2	6.517	6.353
2500	20.25	5.801	5.655
3000	20.7	4.941	4.817
3500	19.425	3.974	3.875

Tablo A.9.a. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	tsu	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	° C	%	%	ppm	%	analizör
1500							
2000	7.8	83	0.06	12.02	76	3.7	1.189
2500	7.9	83	0.13	13.11	71	2.2	1.09
3000	6.4	84	0.45	13.08	63	2	1.088
3500	5.4	84	0.56	13.02	54	1.9	1.077

Tablo A.9.b. Deney motorunda LPG ile 2/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 2/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	Ne	Md	pme
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500			
2000	15.6	5.586	5.446
2500	19.75	5.657	5.515
3000	19.2	4.583	4.468
3500	18.9	3.867	3.77

Tablo A.10.a. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	tsu	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	° C	%	%	ppm	%	analizör
1500	7.8	81	1.27	12.57	150	0.7	0.935
2000	6.15	81	1.06	13.28	117	0.9	0.986
2500	4.4	82	3.46	12.11	166	0.4	0.905
3000	2.9	82	3.45	11.73	157	0.3	0.893

Tablo A.10.b. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar motordan maksimum güç alınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	Ne	Md	pme
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	11.7	5.586	5.446
2000	12.3	4.404	4.294
2500	11	3.151	3.072
3000	8.7	2.076	2.024

Tablo A.11.a. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 °KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	tsu	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	° C	%	%	ppm	%	analizör
1500	7.5	81	9.12	8.01	305	0.7	0.758
2000	6	81	9.55	8.15	314	0.3	0.741
2500	4.35	82	9.69	8.08	298	0.3	0.742
3000	2.5	82	8.87	8.54	301	0.4	0.776

Tablo A.11.b. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar zengin karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	Ne	Md	pme
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	11.25	5.371	5.236
2000	12	4.297	4.189
2500	10.875	3.115	3.037
3000	7.5	1.791	1.745

Tablo A.12.a. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında ölçülen değerler.
(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	F	tsu	CO	CO ₂	HC	O ₂	HFK
d/d	Kg	° C	%	%	ppm	%	analizör
1500	7	81	0.1	12.59	104	2.5	1.12
2000	4.35	81	0.1	12.71	63	2.3	1.119
2500	3.5	82	0.06	11.78	77	4.1	1.229
3000	2.3	82	0.18	12.83	53	2.3	1.111

Tablo A.12.b. Deney motorunda LPG ile 1/3 gaz açıklığında hesaplanan değerler.
(HFK' lar fakir karışım bölgesinde kalınacak şekilde gaz analizöründen ayarlanmıştır.)

Yakıt : LPG, Gaz Açıklığı : 1/3 , AA : 12 ° KMA , $p_a = 1013$ mbar , $t_a = 15$ °C

n	Ne	Md	pme
d/d	BG	Kgm	Kg/cm ²
1500	10.5	5.013	4.887
2000	8.7	3.115	3.054
2500	8.75	2.506	2.429
3000	6.9	1.647	1.605

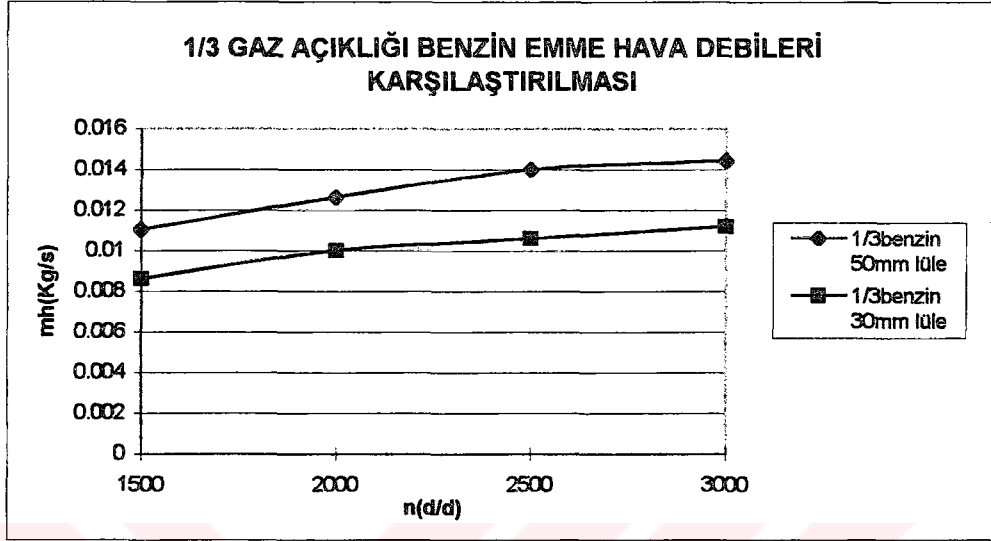
Not: LPG ile tam gaz açıklığında fakir ve zengin karışım bölgelerinde egzoz manifoldunun aşırı ısınması nedeniyle, 2/3 gaz açıklığında ise fakir ve zengin karışımlarda 1500 d/dak' da titreşimlerin artması nedeniyle ölçüm yapılmamıştır.



Ek B : Benzin ile çalışmada motor performansına ve egzoz emisyonlarına hava deposu üzerindeki lüle çaplarının değişiminin etkisi

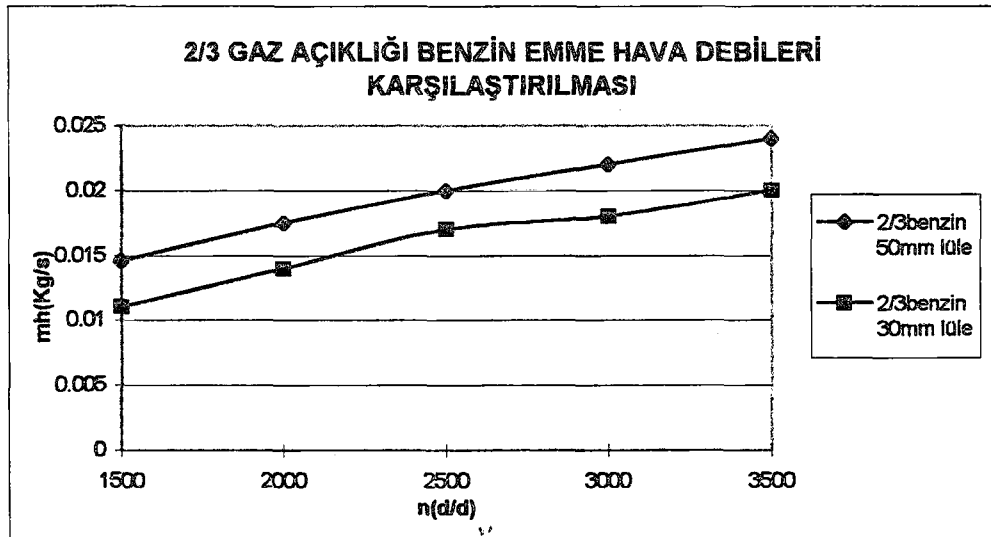


n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle	1/3benzin 30mm lüle
	m_h (Kg/s)	m_h (Kg/s)
1500	0.01106	0.0086
2000	0.01262	0.01
2500	0.014	0.0106
3000	0.01443	0.0112



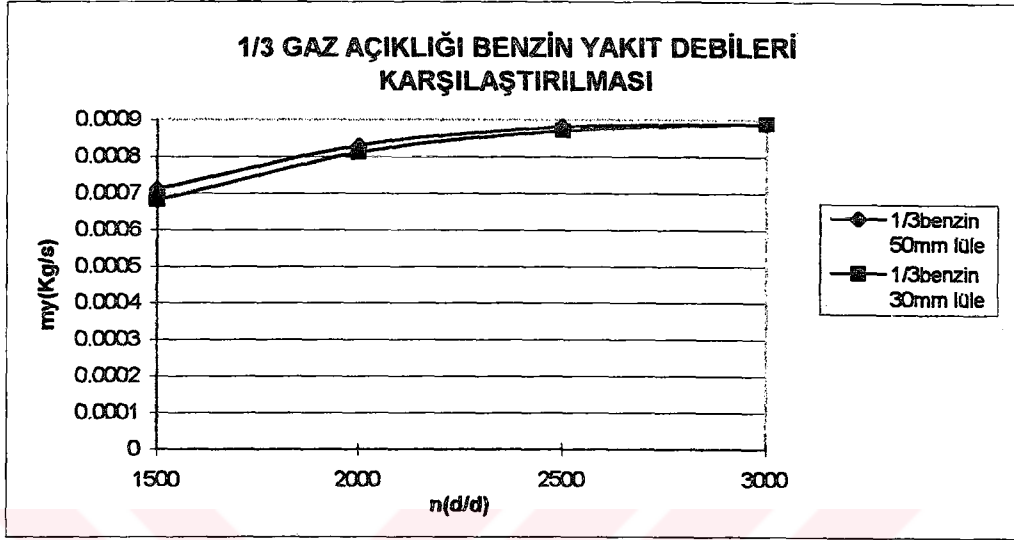
Şekil B.1 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen emme hava debileri karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle	2/3benzin 30mm lüle
	m_h (Kg/s)	m_h (Kg/s)
1500	0.0146	0.011
2000	0.0175	0.014
2500	0.02	0.017
3000	0.022	0.018
3500	0.024	0.02



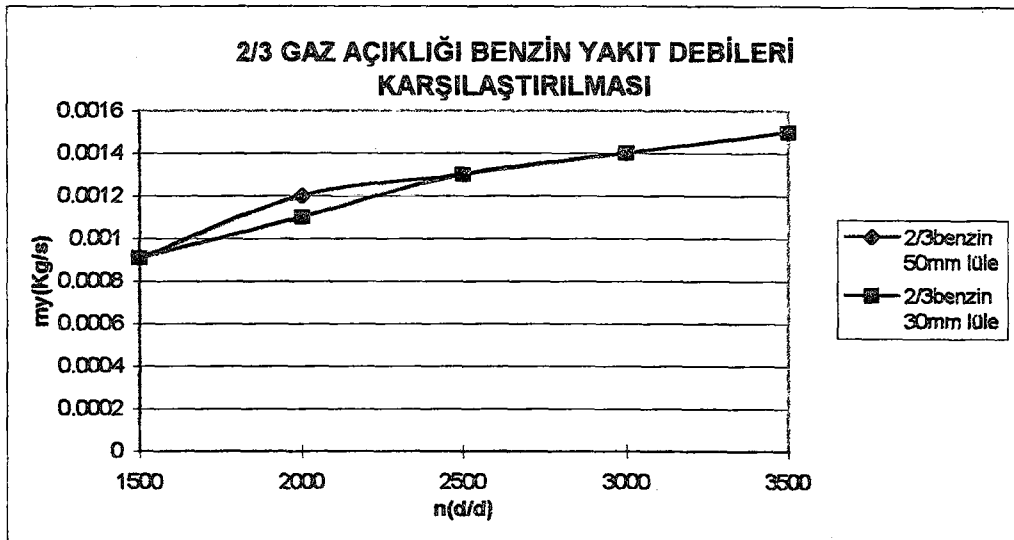
Şekil B.2 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen emme hava debileri karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle m_y (Kg/s)	1/3benzin 30mm lüle m_y (Kg/s)
1500	0.00071	0.00068
2000	0.00083	0.00081
2500	0.00088	0.00087
3000	0.00089	0.00089



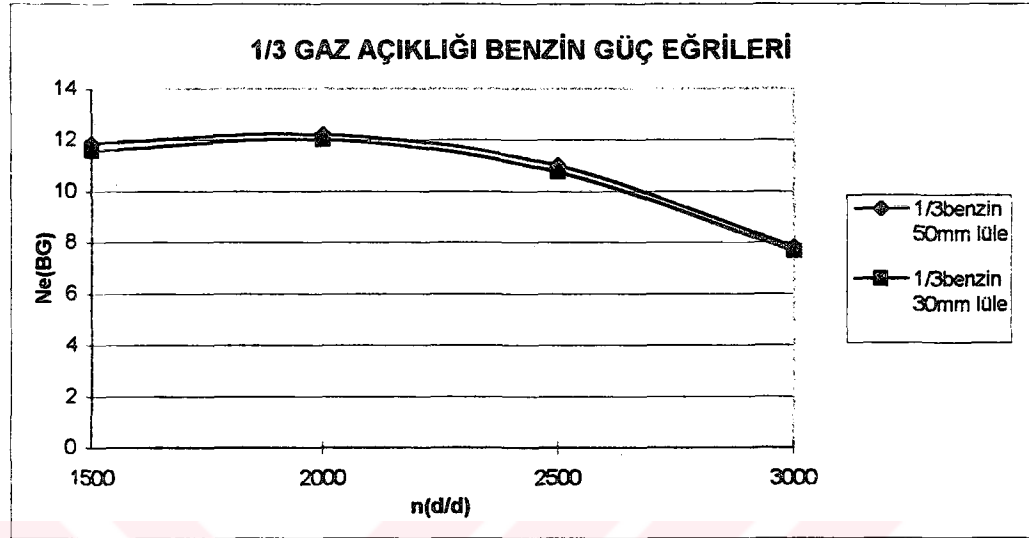
Şekil B.3 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen yakıt debileri karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle m_y (Kg/s)	2/3benzin 30mm lüle m_y (Kg/s)
1500	0.00091	0.00091
2000	0.0012	0.0011
2500	0.0013	0.0013
3000	0.0014	0.0014
3500	0.0015	0.0015



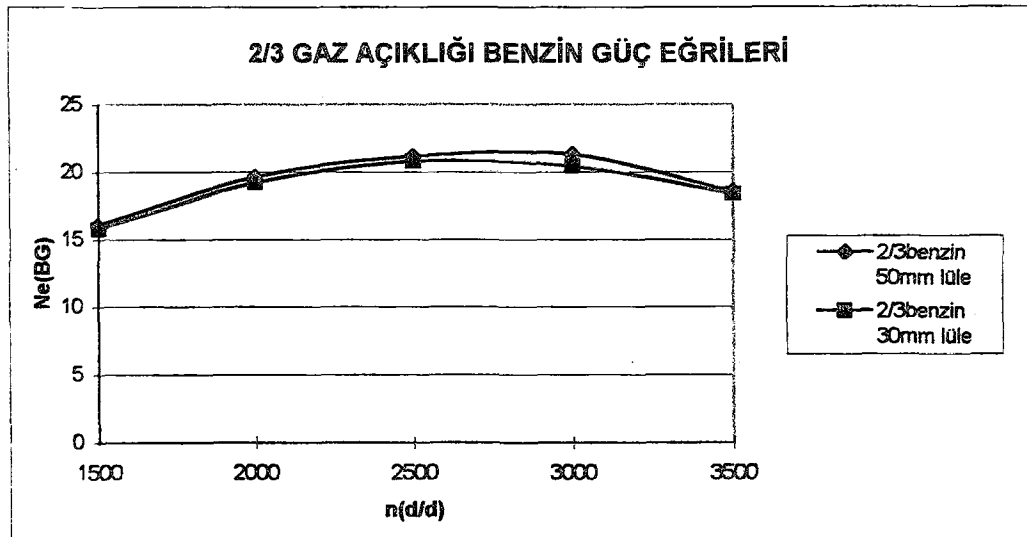
Şekil B.4 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen yakıt debileri karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle Ne (BG)	1/3benzin 30mm lüle Ne (BG)
1500	11.85	11.55
2000	12.2	12
2500	11	10.75
3000	7.8	7.65



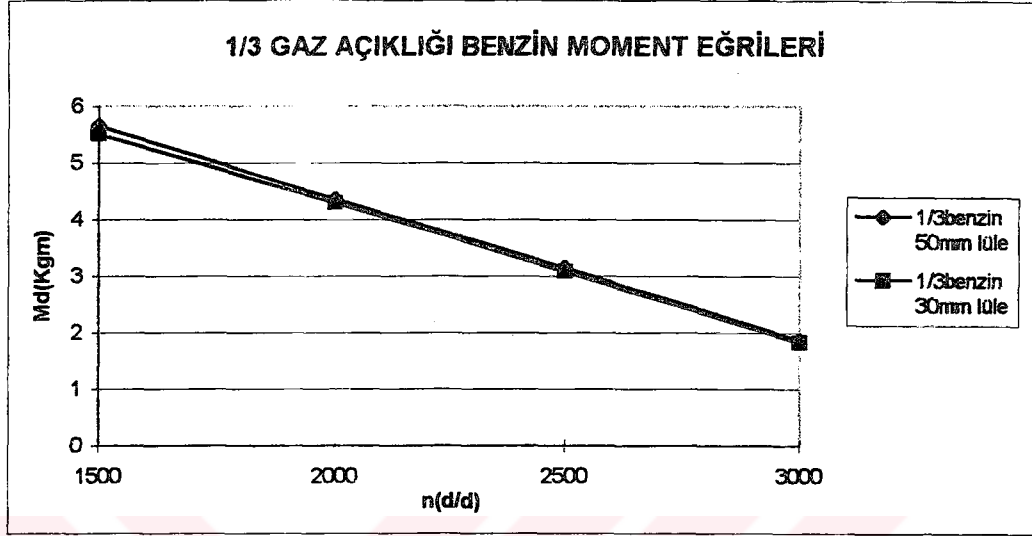
Şekil B.5 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30 mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen güç eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle Ne (BG)	2/3benzin 30mm lüle Ne (BG)
1500	16.05	15.75
2000	19.6	19.2
2500	21.125	20.75
3000	21.3	20.4
3500	18.55	18.375



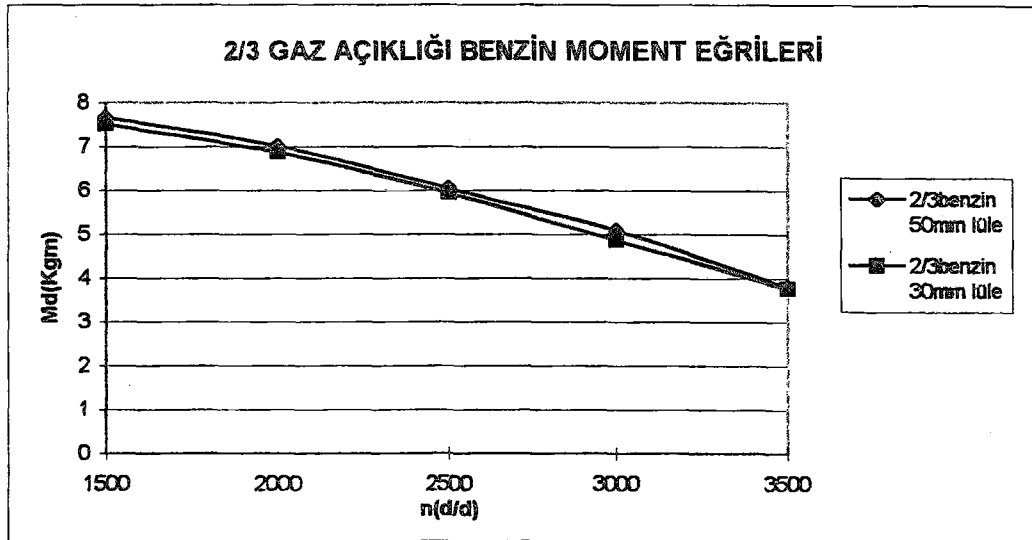
Şekil B.6 Benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen güç eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle Md (Kgm)	1/3benzin 30mm lüle Md (Kgm)
1500	5.657	5.514
2000	4.368	4.298
2500	3.151	3.081
3000	1.862	1.826



