

TC
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİN VE MOTORİN YAKITLI MOTORLARDA
LPG KULLANIMI**

HAZIRLAYAN
Mustafa Emen

97622

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Oğuz Borat

MAKİNA EĞİTİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL 2000

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSYON MERKEZİ

TC
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİN VE MOTORİN YAKITLI MOTORLARDA
LPG KULLANIMI**

HAZIRLAYAN
Mustafa Emen

DANIŞMAN VE KOORDİNATÖR : Prof. Dr. Oğuz Borat
JURİ ÜYESİ : Prof. Dr. A. Alp Sayar
JURİ ÜYESİ : Prof. Dr. Osman Isıkan

MAKİNA EĞİTİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL 2000

ÖNSÖZ

Alternatif yakıtlar arasında bulunan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) içten yanmalı motorlarda, özellikle benzinli motorlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Doğal gazın ısıtma ve evsel kullanımda LPG'nin yerine geçmeye başlaması ile rafinerilerde LPG fazlası ortaya çıkmıştır. Bu yüzden ucuzlayan LPG otomotiv sektöründe tercih edilmeye başlanmıştır. LPG'nin benzin ve motorin yakıtına göre bazı avantaj ve dezavantajları mevcuttur:

Benzin ve dizel yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılması, hava kirliliğine sebep olmakta ve bu durum kalıcı önlemleri gerektiren bir çevre sorunu haline gelmektedir. Sıvılaştırılmış petrol gazının içten yanmalı motorlarda kullanılmasıyla; egzozdaki bazı kirleticiler azaltılabilmektedir. Oktan sayısının yüksek olması, karışımın daha üniform hazırlanabilmesi ve motor gürültüsünün, özellikle motorin yakıtlı motora nazaran, daha az olması LPG'nin benzinli motorlarda kullanılmasını etkilemiştir. Başlangıçta LPG fiyatının düşük tutulmasından dolayı ortaya çıkan ekonomiklik LPG'nin otomobillerde kullanımını yaygınlaştıran en önemli parametre olmuştur.

Yüksek lisans tezimde, yardımlarını esirgemeyen; İ.E.T.T. yetkilileri, Anadolu garajı çalışanları ve Bağlarbaşı merkez motor atölyesi çalışanlarına şükranlarımı bir borç bilirim.

ÖZET

Türkiye'deki, içten yanmalı motorlarda, yakıt olarak benzin ve motorin, ağırlıklı bir şekilde kullanılmaktadır. Sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) oktan sayısı yüksektir. Ayrıca LPG, motor içerisinde daha üniform bir karışım oluşturabilmekte, motorine göre is teşekkül ettirmemekte ve gürültü seviyesi düşmektedir. LPG fiyatlarının başlangıçta çok cazip seviyelerde tutulması da kullanımını yaygınlaştıran bir faktör olmuştur. Böylece alternatif yakıt olarak, LPG sistemi taşıtlarda belirli bir kullanılma alanına sahip olacaktır.

Benzinli motorda sıvılaştırılmış petrol gazı kullanmak için motorun orijinal dizaynında değişiklik yapmak gerekmez, fakat dizel motorunda kalıcı dizayn değişiklikleri yaparak otto prensibine dönüştürülmesi gerekmektedir. Buji ateşlemeli motorlarda sıvılaştırılmış petrol gazı, gaz fazına geçirilerek havayla karıştırılıp emme manifolduna oradan da yanma odasına gönderilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmamda; benzinli ve dizel motorlarda, yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı kullanılmasının; yakıt maliyetine ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Birinci Deney aracı olarak seçilen Lada Samaraya sıvılaştırılmış petrol gazı sistemi ilave edilerek, farklı hız kademelerinde şasi dinamometresinde test edilmiştir. Sıvılaştırılmış petrol gazı, dünya piyasasında ve Türkiye'de benzinden daha ucuz olduğu için; sıvılaştırılmış petrol gazlı araçların benzinli araçlara göre yakıt tüketim maliyetinin, %67-67,5 oranında (yaklaşık olarak üçte birine indirmektedir) daha ekonomik olduğu görülmüştür. İkinci deney aracı olarak seçilen 1993-456 numaralı İ.E.T.T. otobüsüne ait, RABA MAN marka dizel motorda tadilatlar ve kalıcı dizayn değişiklikleri yapılarak, otto prensibine göre çalışması sağlanmış, yol testleri ve egzoz emisyon testleri yapılmıştır. Deney otobüsünde yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı kullanılmasının, aynı özelliklere sahip dizel prensibi ile çalışan ve motorin kullanan motora göre; yakıt tüketim maliyetini %47,5 (yaklaşık olarak yarıya indirmektedir) daha ekonomik hale getirdiği ve çevre dostu olduğu görülmüştür.

SUMMARY

Gasoline and diesel fuel are mostly being used in ignition-spark engines in Turkey. In order to achieve the same energy more economically and to decrease the environmental pollution to the least, like in the developed countries, LPG is seen to be increasingly used in our country.

There's no need to make any changes in the original design of the ignition-spark engine in order to use LPG, but many changes will have to be made in the diesel engine to transform it into Otto-principle. After the gas state LPG and air have been perfectly mixed, it is sent to the air chamber and then it goes into the burning room.

In this study, the effects of the LPG over the expenditure for fuel and exhaust emissions have been investigated. In Lada Samara, which was chosen to be the first test vehicle, the LPG systems have been added to test by means of chassis dynamometer at different speed levels. Because LPG is cheaper than fuel both in Turkey and in the world market, it was shown that the gasoline vehicle using LPG is %67-67