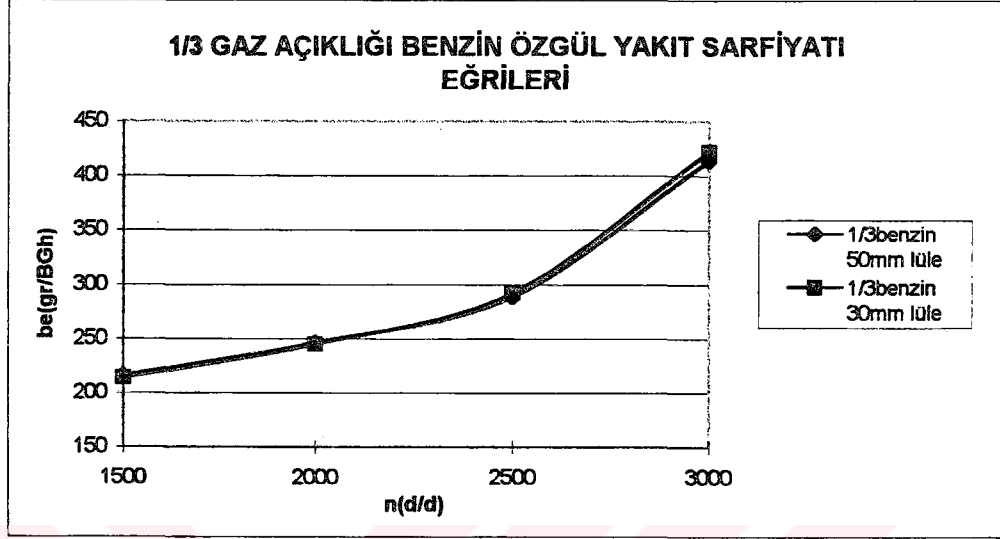
Şekil B.7 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen moment eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle Md (Kgm)	2/3benzin 30mm lüle Md (Kgm)
1500	7.663	7.52
2000	7.018	6.875
2500	6.051	5.944
3000	5.085	4.87
3500	3.795	3.761



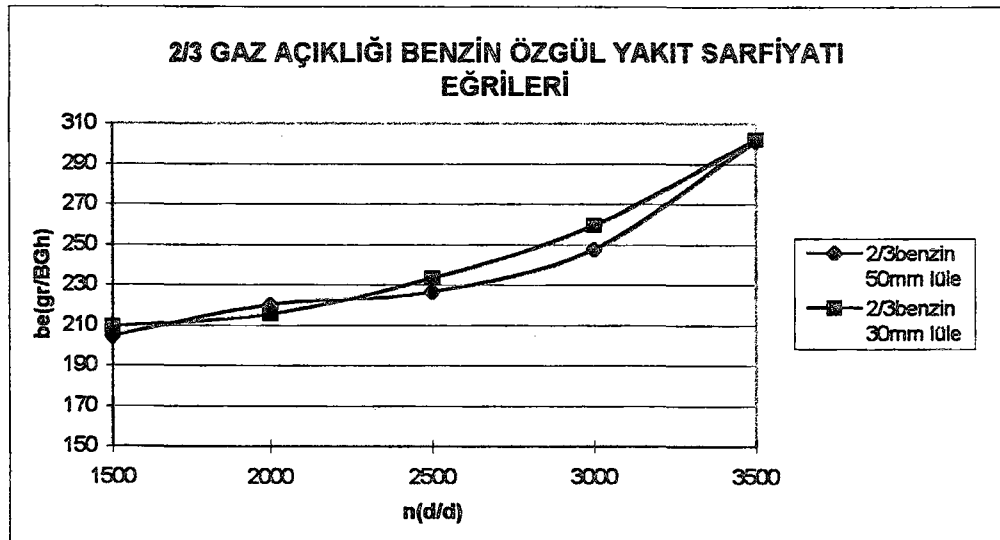
Şekil B.8 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen moment eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle be (gr/BGh)	1/3benzin 30mm lüle be (gr/BGh)
1500	216.088	213.438
2000	246.461	244.456
2500	288.654	291.865
3000	413.696	421.807



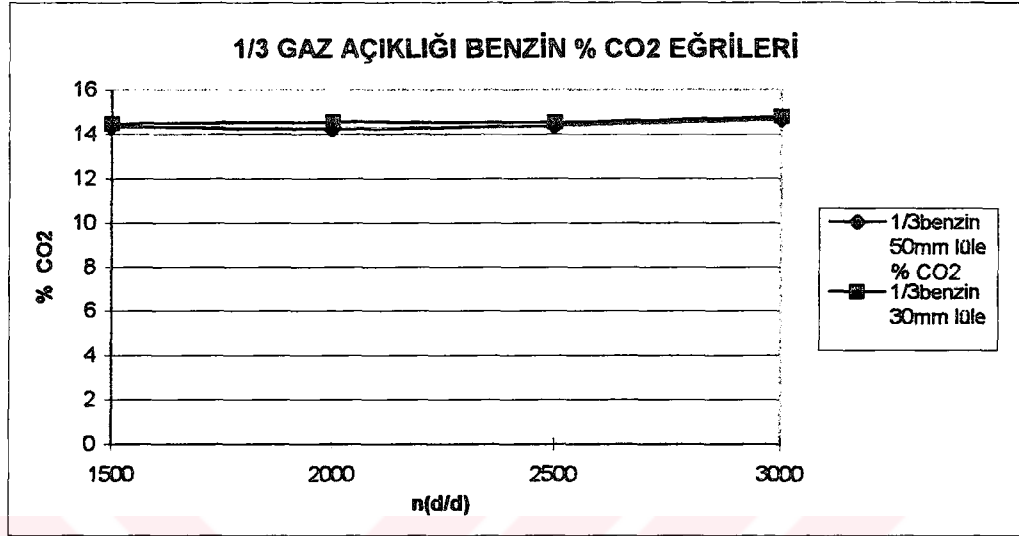
Şekil B.9 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen yakıt sarfiyatı eğrilerinin mukayesesi.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle be (gr/BGh)	2/3benzin 30mm lüle be (gr/BGh)
1500	204.371	209.128
2000	220.108	215.332
2500	226.363	233.264
3000	247.46	259.411
3500	301.353	302.097



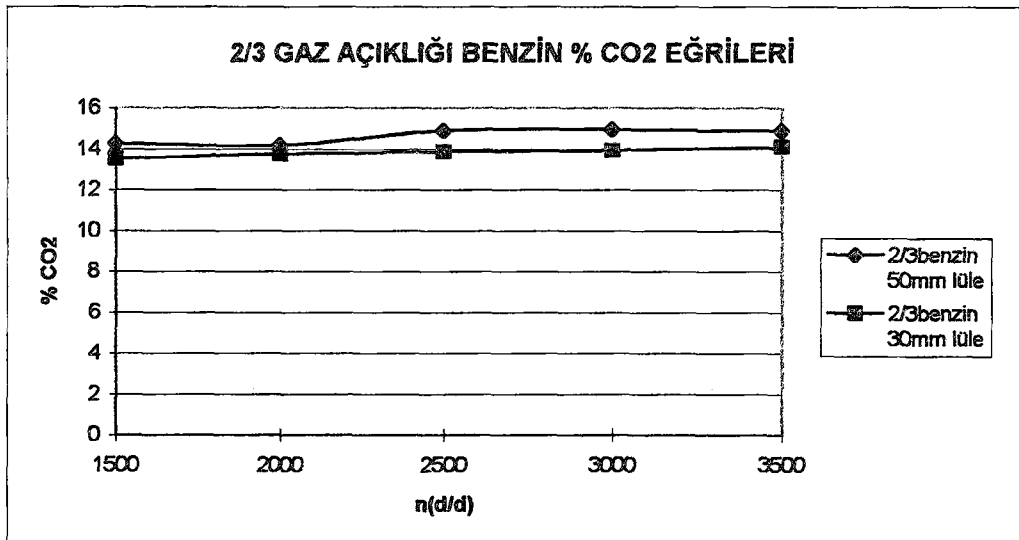
Şekil B.10 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30 mm'lik ve 50mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen yakıt sarfiyatı eğrilerinin mukayesesi.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle % CO ₂	1/3benzin 30mm lüle % CO ₂
1500	14.34	14.47
2000	14.22	14.56
2500	14.36	14.53
3000	14.67	14.79



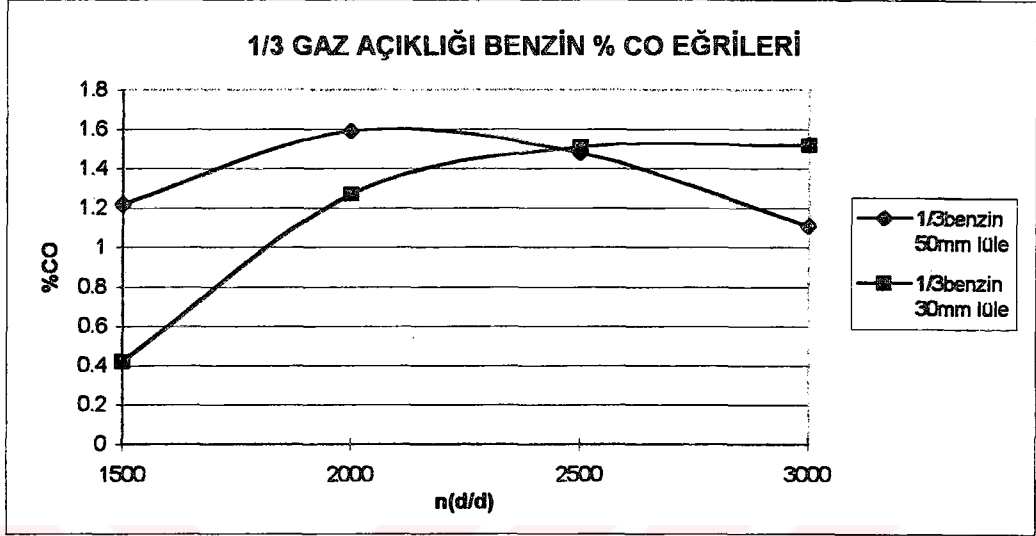
Şekil B.11 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO₂ eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle % CO ₂	2/3benzin 30mm lüle % CO ₂
1500	14.26	13.52
2000	14.18	13.72
2500	14.89	13.86
3000	14.97	13.93
3500	14.91	14.12



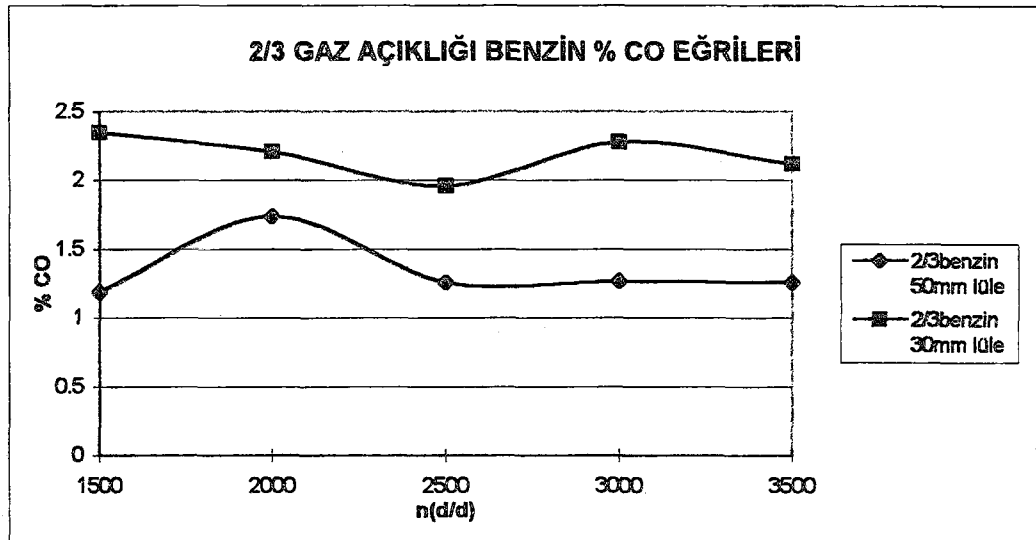
Şekil B.12 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO₂ eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle % CO	1/3benzin 30mm lüle % CO
1500	1.22	0.42
2000	1.59	1.27
2500	1.48	1.51
3000	1.11	1.52



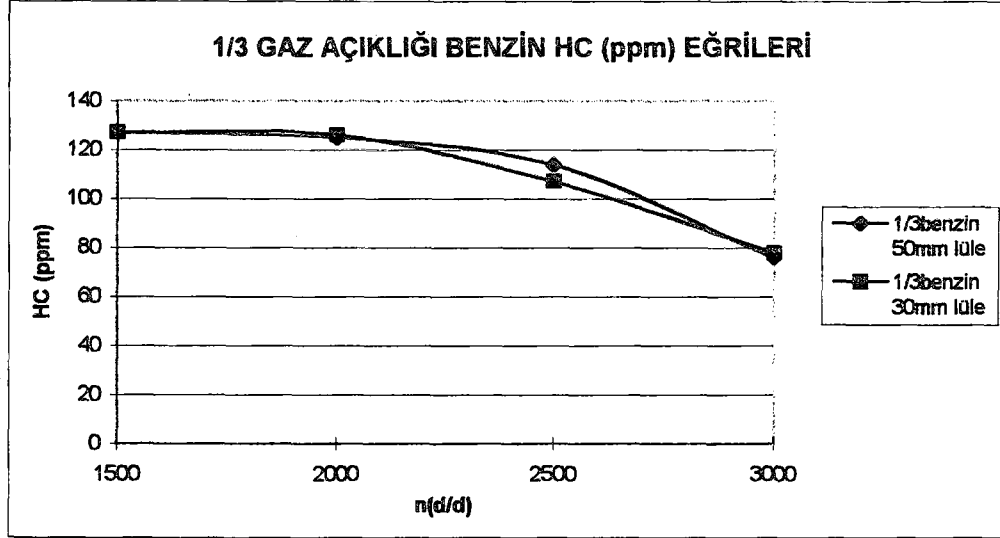
Şekil B.13 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30 mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle % CO	2/3benzin 30mm lüle % CO
1500	1.19	2.35
2000	1.74	2.21
2500	1.26	1.96
3000	1.27	2.28
3500	1.26	2.12



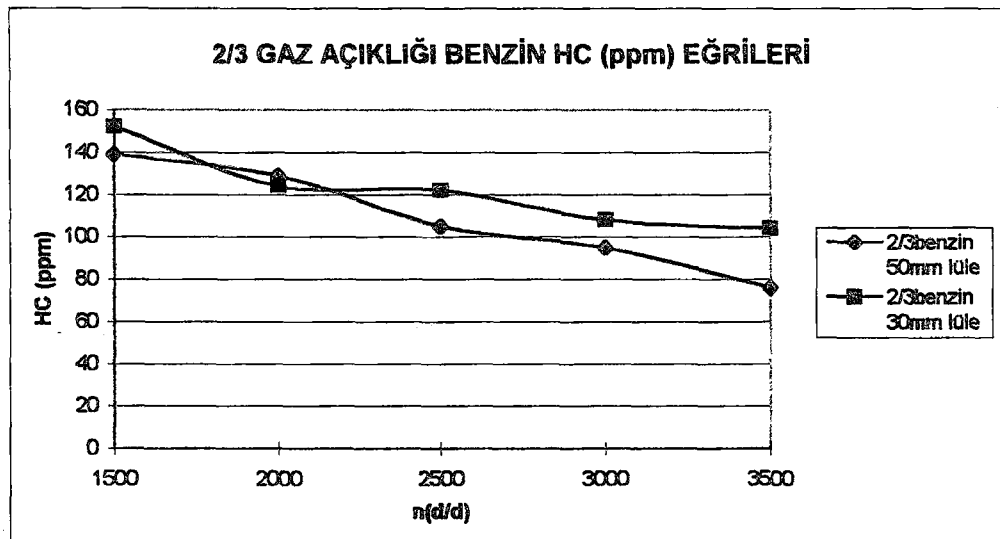
Şekil B.14 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30 mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen % CO eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle HC (ppm)	1/3benzin 30mm lüle HC (ppm)
1500	127	127
2000	125	126
2500	114	107
3000	76	78



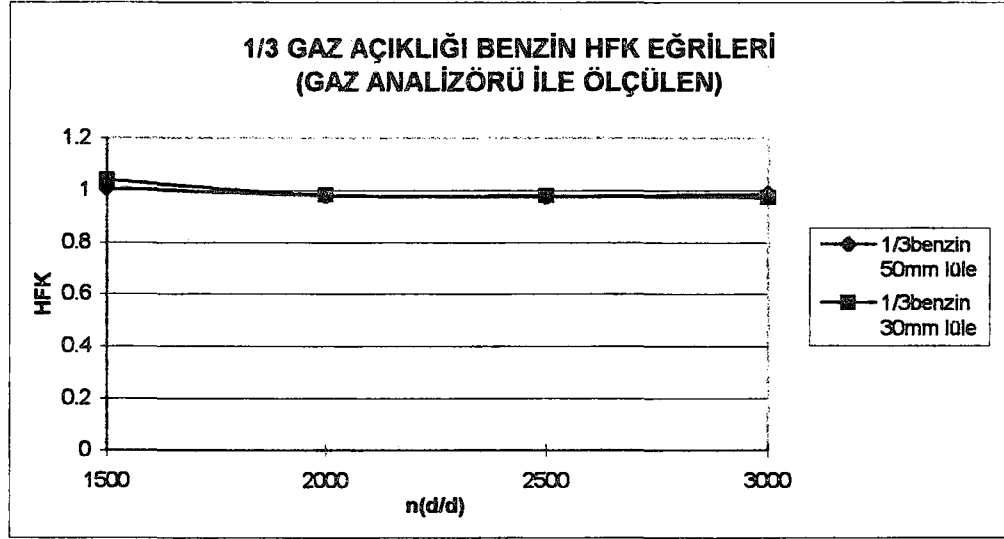
Şekil B.15 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen HC (ppm) eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle HC (ppm)	2/3benzin 30mm lüle HC (ppm)
1500	139	152
2000	129	124
2500	105	122
3000	95	108
3500	76	104



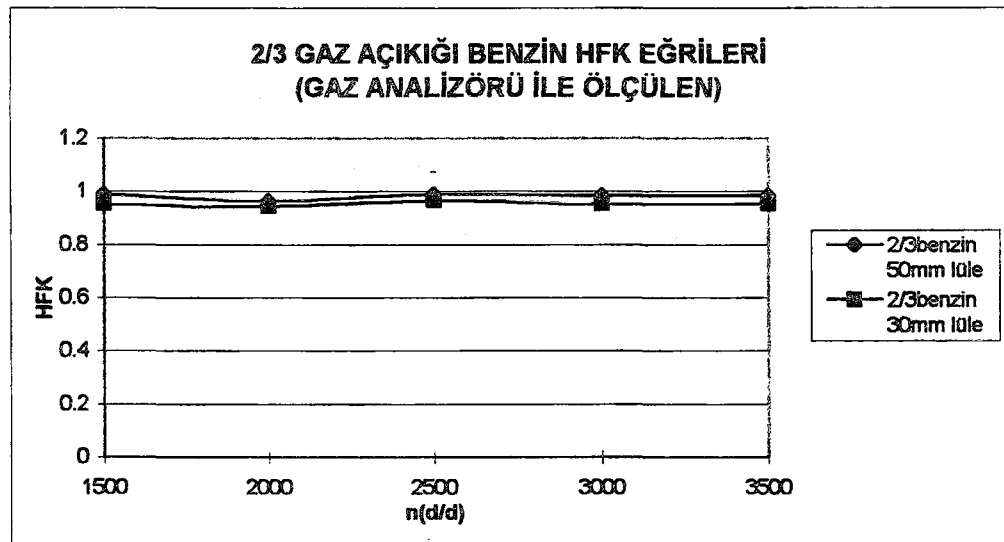
Şekil B.16 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen HC (ppm) eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	1/3benzin 50mm lüle HFK	1/3benzin 30mm lüle HFK
1500	1.009	1.04
2000	0.979	0.982
2500	0.975	0.981
3000	0.986	0.973



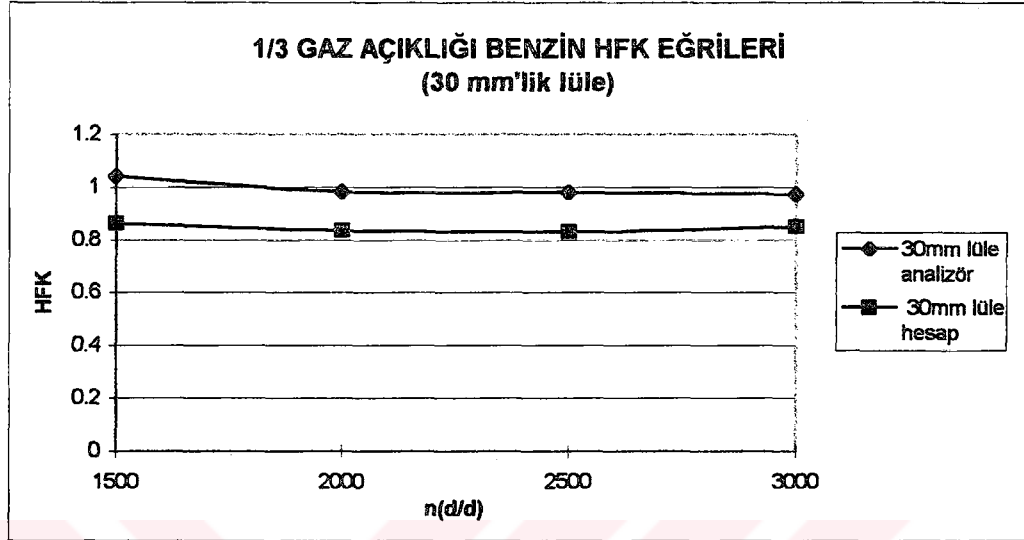
Şekil B.17 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen HFK eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	2/3benzin 50mm lüle HFK	2/3benzin 30mm lüle HFK
1500	0.988	0.952
2000	0.965	0.943
2500	0.989	0.965
3000	0.984	0.952
3500	0.983	0.953



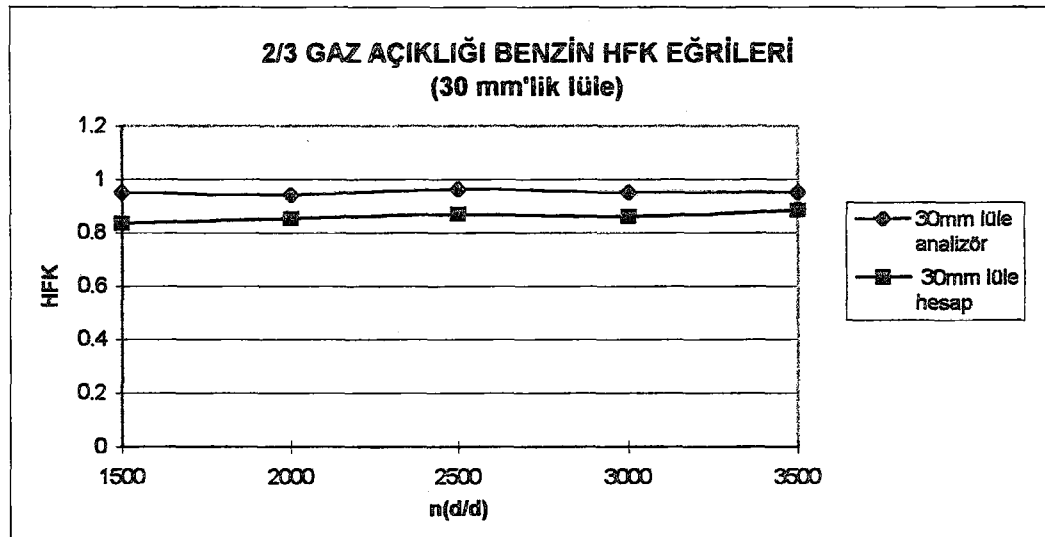
Şekil B.18 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik ve 50 mm'lik lüleler kullanılarak elde edilen HFK eğrilerinin karşılaştırılması.

n(d/d)	30mm lüle analizör HFK	30mm lüle hesap HFK
1500	1.04	0.863
2000	0.982	0.837
2500	0.981	0.831
3000	0.973	0.851



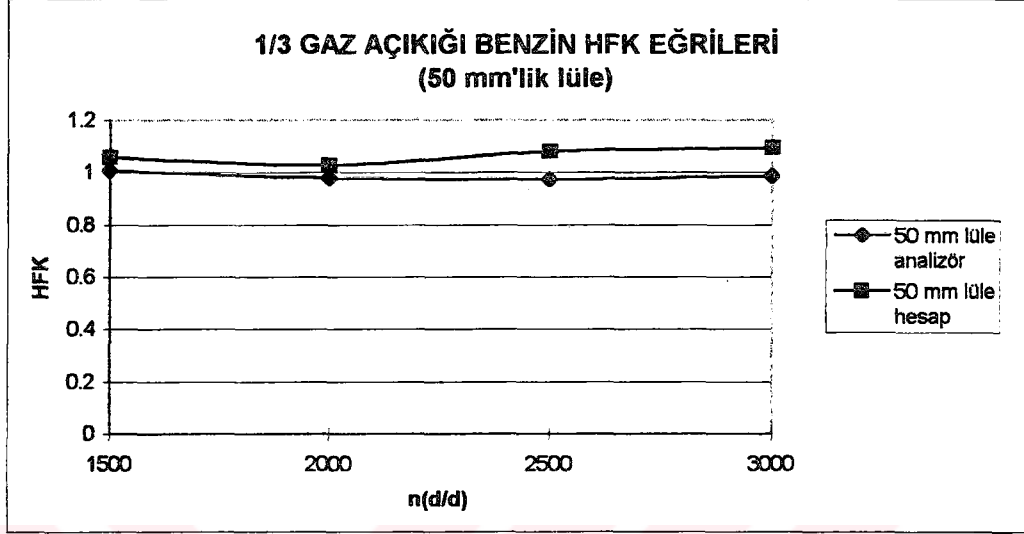
Şekil B.19 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.

n(d/d)	30mm lüle analizör HFK	30mm lüle hesap HFK
1500	0.952	0.834
2000	0.943	0.853
2500	0.965	0.87
3000	0.952	0.86
3500	0.953	0.885



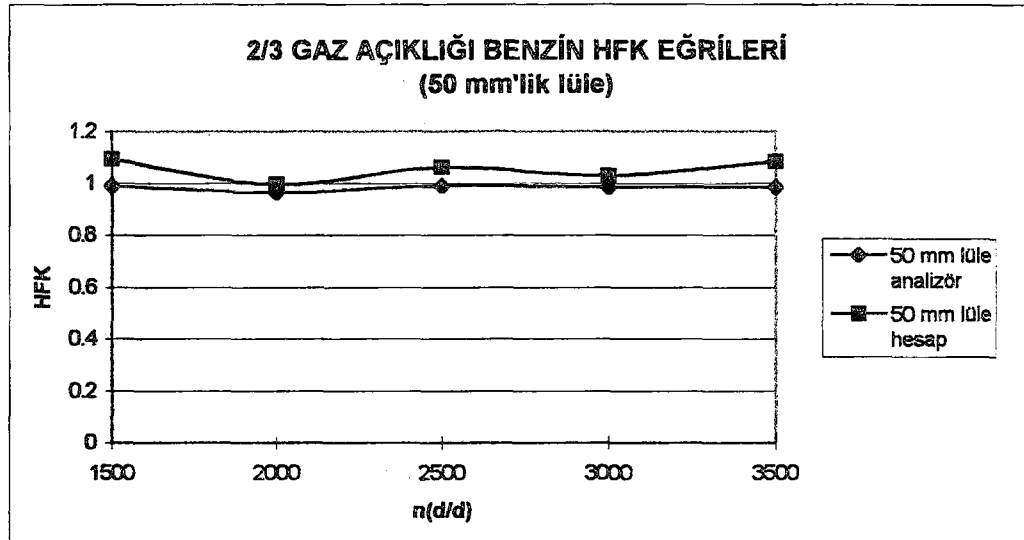
Şekil B.20 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 30mm'lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.

n(d/d)	50 mm lüle analizör HFK	50 mm lüle hesap HFK
1500	1.009	1.058
2000	0.979	1.028
2500	0.975	1.079
3000	0.986	1.095



Şekil B.21 Benzinle 1/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 50mm'lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.

n(d/d)	50 mm lüle analizör HFK	50 mm lüle hesap HFK
1500	0.988	1.093
2000	0.965	0.993
2500	0.989	1.06
3000	0.984	1.028
3500	0.983	1.084

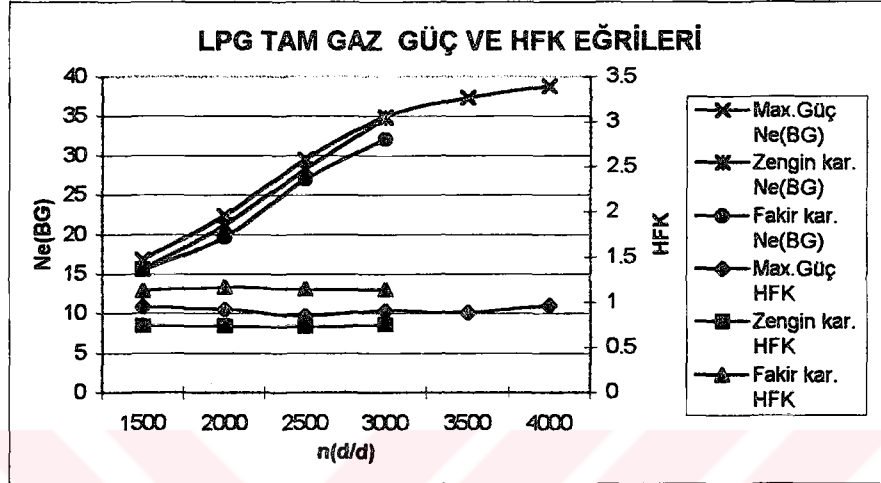


Şekil B.22 Benzinle 2/3 gaz açıklığında hava deposu üzerinde 50mm'lik lüle kullanılarak analizörden ölçülen ve hesaplanan HFK eğrilerinin mukayesesi.

Ek C : LPG ile benzinin yapılan deneyler sonucunda motor yakıtı olarak karşılaştırılması. (Motor performansları ve egzoz emisyonları açısından.)

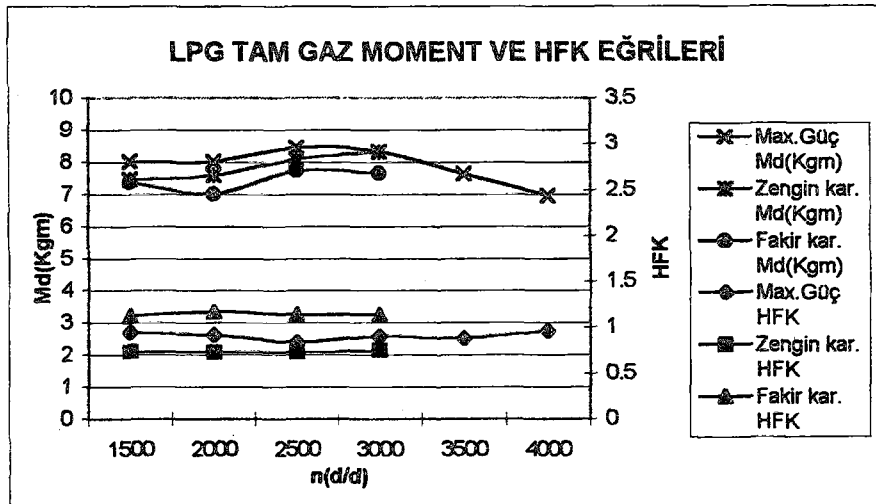


n(d/d)	Max.Güç Ne(BG)	Zengin kar. Ne(BG)	Fakir kar. Ne(BG)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	16.8	15.6	15.45	0.948	0.735	1.124
2000	22.4	21.2	19.6	0.922	0.731	1.171
2500	29.5	28.25	27	0.845	0.729	1.145
3000	34.95	34.8	32.1	0.908	0.751	1.138
3500	37.275			0.885		
4000	38.8			0.959		



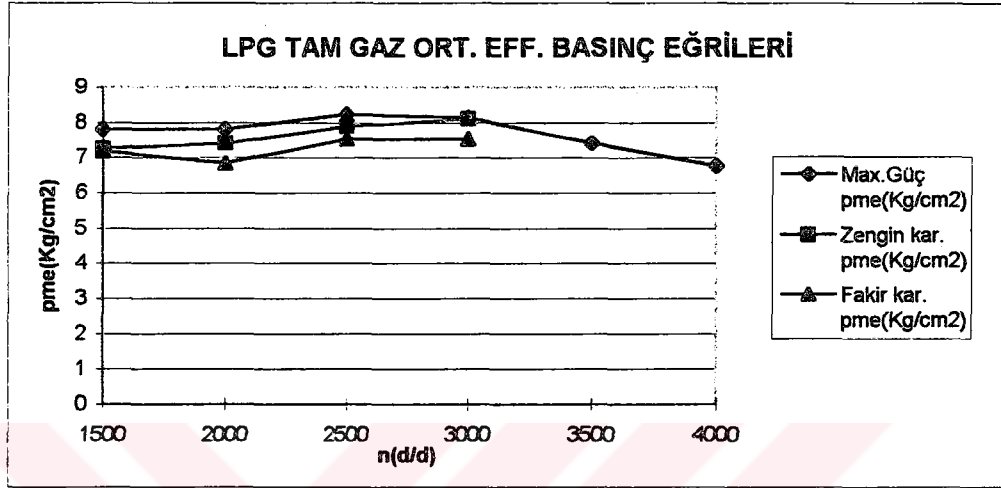
Şekil C.1 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor gücünün değişimi.

n(d/d)	Max.Güç Md(Kgm)	Zengin kar. Md(Kgm)	Fakir kar. Md(Kgm)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	8.021	7.448	7.376	0.948	0.735	1.124
2000	8.021	7.591	7.018	0.922	0.731	1.171
2500	8.451	8.093	7.734	0.845	0.729	1.145
3000	8.343	8.307	7.663	0.908	0.751	1.138
3500	7.627			0.885		
4000	6.947			0.959		



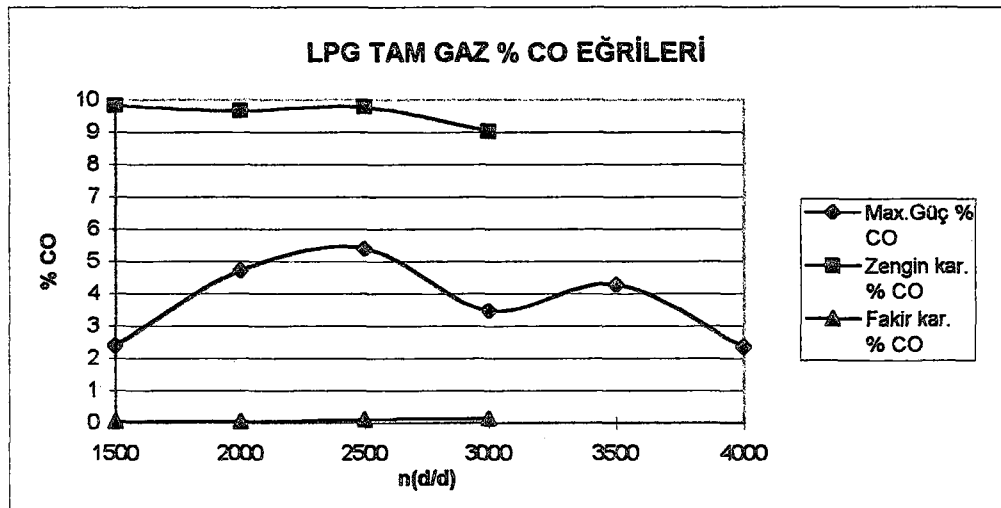
Şekil C.2 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor momentinin değişimi.

n(d/d)	Max.Güç pme(Kg/cm ²)	Zengin kar. pme(Kg/cm ²)	Fakir kar. pme(Kg/cm ²)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	7.82	7.261	7.191	0.948	0.735	1.124
2000	7.82	7.401	6.842	0.922	0.731	1.171
2500	8.238	7.889	7.54	0.845	0.729	1.145
3000	8.134	8.099	7.54	0.908	0.751	1.138
3500	7.435			0.885		
4000	6.772			0.959		



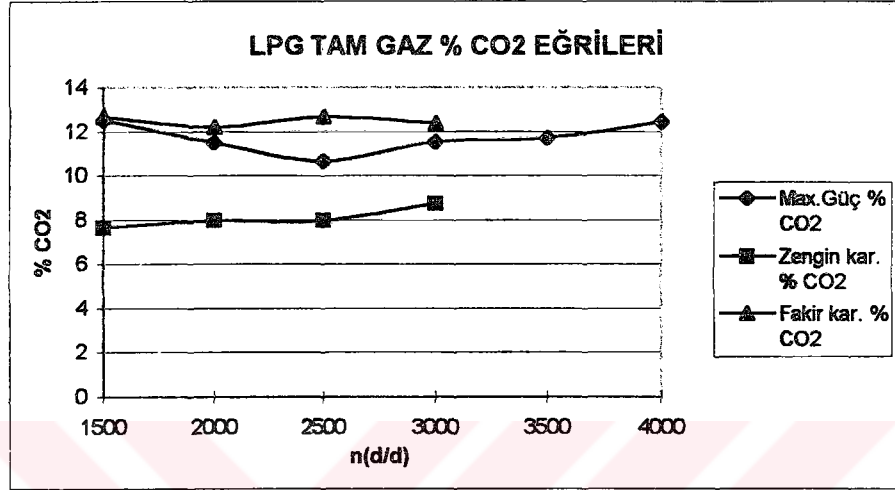
Şekil C.3 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile ortalama efektif basıncın değişimi.

n(d/d)	Max.Güç % CO	Zengin kar. % CO	Fakir kar. % CO	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	2.41	9.82	0.05	0.948	0.735	1.124
2000	4.72	9.66	0.05	0.922	0.731	1.171
2500	5.41	9.78	0.1	0.845	0.729	1.145
3000	3.48	9.02	0.15	0.908	0.751	1.138
3500	4.28			0.885		
4000	2.36			0.959		



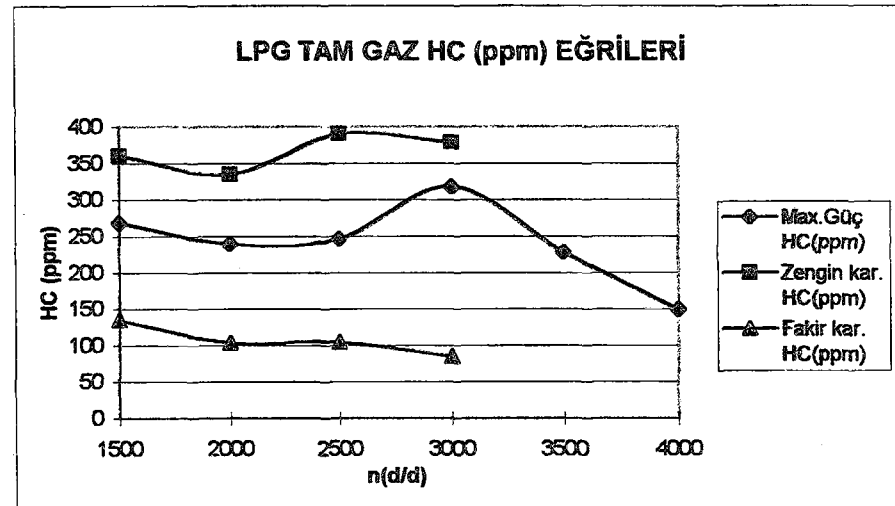
Şekil C.4 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç % CO ₂	Zengin kar. % CO ₂	Fakir kar. % CO ₂	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	12.51	7.65	12.66	0.948	0.735	1.124
2000	11.49	7.97	12.18	0.922	0.731	1.171
2500	10.65	7.96	12.65	0.845	0.729	1.145
3000	11.52	8.72	12.36	0.908	0.751	1.138
3500	11.69			0.885		
4000	12.42			0.959		



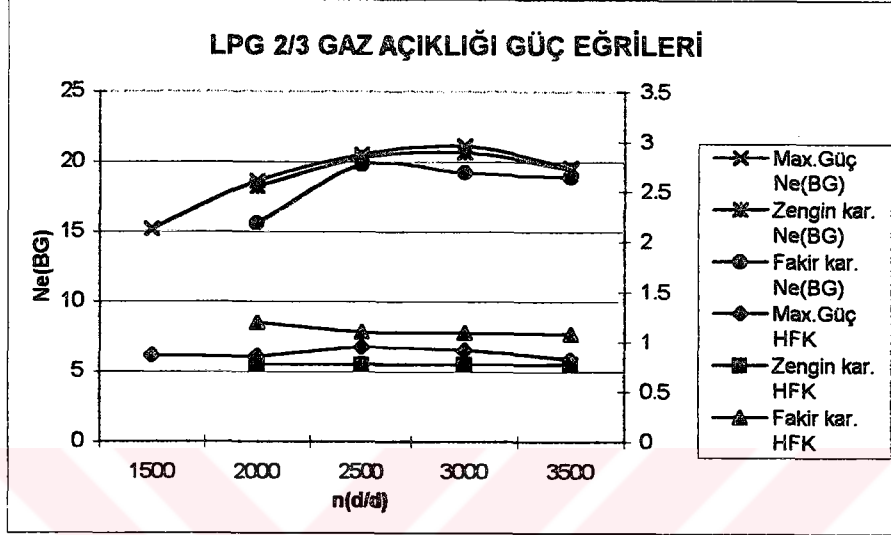
Şekil C.5 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç HC(ppm)	Zengin kar. HC(ppm)	Fakir kar. HC(ppm)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	268	360	135	0.948	0.735	1.124
2000	239	335	103	0.922	0.731	1.171
2500	246	390	104	0.845	0.729	1.145
3000	318	379	85	0.908	0.751	1.138
3500	228			0.885		
4000	149			0.959		



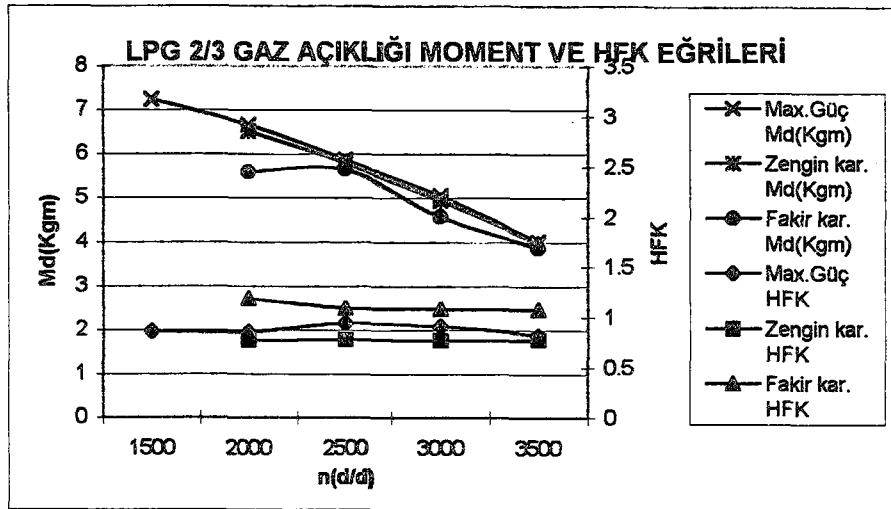
Şekil C.6 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç Ne(BG)	Zengin kar. Ne(BG)	Fakir kar. Ne(BG)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	15.15			0.862		
2000	18.6	18.2	15.6	0.856	0.772	1.189
2500	20.5	20.25	19.75	0.944	0.774	1.091
3000	21.15	20.7	19.2	0.913	0.769	1.088
3500	19.6	19.425	18.9	0.825	0.779	1.077



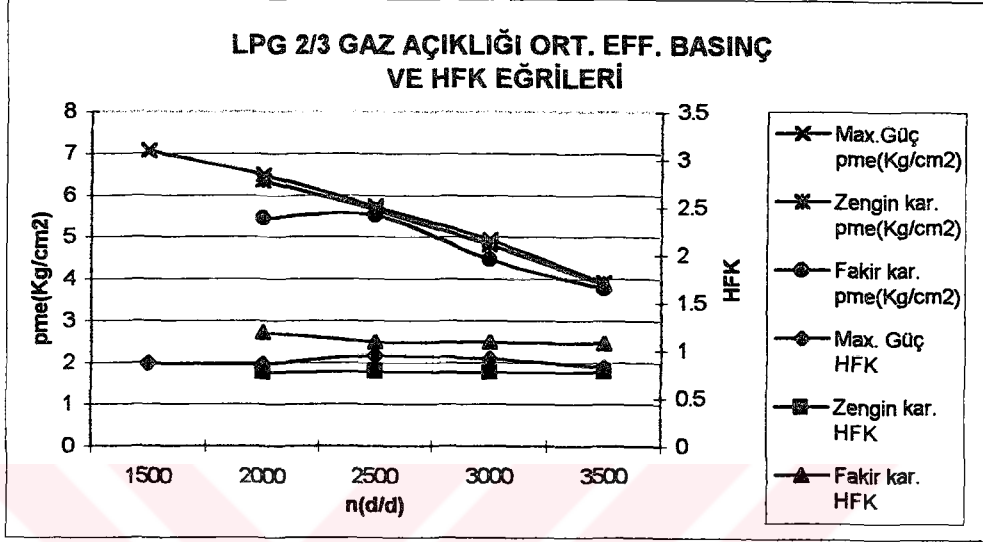
Şekil C.7 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor gücünün değişimi.

n(d/d)	Max.Güç Md(Kgm)	Zengin kar. Md(Kgm)	Fakir kar. Md(Kgm)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	7.233			0.862		
2000	6.661	6.517	5.586	0.856	0.772	1.189
2500	5.872	5.801	5.657	0.944	0.774	1.091
3000	5.049	4.941	4.583	0.913	0.769	1.088
3500	4.011	3.974	3.867	0.825	0.779	1.077



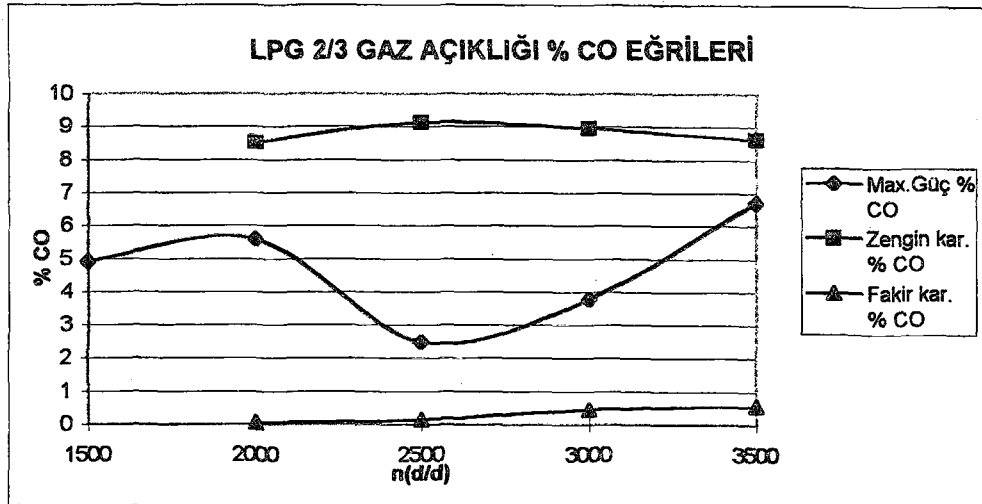
Şekil C.8 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor momentinin değişimi.

n(d/d)	Max.Güç pme(Kg/cm ²)	Zengin kar. pme(Kg/cm ²)	Fakir kar. pme(Kg/cm ²)	Max. Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	7.051			0.862		
2000	6.493	6.353	5.446	0.856	0.772	1.189
2500	5.725	5.655	5.515	0.944	0.774	1.091
3000	4.922	4.817	4.468	0.913	0.769	1.088
3500	3.91	3.875	3.77	0.825	0.779	1.077



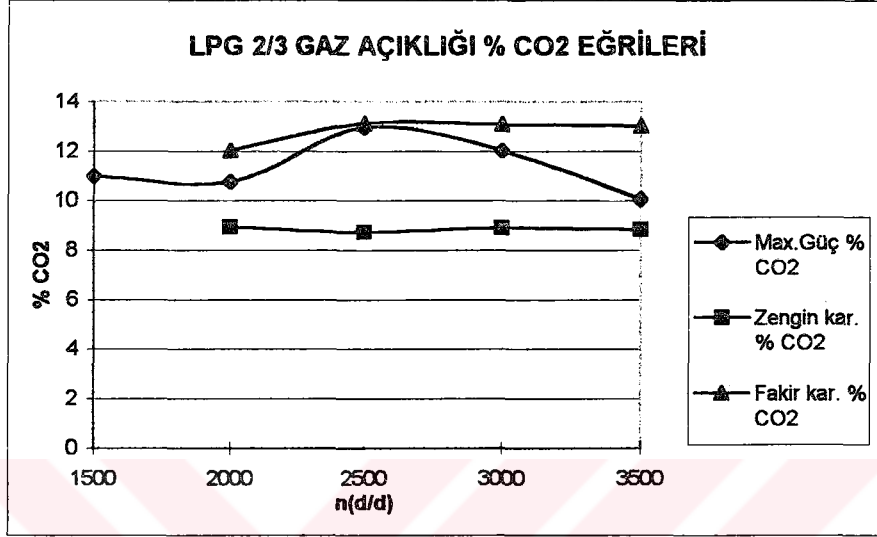
Şekil C.9 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile ortalama efektif basıncın değişimi.

n(d/d)	Max.Güç % CO	Zengin kar. % CO	Fakir kar. % CO	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	4.91			0.862		
2000	5.59	8.52	0.06	0.856	0.772	1.189
2500	2.49	9.12	0.13	0.944	0.774	1.091
3000	3.79	8.95	0.45	0.913	0.769	1.088
3500	6.7	8.61	0.56	0.825	0.779	1.077



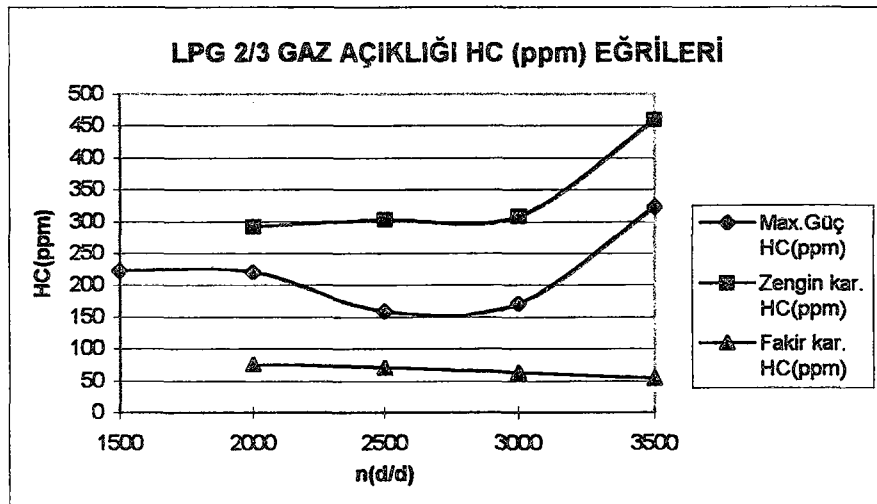
Şekil C.10 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç % CO ₂	Zengin kar. % CO ₂	Fakir kar. % CO ₂	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	10.98			0.862		
2000	10.75	8.93	12.02	0.856	0.772	1.189
2500	12.96	8.74	13.11	0.944	0.774	1.091
3000	12.03	8.91	13.08	0.913	0.769	1.088
3500	10.04	8.84	13.02	0.825	0.779	1.077



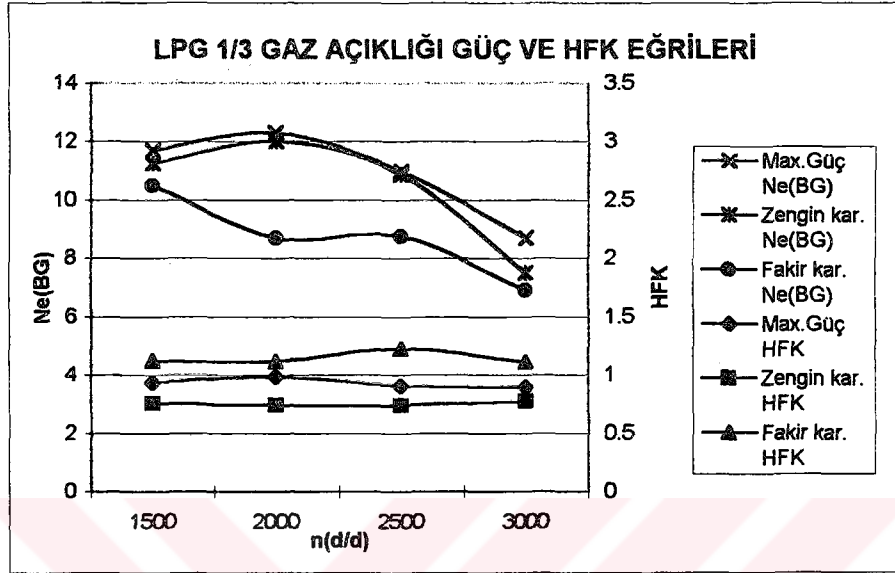
Şekil C.11 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç HC(ppm)	Zengin kar. HC(ppm)	Fakir kar. HC(ppm)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	223			0.862		
2000	221	292	76	0.856	0.772	1.189
2500	159	303	71	0.944	0.774	1.091
3000	171	308	63	0.913	0.769	1.088
3500	323	458	54	0.825	0.779	1.077



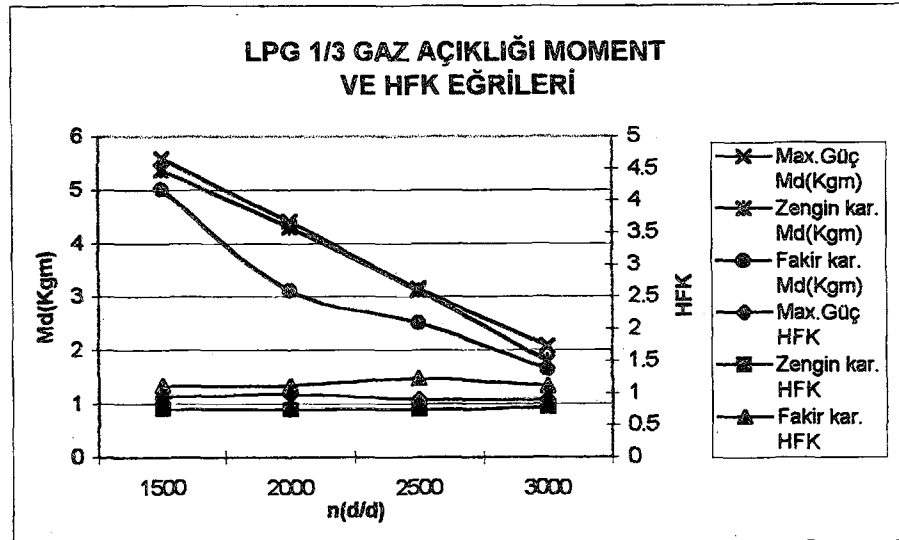
Şekil C.12 LPG ile 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç Ne(BG)	Zengin kar. Ne(BG)	Fakir kar. Ne(BG)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	11.7	11.25	10.5	0.935	0.758	1.12
2000	12.3	12	8.7	0.986	0.741	1.119
2500	11	10.875	8.75	0.905	0.742	1.229
3000	8.7	7.5	6.9	0.893	0.776	1.111



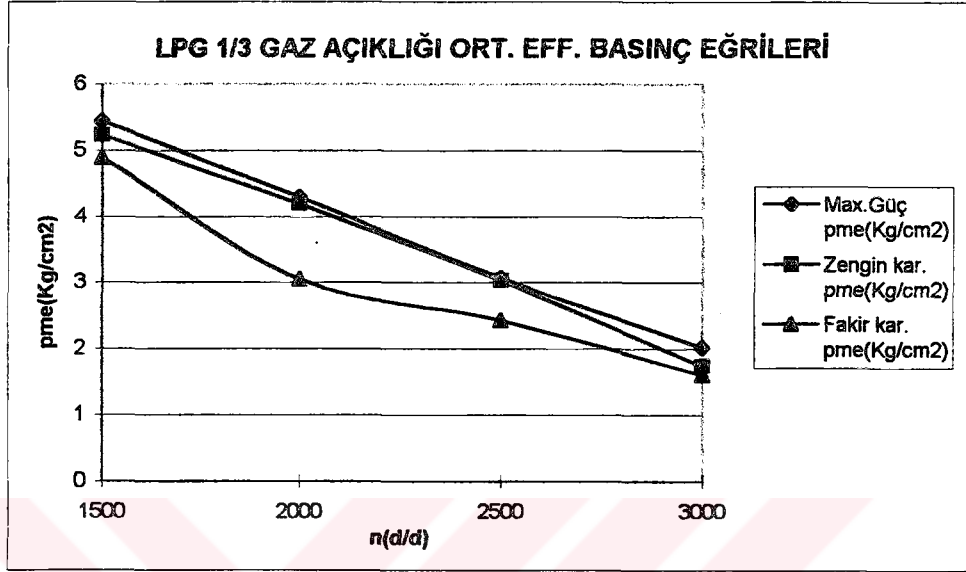
Şekil C.13 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor gücünün değişimi.

n(d/d)	Max.Güç Md(Kgm)	Zengin kar. Md(Kgm)	Fakir kar. Md(Kgm)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	5.586	5.371	5.013	0.935	0.758	1.12
2000	4.404	4.297	3.115	0.986	0.741	1.119
2500	3.151	3.115	2.506	0.905	0.742	1.229
3000	2.076	1.791	1.647	0.893	0.776	1.111



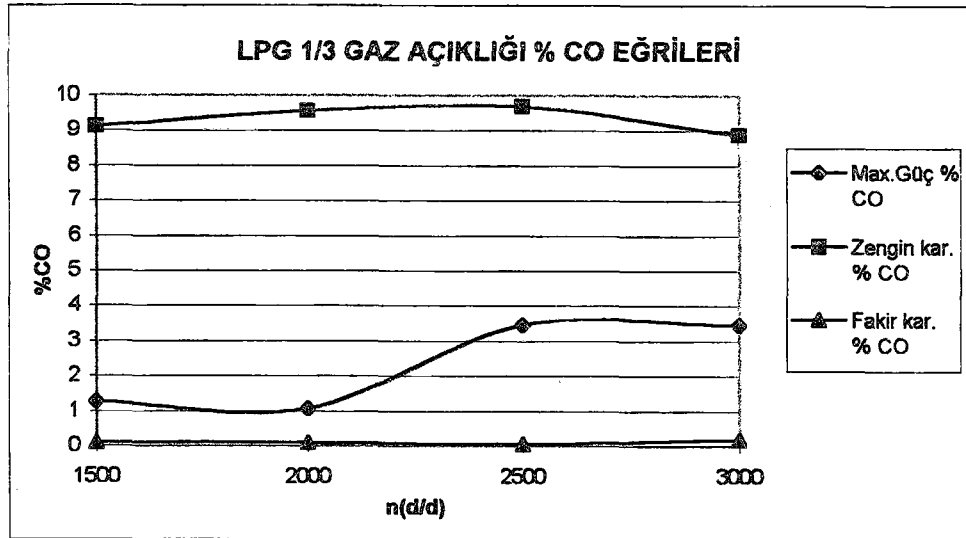
Şekil C.14 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile motor momentinin değişimi.

n(d/d)	Max.Güç pme(Kg/cm ²)	Zengin kar. pme(Kg/cm ²)	Fakir kar. pme(Kg/cm ²)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	5.446	5.236	4.887	0.935	0.758	1.12
2000	4.294	4.189	3.054	0.986	0.741	1.119
2500	3.072	3.037	2.429	0.905	0.742	1.229
3000	2.024	1.745	1.605	0.893	0.776	1.111



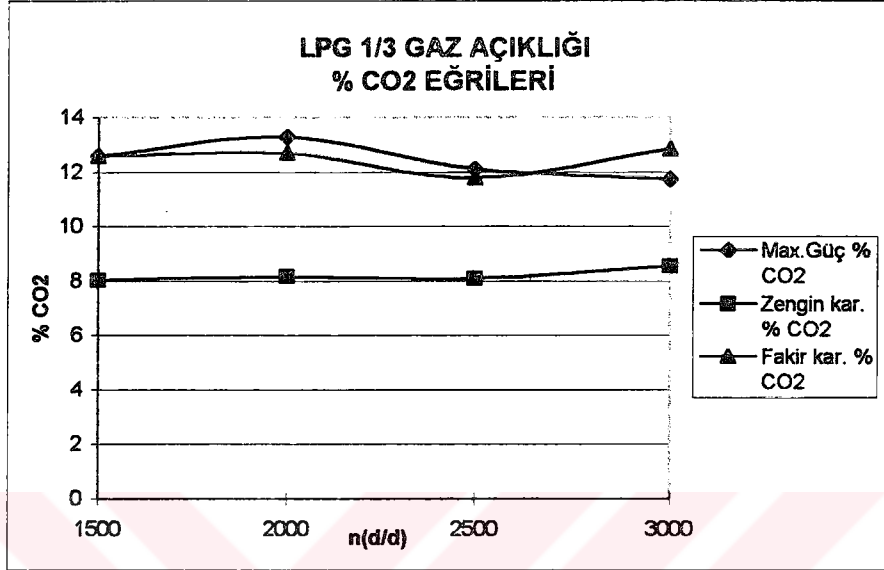
Şekil C.15 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile ortalama efektif basıncın değişimi.

n(d/d)	Max.Güç % CO	Zengin kar. % CO	Fakir kar. % CO	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	1.27	9.12	0.1	0.935	0.758	1.12
2000	1.06	9.55	0.1	0.986	0.741	1.119
2500	3.46	9.69	0.06	0.905	0.742	1.229
3000	3.45	8.87	0.18	0.893	0.776	1.111



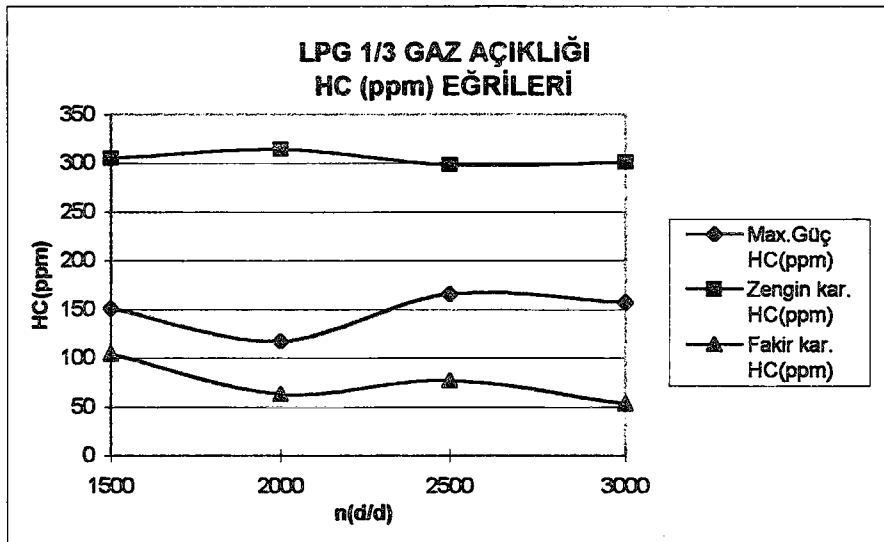
Şekil C.16 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç % CO ₂	Zengin kar. % CO ₂	Fakir kar. % CO ₂	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	12.57	8.01	12.59	0.935	0.758	1.12
2000	13.28	8.15	12.71	0.986	0.741	1.119
2500	12.11	8.08	11.78	0.905	0.742	1.229
3000	11.73	8.54	12.83	0.893	0.776	1.111



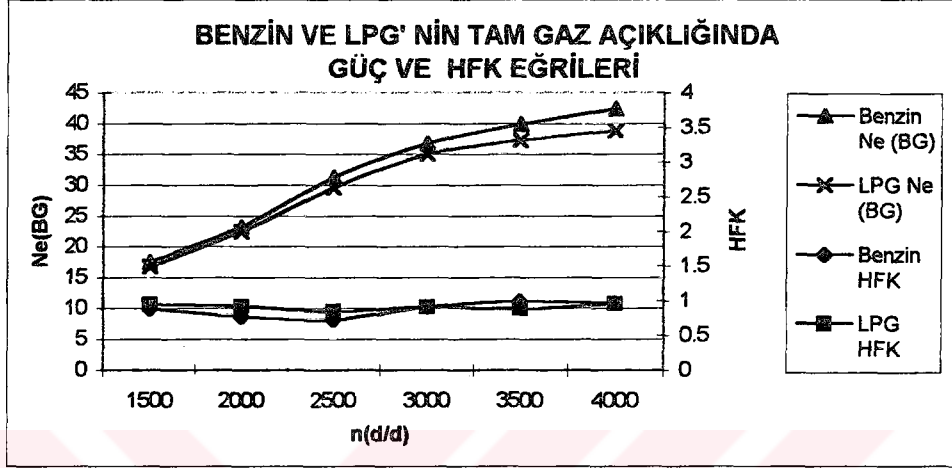
Şekil C.17 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.

n(d/d)	Max.Güç HC(ppm)	Zengin kar. HC(ppm)	Fakir kar. HC(ppm)	Max.Güç HFK	Zengin kar. HFK	Fakir kar. HFK
1500	151	305	104	0.935	0.758	1.12
2000	117	314	63	0.986	0.741	1.119
2500	166	298	77	0.905	0.742	1.229
3000	157	301	53	0.893	0.776	1.111



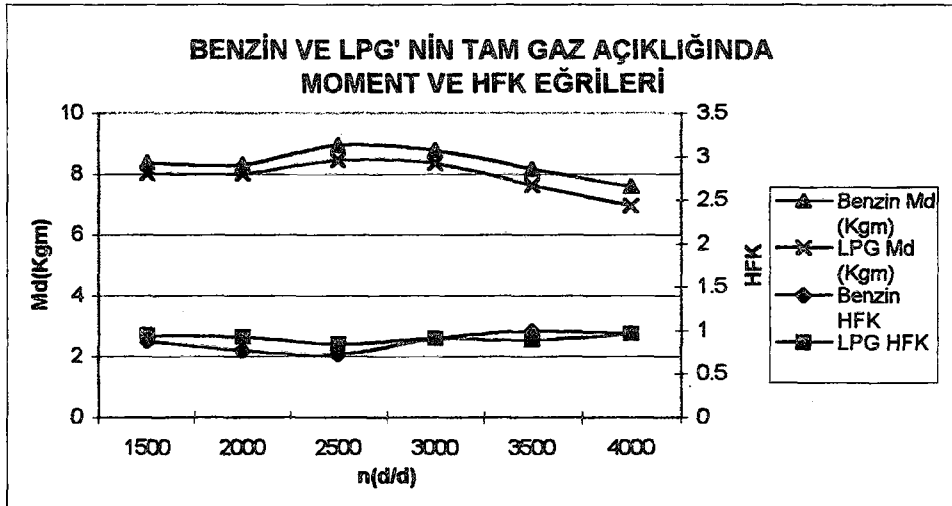
Şekil C.18 LPG ile 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.

n (d/d)	Benzin Ne (BG)	LPG Ne (BG)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	17.55	16.8	0.883	0.948
2000	23.2	22.4	0.769	0.922
2500	31.25	29.5	0.727	0.845
3000	36.75	34.95	0.909	0.908
3500	39.9	37.275	0.994	0.885
4000	42.4	38.8	0.969	0.959



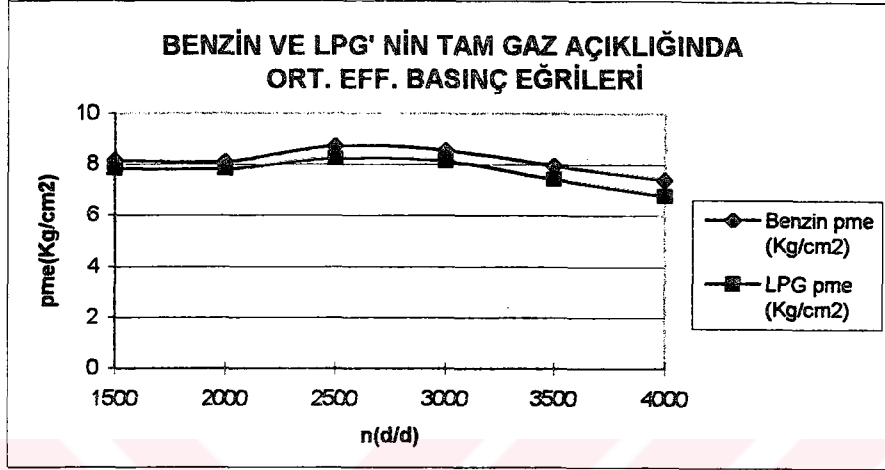
Şekil C.19 LPG ve benzinle tam gaz açıklığında çalışma esnasında motordan elde edilen güçlerin ve bunlara karşılık gaz analizörden okunan HFK'ların karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin Md (Kgm)	LPG Md (Kgm)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	8.379	8.021	0.883	0.948
2000	8.307	8.021	0.769	0.922
2500	8.952	8.451	0.727	0.845
3000	8.773	8.343	0.909	0.908
3500	8.164	7.627	0.994	0.885
4000	7.591	6.947	0.969	0.959



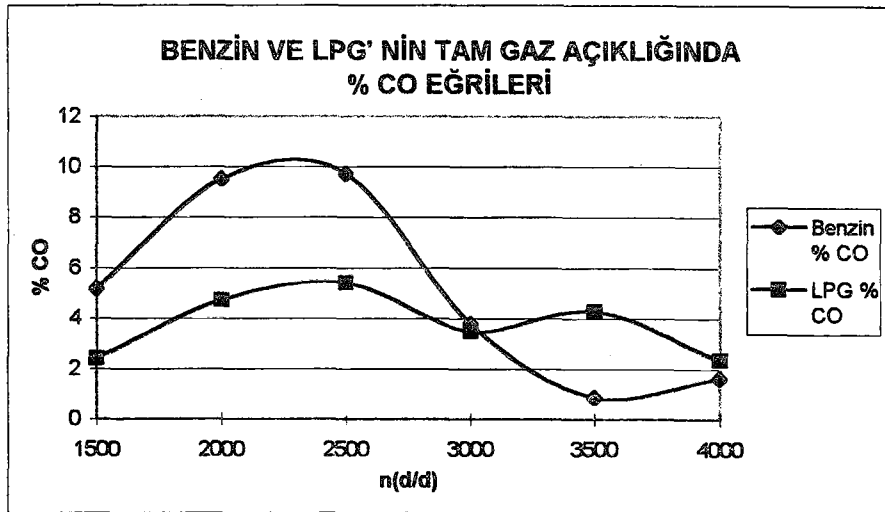
Şekil C.20 LPG ve benzinle tam gaz açıklığında çalışma esnasında motor momentlerinin ve bunlara karşılık gaz analizörden okunan HFK'ların karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin pme (Kg/cm ²)	LPG pme (Kg/cm ²)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	8.169	7.82	0.883	0.948
2000	8.099	7.82	0.769	0.922
2500	8.727	8.238	0.727	0.845
3000	8.553	8.134	0.909	0.908
3500	7.959	7.435	0.994	0.885
4000	7.401	6.772	0.969	0.959



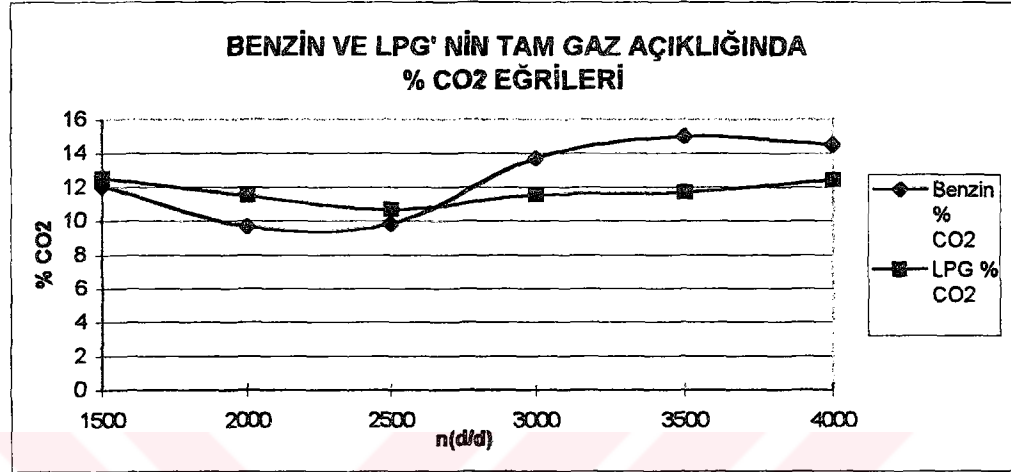
Şekil C.21 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motorun ortalama efektif basıncının karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin % CO	LPG % CO	Benzin HFK	LPG HFK
1500	5.16	2.41	0.883	0.948
2000	9.51	4.72	0.769	0.922
2500	9.72	5.41	0.727	0.845
3000	3.78	3.48	0.909	0.908
3500	0.88	4.28	0.994	0.885
4000	1.65	2.36	0.969	0.959



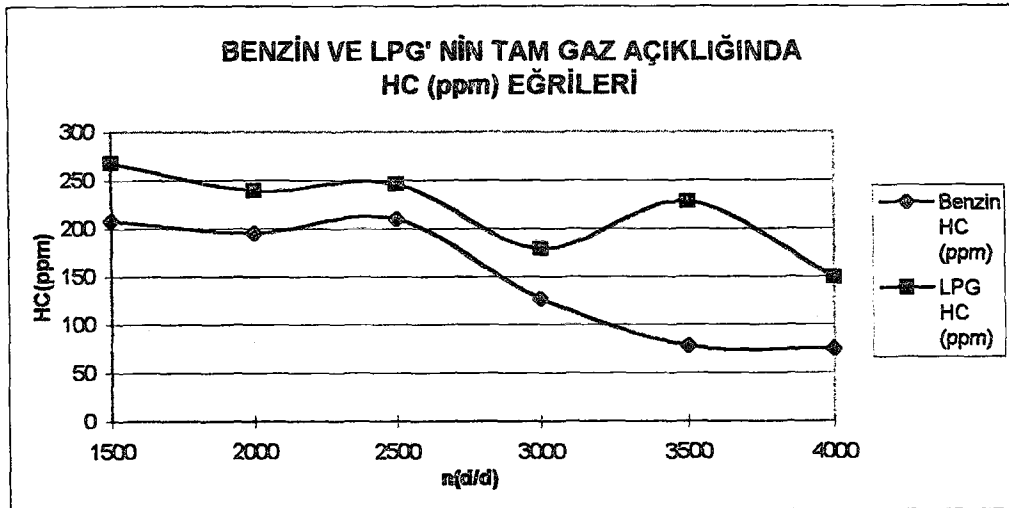
Şekil C.22 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin % CO ₂	LPG % CO ₂	Benzin HFK	LPG HFK
1500	12.06	12.51	0.883	0.948
2000	9.68	11.49	0.769	0.922
2500	9.83	10.65	0.727	0.845
3000	13.69	11.52	0.909	0.908
3500	15.02	11.69	0.994	0.885
4000	14.51	12.42	0.969	0.959



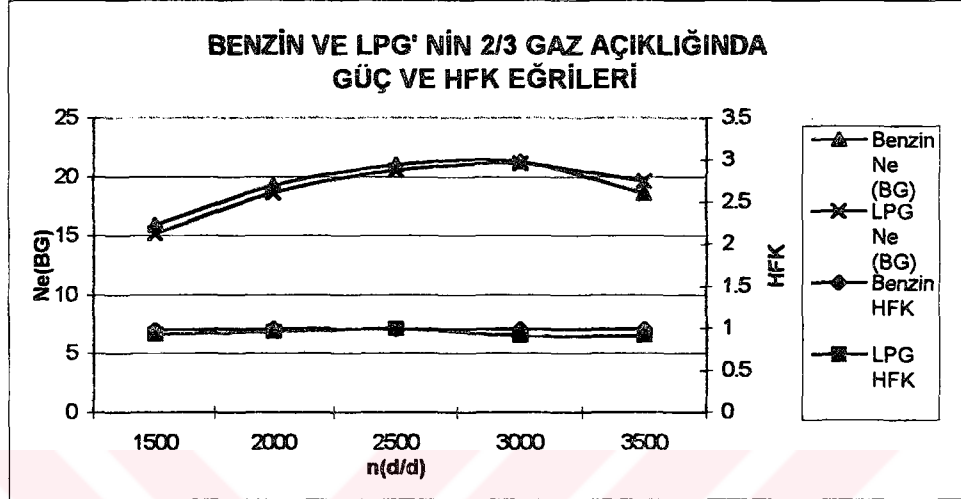
Şekil C.23 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO₂ miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin HC (ppm)	LPG HC (ppm)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	208	268	0.883	0.948
2000	195	239	0.769	0.922
2500	210	246	0.727	0.845
3000	127	179	0.909	0.908
3500	78	228	0.994	0.885
4000	75	149	0.969	0.959



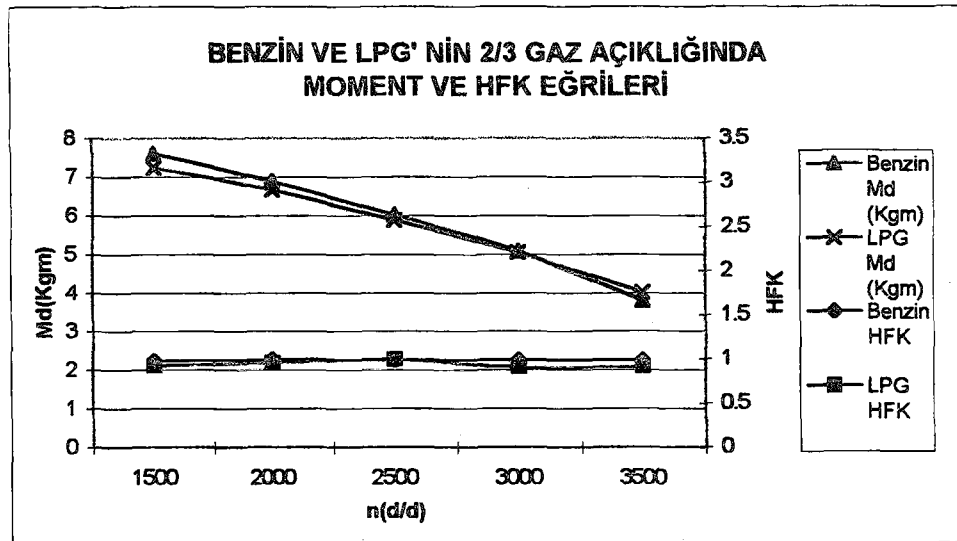
Şekil C.24 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin Ne (BG)	LPG Ne (BG)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	15.9	15.15	0.978	0.921
2000	19.2	18.6	0.992	0.954
2500	21	20.5	0.989	0.994
3000	21.3	21.15	0.984	0.908
3500	18.55	19.6	0.988	0.913



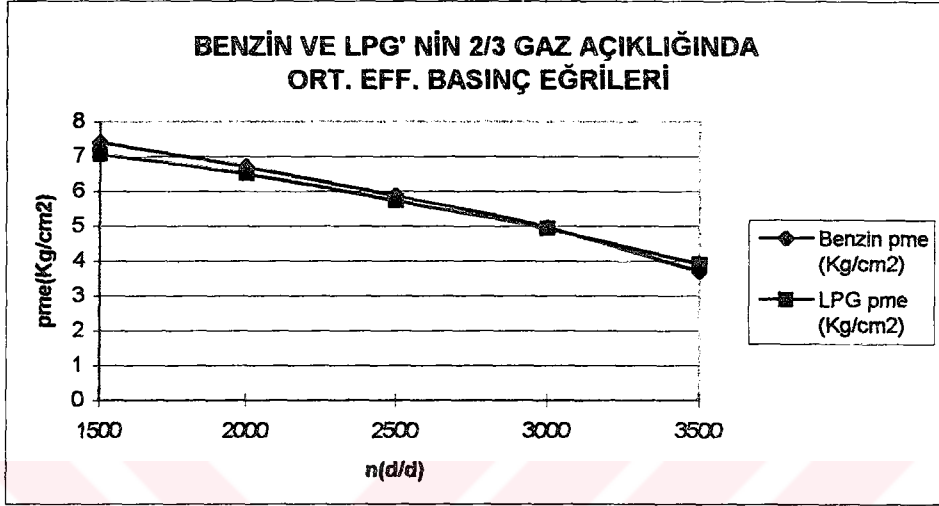
Şekil C.25 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığında çalışma esnasında motordan elde edilen güçlerin ve bunlara karşılık gaz analizörden okunan HFK' ların karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin Md (Kgm)	LPG Md (Kgm)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	7.591	7.233	0.978	0.921
2000	6.875	6.661	0.992	0.954
2500	6.016	5.872	0.989	0.994
3000	5.085	5.049	0.984	0.908
3500	3.795	4.011	0.988	0.913



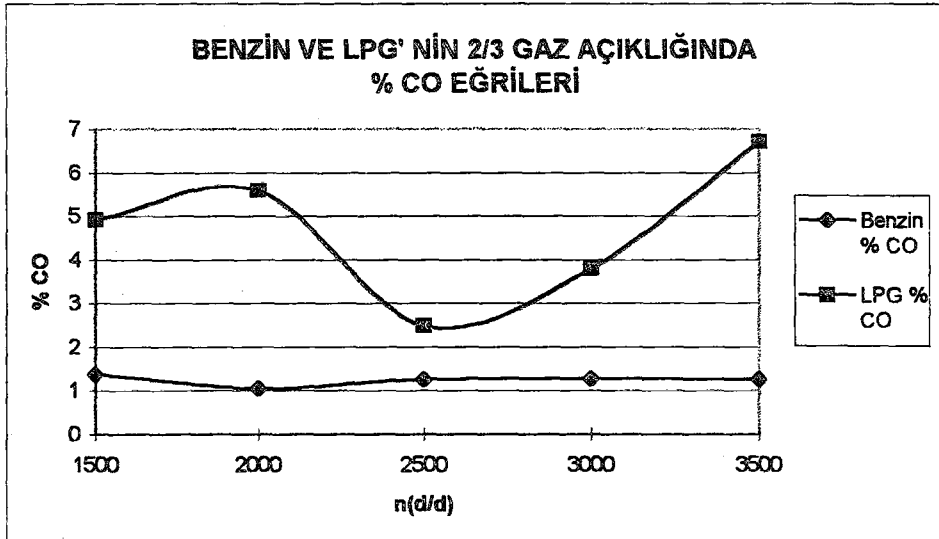
Şekil C.26 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığında çalışma esnasında motor momentlerinin ve bunlara karşılık gaz analizörden okunan HFK' ların karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin pme (Kg/cm ²)	LPG pme (Kg/cm ²)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	7.401	7.051	0.978	0.921
2000	6.702	6.493	0.992	0.954
2500	5.868	5.725	0.989	0.994
3000	4.957	4.922	0.984	0.908
3500	3.7	3.91	0.988	0.913



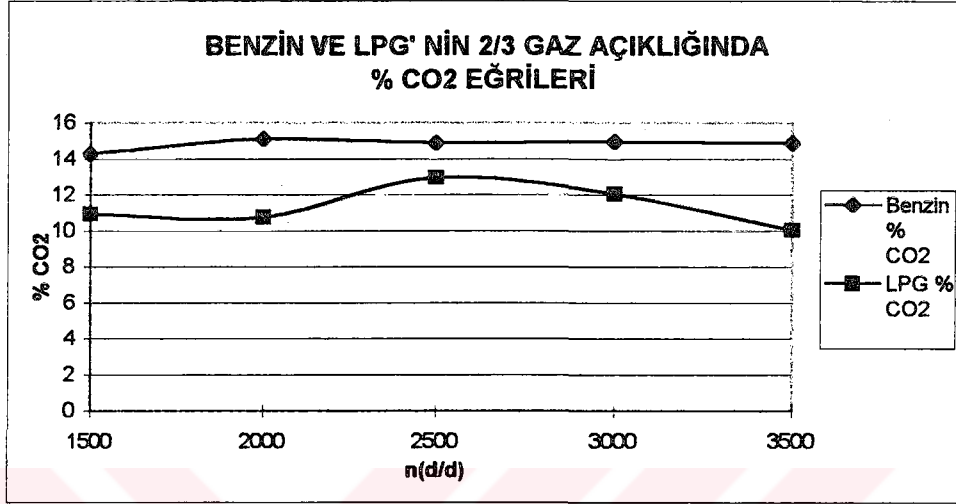
C.27 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motorun ortalama efektif basıncının karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin % CO	LPG % CO	Benzin HFK	LPG HFK
1500	1.38	4.91	0.978	0.921
2000	1.05	5.59	0.992	0.954
2500	1.26	2.49	0.989	0.994
3000	1.27	3.79	0.984	0.908
3500	1.26	6.7	0.988	0.913



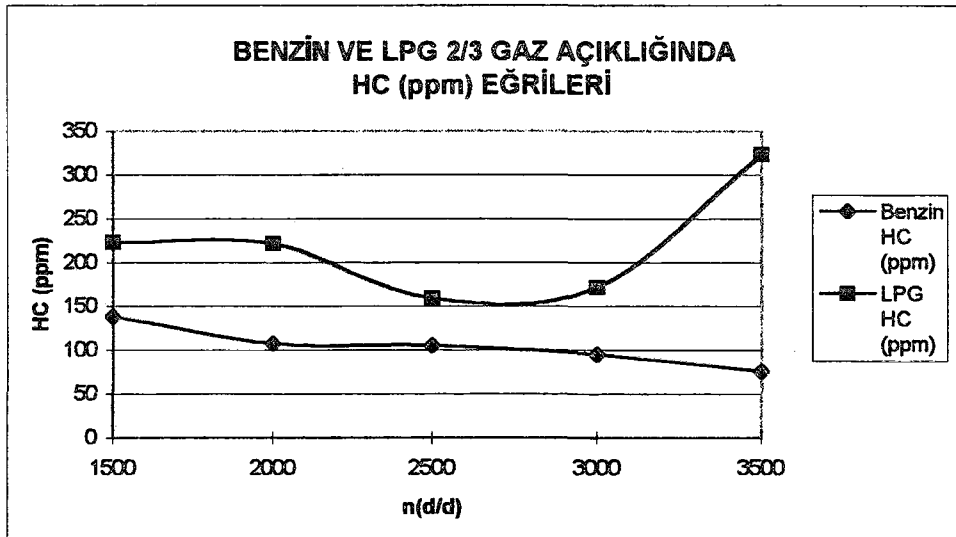
Şekil C.28 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin % CO ₂	LPG % CO ₂	Benzin HFK	LPG HFK
1500	14.27	10.93	0.978	0.921
2000	15.09	10.75	0.992	0.954
2500	14.89	12.96	0.989	0.994
3000	14.97	12.03	0.984	0.908
3500	14.91	10.04	0.988	0.913



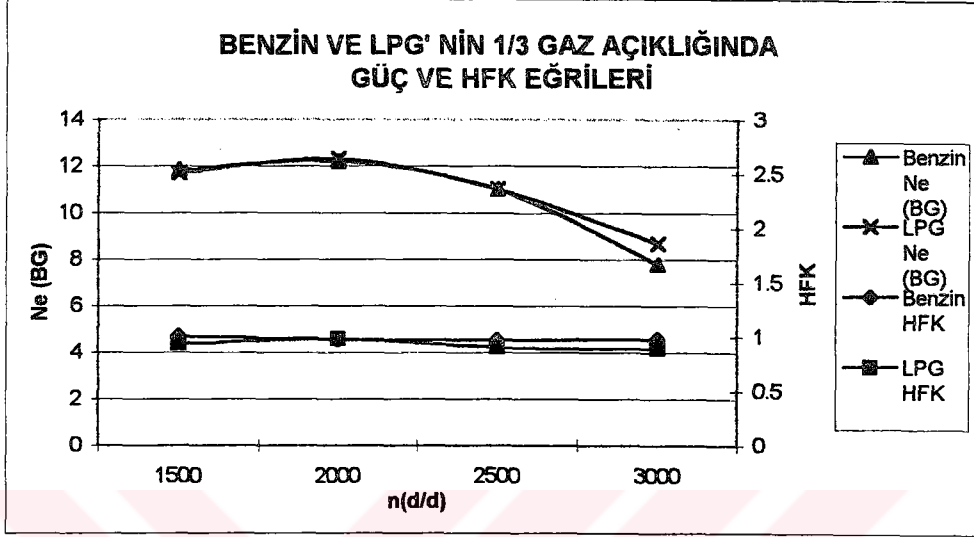
Şekil C.29 LPG ve benzine 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO₂ miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin HC (ppm)	LPG HC (ppm)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	138	223	0.978	0.921
2000	107	221	0.992	0.954
2500	105	159	0.989	0.994
3000	95	171	0.984	0.908
3500	76	323	0.988	0.913



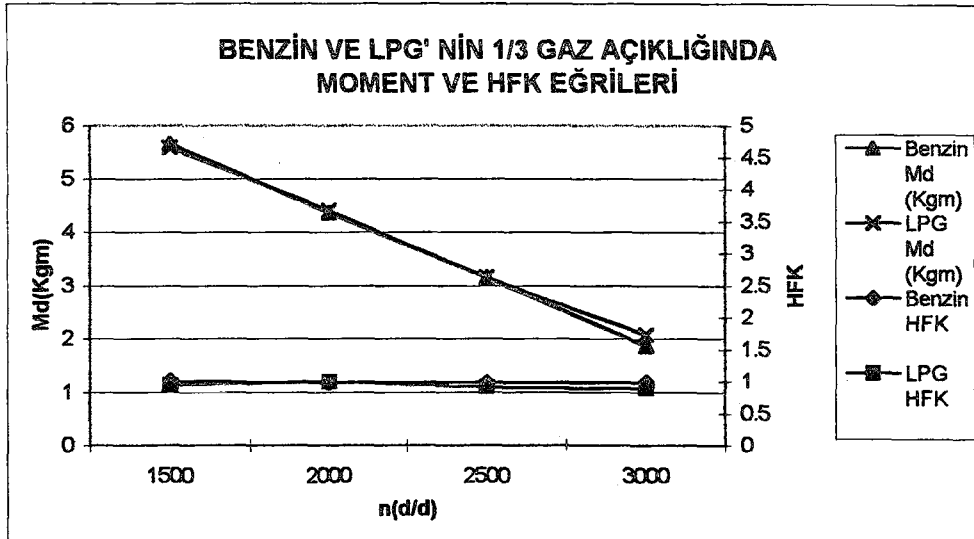
Şekil C.30 LPG ve benzine 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin Ne (BG)	LPG Ne (BG)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	11.85	11.7	1.009	0.935
2000	12.2	12.3	0.979	0.986
2500	11	11	0.975	0.905
3000	7.8	8.7	0.986	0.893



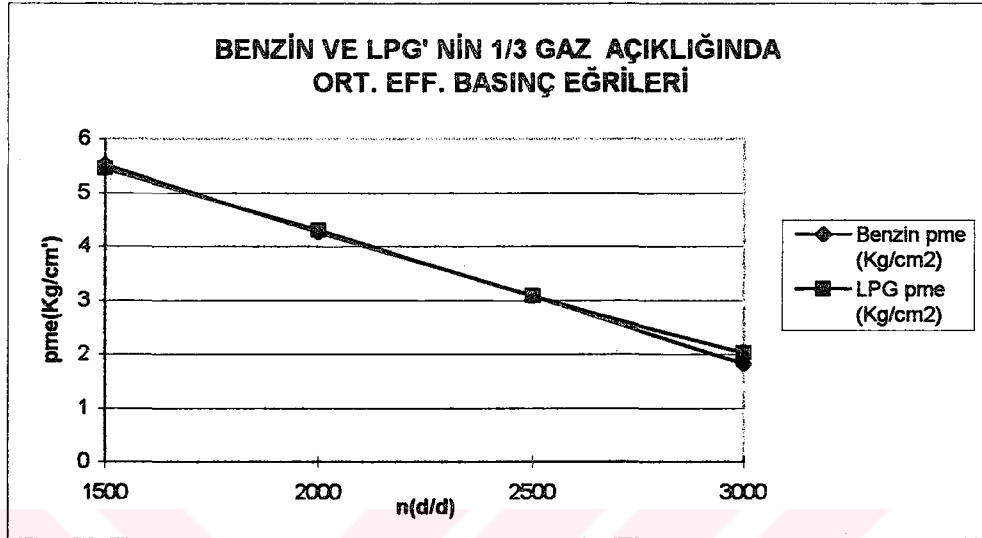
Şekil C.31 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığında çalışma esnasında motordan elde edilen güçlerin ve bunlara karşılık gaz analizörden okunan HFK' ların karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin Md (Kgm)	LPG Md (Kgm)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	5.657	5.586	1.009	0.935
2000	4.368	4.404	0.979	0.986
2500	3.151	3.151	0.975	0.905
3000	1.862	2.076	0.986	0.893



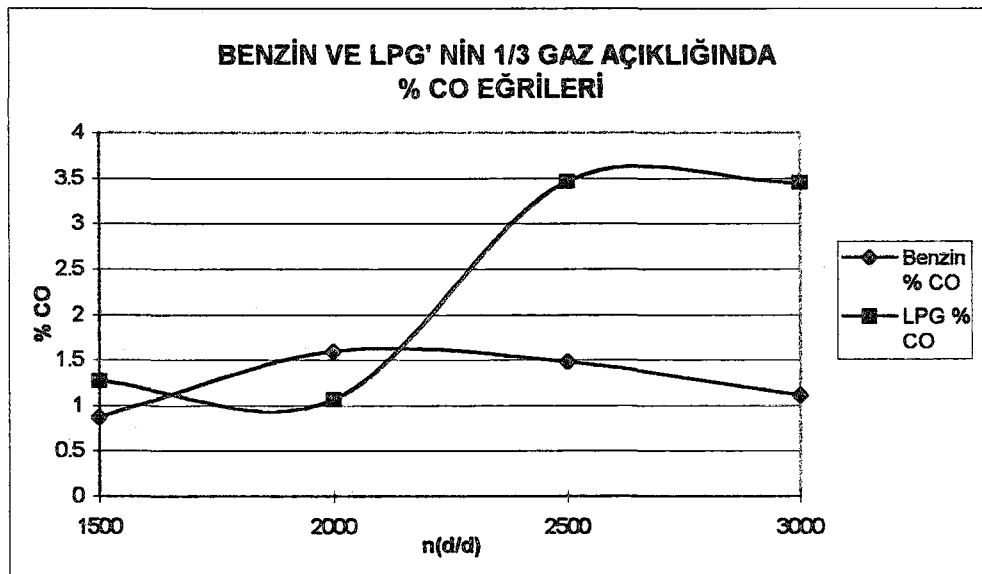
Şekil C.32 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığında çalışma esnasında motor momentlerinin ve bunlara karşılık gaz analizörden okunan HFK' ların karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin pme (Kg/cm ²)	LPG pme (Kg/cm ²)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	5.515	5.446	1.009	0.935
2000	4.259	4.294	0.979	0.986
2500	3.072	3.072	0.975	0.905
3000	1.815	2.024	0.986	0.893



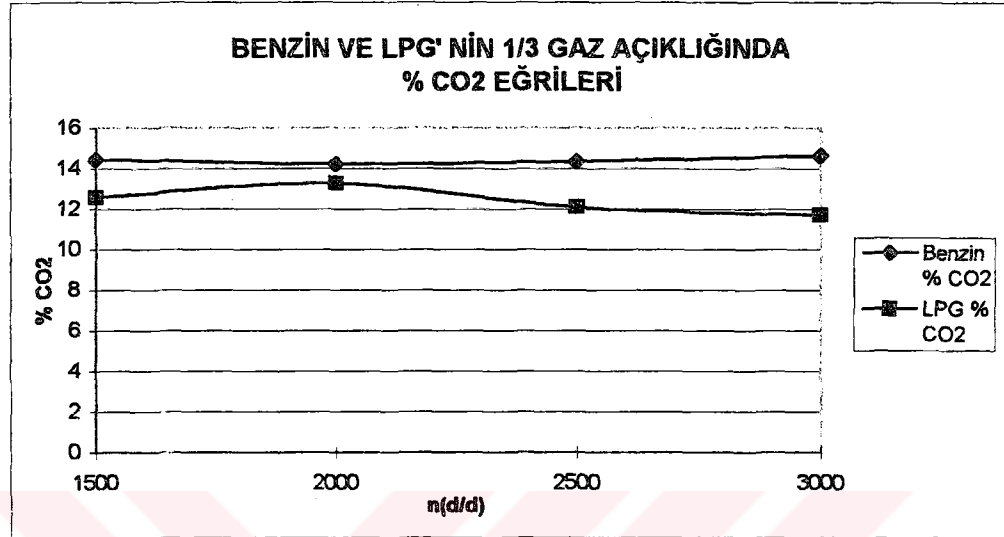
Şekil C.33 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma esnasında motorun ortalama efektif basıncının karşılaştırılması.

n (d/d)	Benzin % CO	LPG % CO	Benzin HFK	LPG HFK
1500	0.87	1.27	1.009	0.935
2000	1.59	1.06	0.979	0.986
2500	1.48	3.46	0.975	0.905
3000	1.11	3.45	0.986	0.893



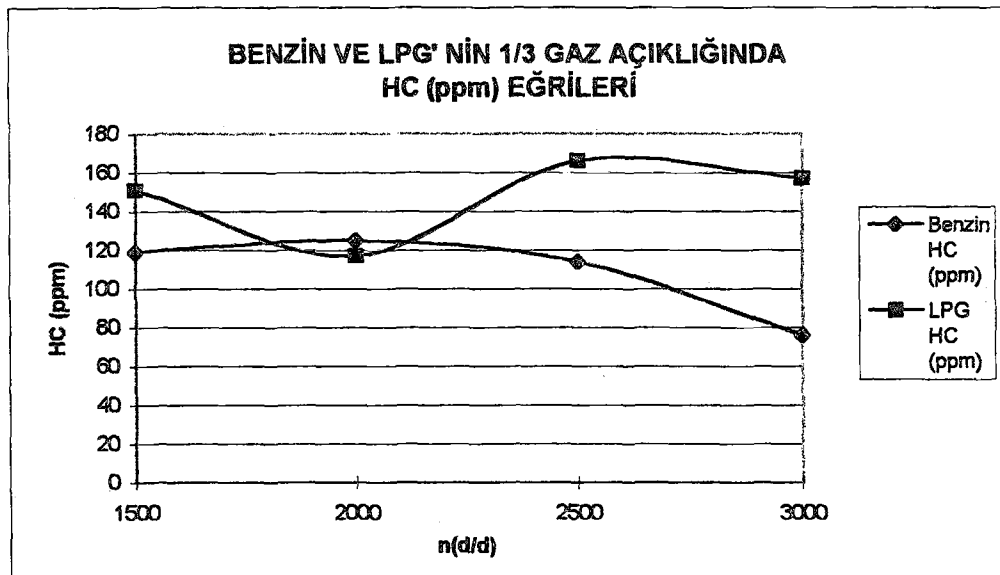
Şekil C.34 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin % CO ₂	LPG % CO ₂	Benzin HFK	LPG HFK
1500	14.46	12.57	1.009	0.935
2000	14.22	13.28	0.979	0.986
2500	14.36	12.11	0.975	0.905
3000	14.62	11.73	0.986	0.893



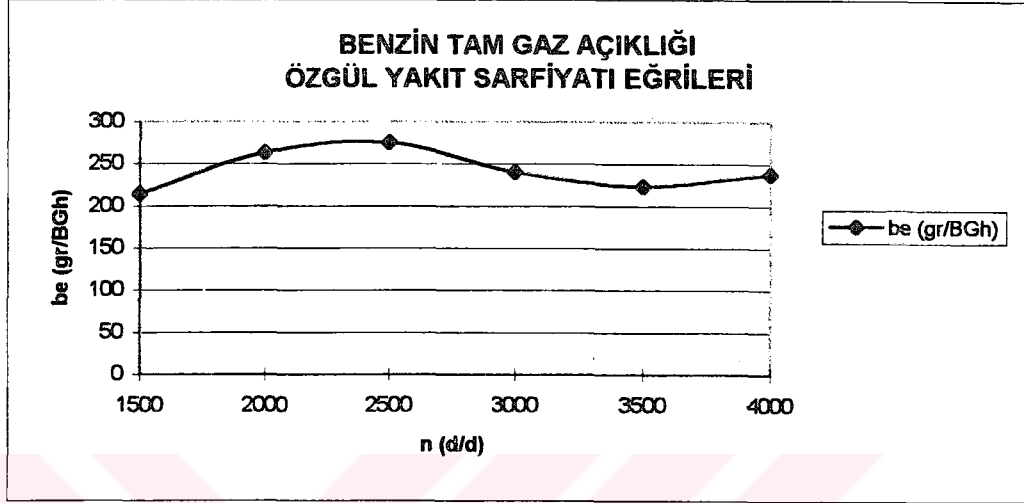
Şekil C.35 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO₂ miktarının yüzdesel olarak devir sayısı ile değişimi.

n (d/d)	Benzin HC (ppm)	LPG HC (ppm)	Benzin HFK	LPG HFK
1500	119	151	1.009	0.935
2000	125	117	0.979	0.986
2500	114	166	0.975	0.905
3000	76	157	0.986	0.893



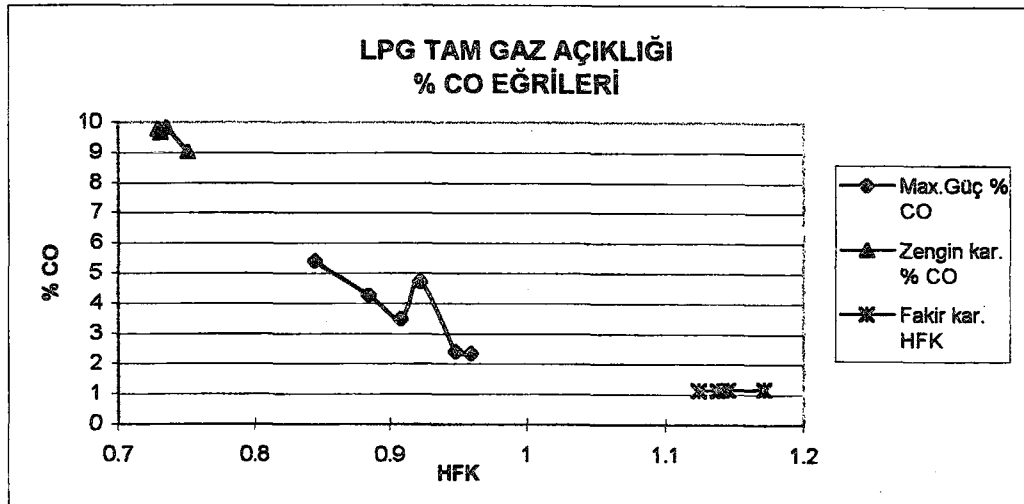
Şekil C.36 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak devir sayısı ile değişimi.

n(d/d)	b _e (gr/BGh)
1500	214.58
2000	263.19
2500	275.5
3000	240
3500	223.53
4000	238.18



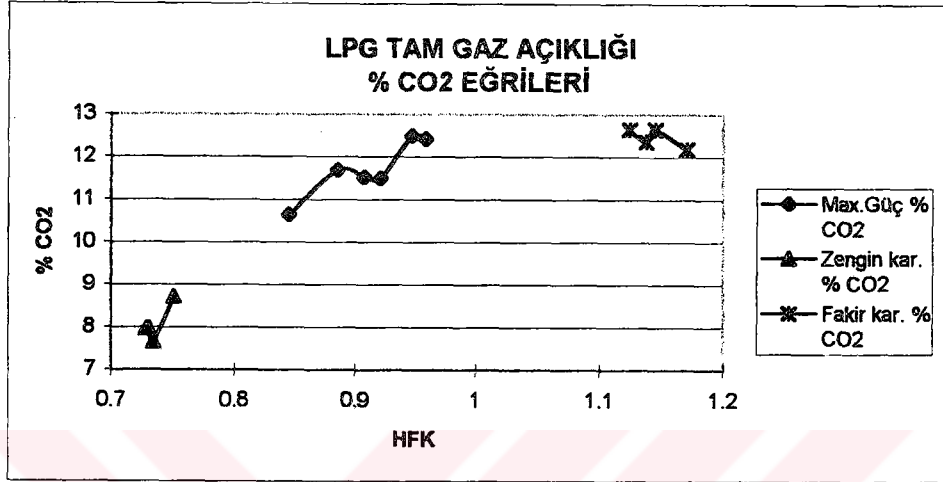
Şekil C.37 Benzin ile tam gaz açıklığı konumunda çalışılması sırasında özgül yakıt sarfiyatı eğrisinin devir sayısı ile değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç % CO	Zengin kar. HFK	Zengin kar. % CO	Fakir kar. HFK	Fakir kar. % CO
0.845	5.41	0.729	9.78	1.124	0.05
0.885	4.28	0.731	9.66	1.138	0.15
0.908	3.48	0.735	9.82	1.145	0.1
0.922	4.72	0.751	9.02	1.171	0.05
0.948	2.41				
0.959	2.36				



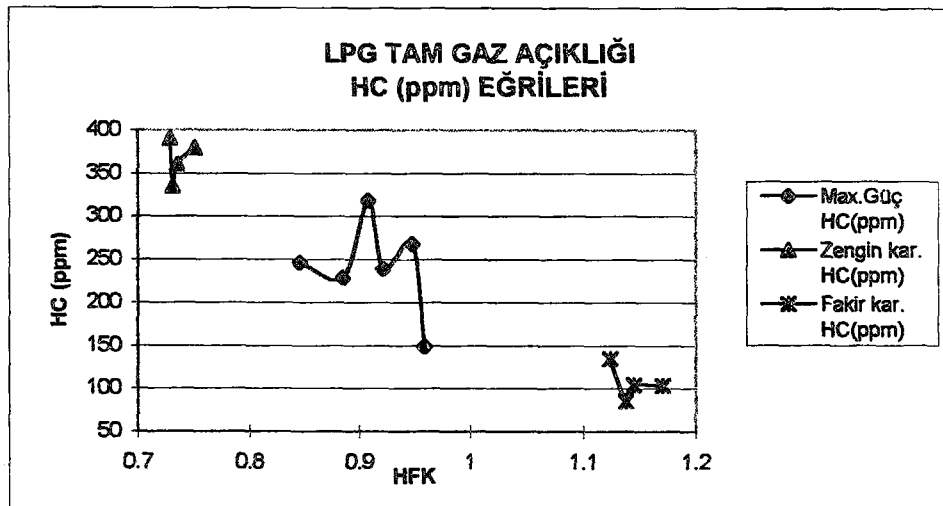
Şekil C.38 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç % CO ₂	Zengin kar. HFK	Zengin kar. % CO ₂	Fakir kar. HFK	Fakir kar. % CO ₂
0.845	10.65	0.729	7.96	1.124	12.66
0.885	11.69	0.731	7.97	1.138	12.36
0.908	11.52	0.735	7.65	1.145	12.65
0.922	11.49	0.751	8.72	1.171	12.18
0.948	12.51				
0.959	12.42				



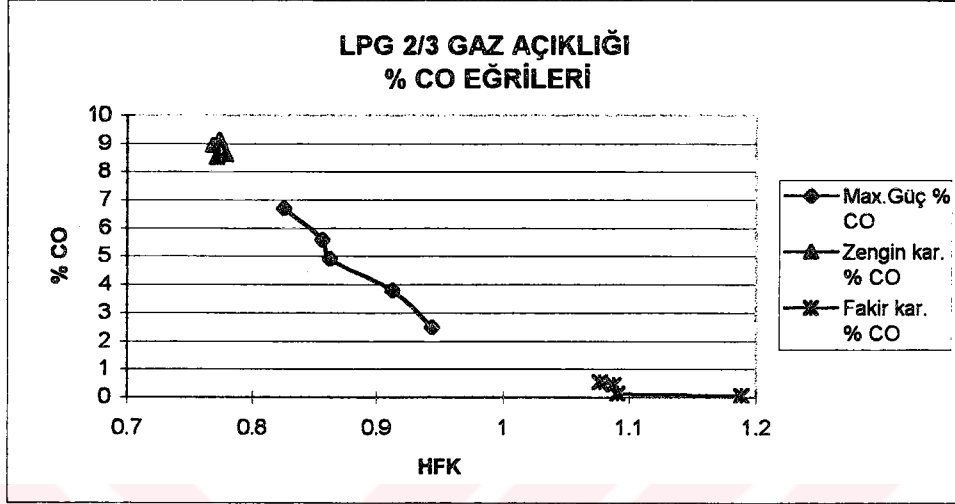
Şekil C.39 LPG ile tam gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç HC(ppm)	Zengin kar. HFK	Zengin kar. HC(ppm)	Fakir kar. HFK	Fakir kar. HC(ppm)
0.845	246	0.729	390	1.124	135
0.885	228	0.731	335	1.138	85
0.908	318	0.735	360	1.145	104
0.922	239	0.751	379	1.171	103
0.948	268				
0.959	149				



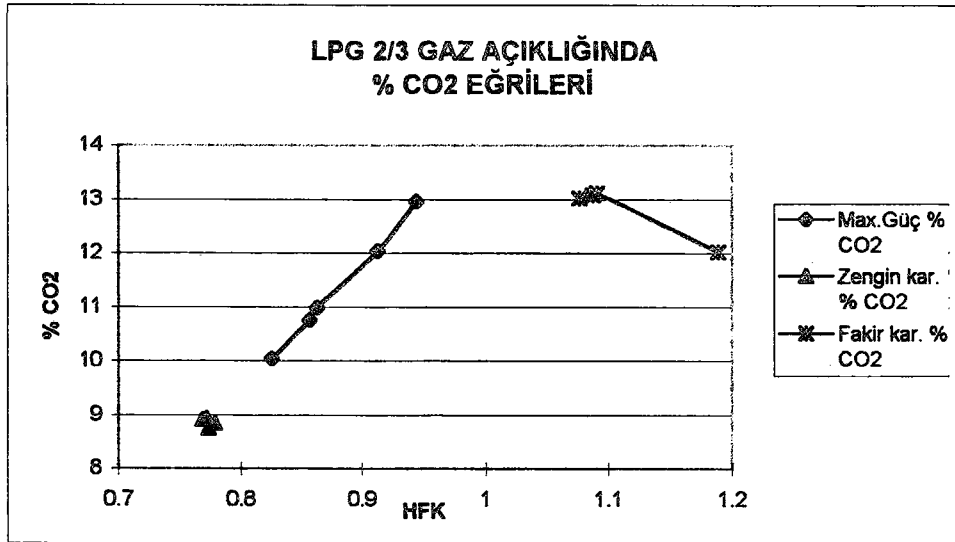
Şekil C.40 LPG ile tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç % CO	Zengin kar. HFK	Zengin kar. % CO	Fakir kar. HFK	Fakir kar. % CO
0.825	6.7	0.769	8.95	1.077	0.56
0.856	5.59	0.772	8.52	1.088	0.45
0.862	4.91	0.774	9.12	1.091	0.13
0.913	3.79	0.779	8.61	1.189	0.06
0.944	2.49				



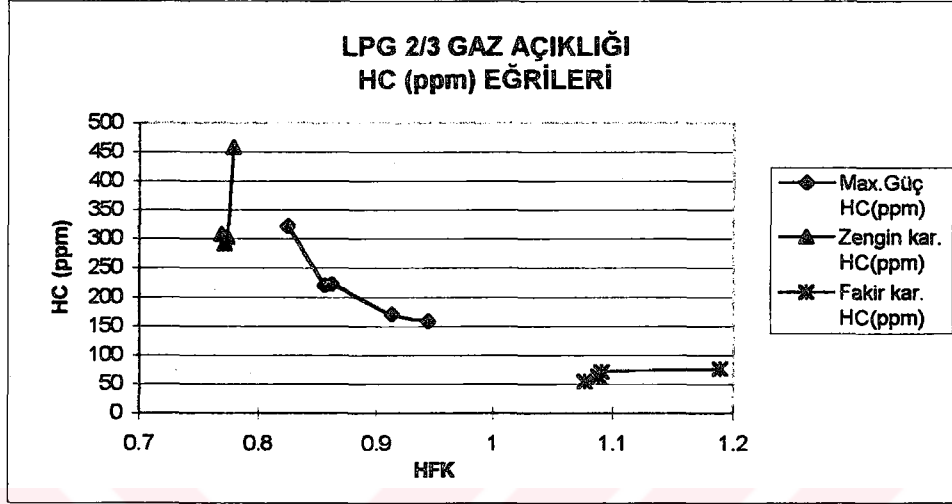
Şekil C.41 LPG ile 2/3 gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç % CO ₂	Zengin kar. HFK	Zengin kar. % CO ₂	Fakir kar. HFK	Fakir kar. % CO ₂
0.825	10.04	0.769	8.91	1.077	13.02
0.856	10.75	0.772	8.93	1.088	13.08
0.862	10.98	0.774	8.74	1.091	13.11
0.913	12.03	0.779	8.84	1.189	12.02
0.944	12.96				



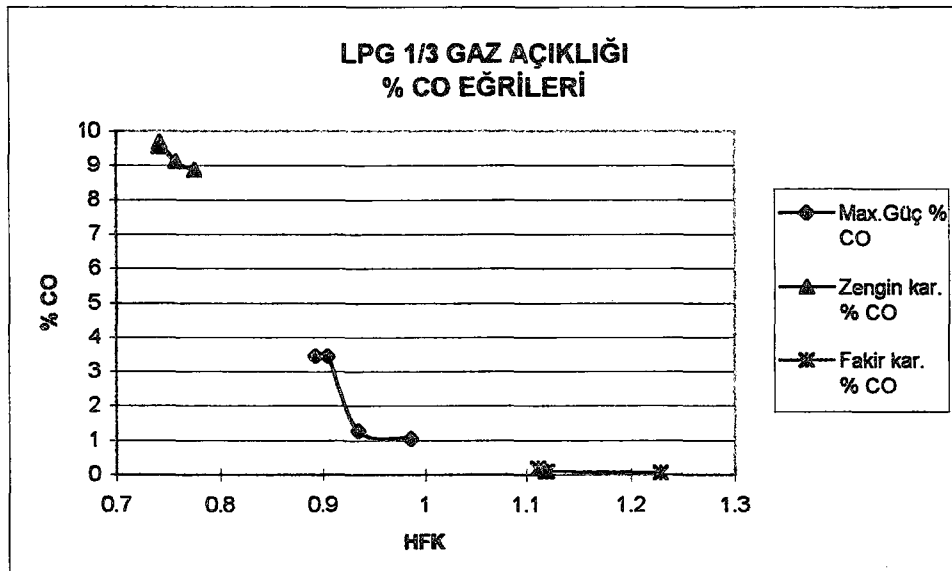
Şekil C.42 LPG ile 2/3 gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç HC(ppm)	Zengin kar. HFK	Zengin kar. HC(ppm)	Fakir kar. HFK	Fakir kar. HC(ppm)
0.825	323	0.769	308	1.077	54
0.856	221	0.772	292	1.088	63
0.862	223	0.774	303	1.091	71
0.913	171	0.779	458	1.189	76
0.944	159				



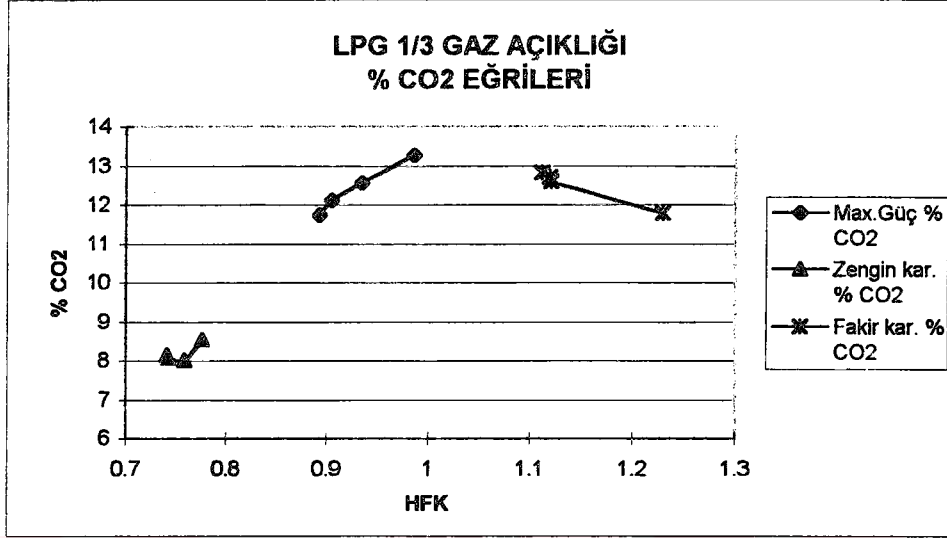
Şekil C.43 LPG ile 2/3 gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç % CO	Zengin kar. HFK	Zengin kar. % CO	Fakir kar. HFK	Fakir kar. % CO
0.893	3.45	0.741	9.55	1.111	0.18
0.905	3.46	0.742	9.69	1.119	0.1
0.935	1.27	0.758	9.12	1.12	0.1
0.986	1.06	0.776	8.87	1.229	0.06



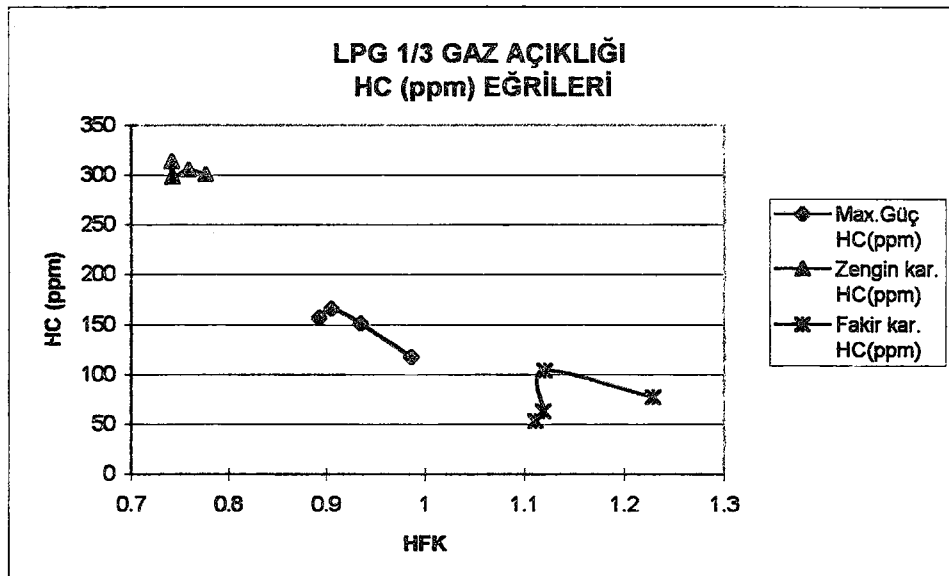
Şekil C.44 LPG ile 1/3 gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO miktarının yüzdesel olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç % CO ₂	Zengin kar. HFK	Zengin kar. % CO ₂	Fakir kar. HFK	Fakir kar. % CO ₂
0.893	11.73	0.741	8.15	1.111	12.83
0.905	12.11	0.742	8.08	1.119	12.71
0.935	12.57	0.758	8.01	1.12	12.59
0.986	13.28	0.776	8.54	1.229	11.78



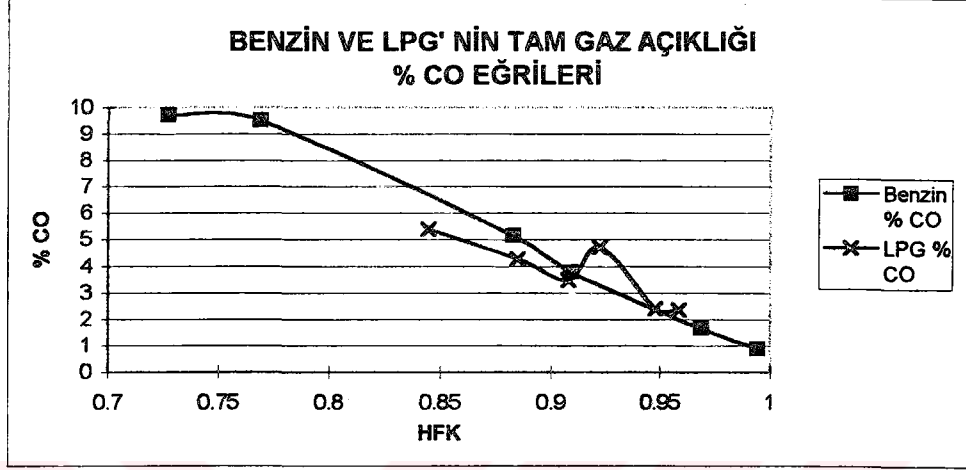
Şekil C.45 LPG ile 1/3 gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile CO₂ miktarının yüzdesel olarak değişimi.

Max.Güç HFK	Max.Güç HC(ppm)	Zengin kar. HFK	Zengin kar. HC(ppm)	Fakir kar. HFK	Fakir kar. HC(ppm)
0.893	157	0.741	314	1.111	53
0.905	166	0.742	298	1.119	63
0.935	151	0.758	305	1.12	104
0.986	117	0.776	301	1.229	77



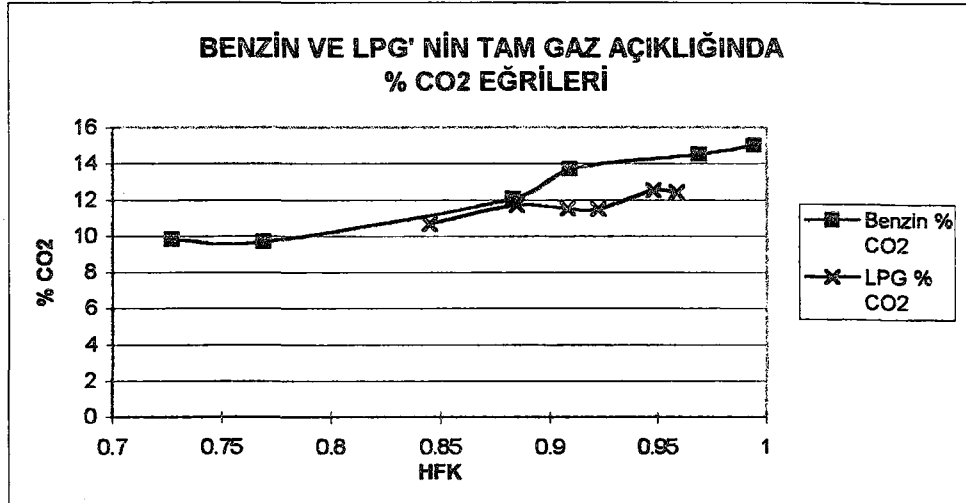
Şekil C.46 LPG ile 1/3 gaz açıklığında çalışma sırasında gaz analizörüne göre hava fazlalık katsayısının değiştirilmesi ile HC miktarının ppm olarak değişimi.

Benzin HFK	Benzin % CO	LPG HFK	LPG % CO
0.727	9.72	0.845	5.41
0.769	9.51	0.885	4.28
0.883	5.16	0.908	3.48
0.909	3.78	0.922	4.72
0.969	1.65	0.948	2.41
0.994	0.88	0.959	2.36



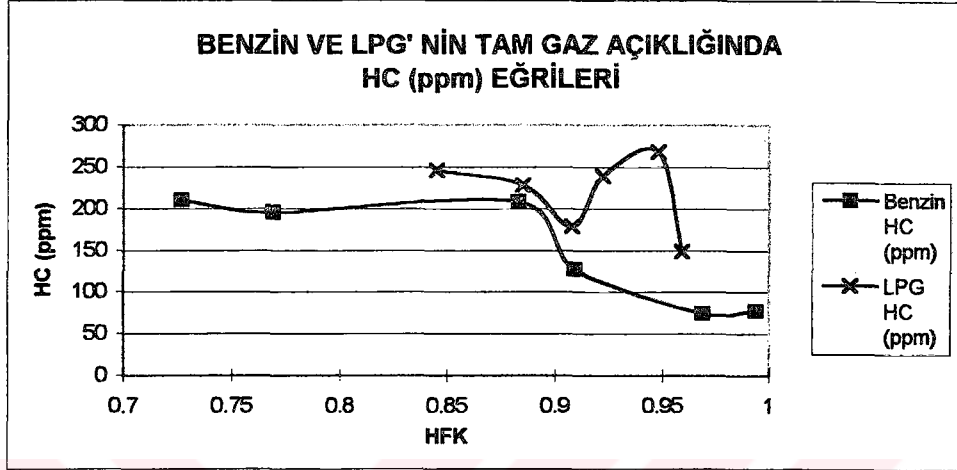
Şekil C.47 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin % CO ₂	LPG HFK	LPG % CO ₂
0.727	9.83	0.845	10.65
0.769	9.68	0.885	11.69
0.883	12.06	0.908	11.52
0.909	13.69	0.922	11.49
0.969	14.51	0.948	12.51
0.994	15.02	0.959	12.42



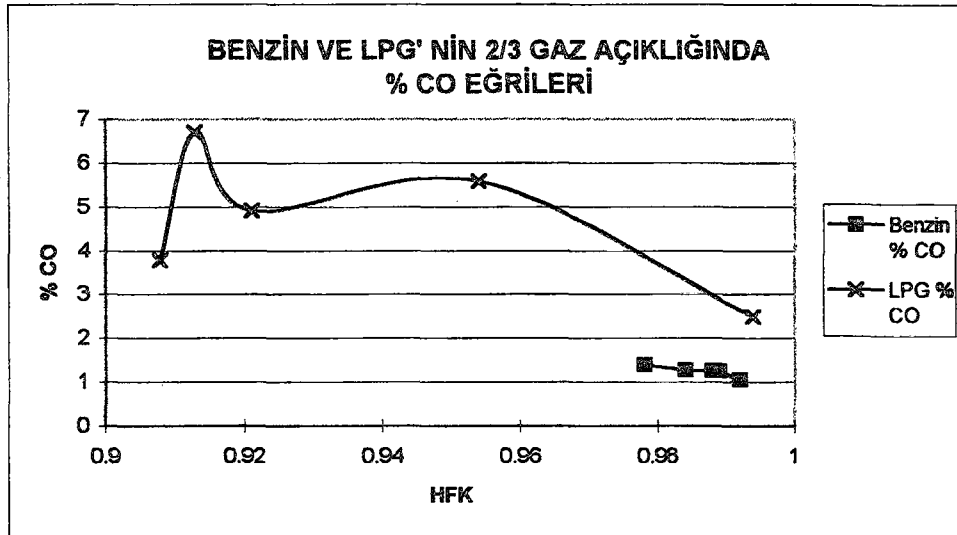
Şekil C.48 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO₂ miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin HC (ppm)	LPG HFK	LPG HC (ppm)
0.727	210	0.845	246
0.769	195	0.885	228
0.883	208	0.908	179
0.909	127	0.922	239
0.969	75	0.948	268
0.994	78	0.959	149



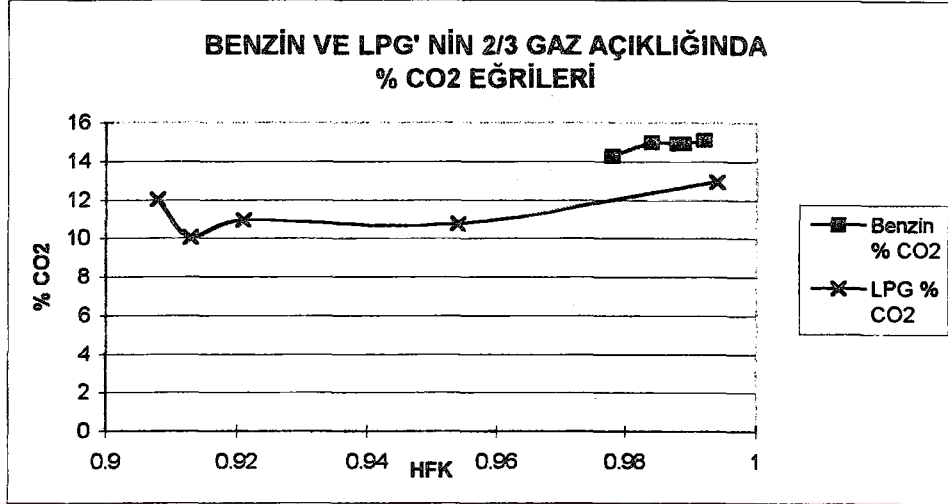
Şekil C.49 LPG ve benzinle tam gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin % CO	LPG HFK	LPG % CO
0.978	1.38	0.908	3.79
0.984	1.27	0.913	6.7
0.988	1.26	0.921	4.91
0.989	1.26	0.954	5.59
0.992	1.05	0.994	2.49



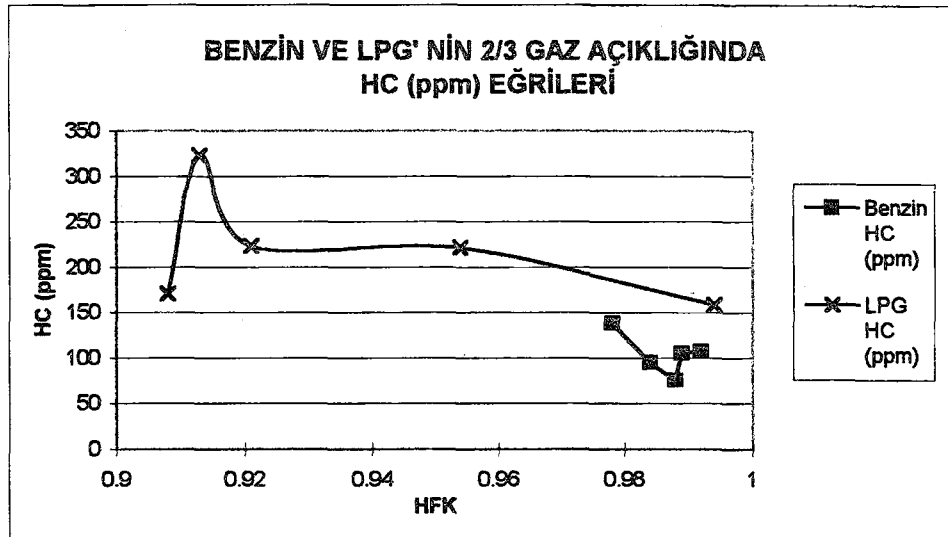
Şekil C.50 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin % CO ₂	LPG HFK	LPG % CO ₂
0.978	14.27	0.908	12.03
0.984	14.97	0.913	10.04
0.988	14.91	0.921	10.93
0.989	14.89	0.954	10.75
0.992	15.09	0.994	12.96



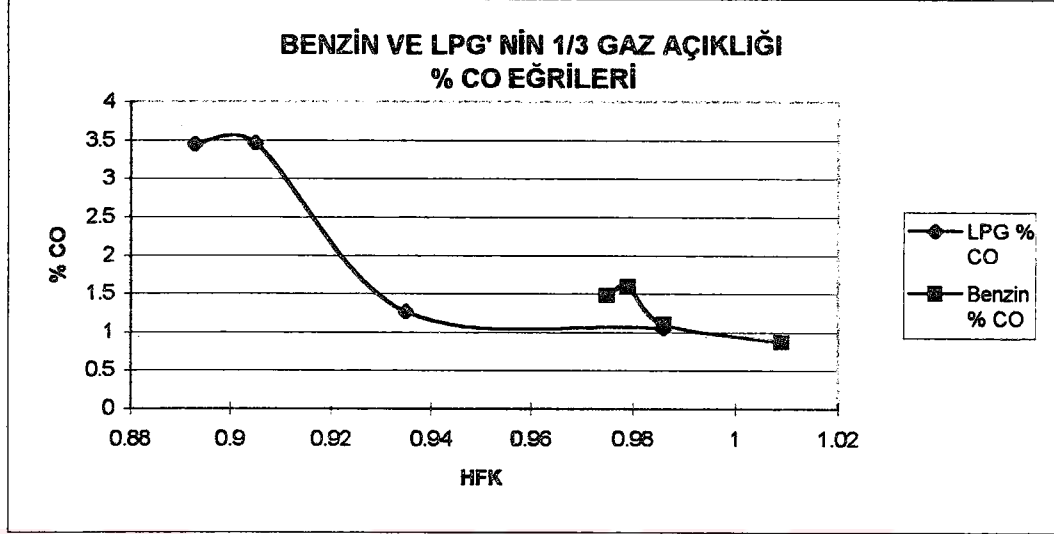
Şekil C.51 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO₂ miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin HC (ppm)	LPG HFK	LPG HC (ppm)
0.978	138	0.908	171
0.984	95	0.913	323
0.988	76	0.921	223
0.989	105	0.954	221
0.992	107	0.994	159



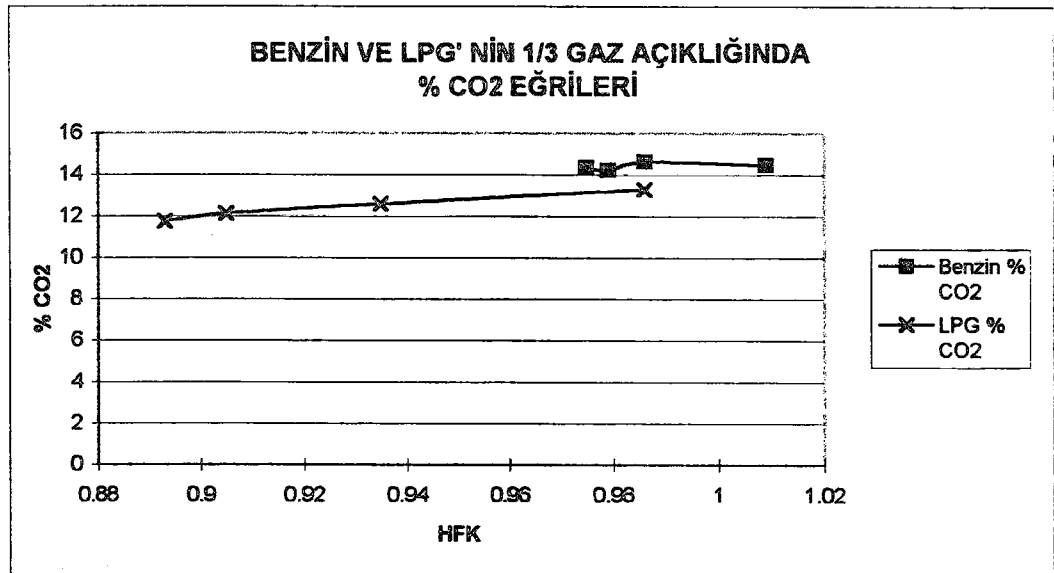
Şekil C.52 LPG ve benzinle 2/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin % CO	LPG HFK	LPG % CO
0.975	1.48	0.893	3.45
0.979	1.59	0.905	3.46
0.986	1.11	0.935	1.27
1.009	0.87	0.986	1.06



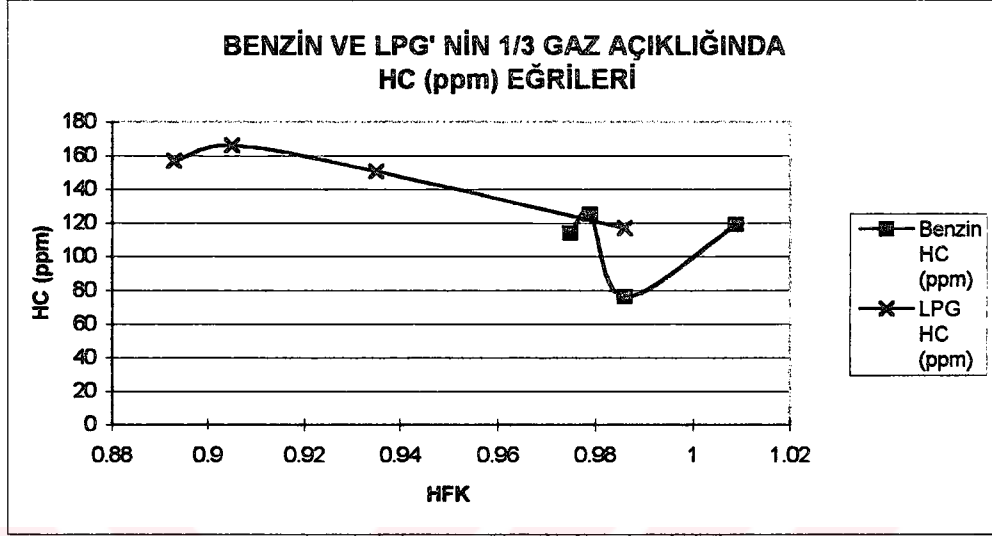
Şekil C.53 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin % CO ₂	LPG HFK	LPG % CO ₂
0.975	14.36	0.893	11.73
0.979	14.22	0.905	12.11
0.986	14.62	0.935	12.57
1.009	14.46	0.986	13.28



Şekil C.54 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen CO₂ miktarının yüzdesel olarak HFK ile değişimi.

Benzin HFK	Benzin HC (ppm)	LPG HFK	LPG HC (ppm)
0.975	114	0.893	157
0.979	125	0.905	166
0.986	76	0.935	151
1.009	119	0.986	117



Şekil C.55 LPG ve benzinle 1/3 gaz açıklığı konumunda çalışma sırasında gaz analizöründen ölçülen HC miktarının ppm olarak HFK ile değişimi.

ÖZGEÇMİŞ

1971'de İstanbul'da doğdu.1977'de Faik Reşit İlkokulu' na başladı. İlkokulu bitirdikten sonra 1982'de Göztepe Ortaokulu'na kayıt oldu. 1985'de Göztepe Ortaokulu'nu 2.'likle bitirdikten sonra öğrenim hayatına 50. Yıl Tahrir Lisesi'nde devam etti.1985'de başladığı lise öğrenimini 1988'de başarıyla bitirdi. Üniversite sınavını kazanarak İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği'nde okumaya hak kazandı. 1988'de başladığı üniversite hayatını 1992' de 65.38 ortalamayla bölüm 39. olarak tamamladı. 1992'de mezun olduktan sonra girdiği yüksek lisans sınavını kazanarak İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Ana Bilim Dalı, Otomatik Programı'nda okumaya hak kazandı. 1992'de İngilizce öğrenmek için 2 yıllığına İngiltere'ye gitti. 1993'de girdiği Cambridge Üniversitesi'nin hazırladığı First Certificate sınavında başarı göstererek bu belgeyi almaya hak kazandı. 1994'de yine Cambridge Üniversitesi tarafından hazırlanan ileri derece İngilizce sınavı olan Proficiency sınavını geçerek sertifika almaya hak kazandı. 1994'de İngiltere'den dönerek 2 yıl ara verdiği yüksek lisans eğitimine tekrar başladı.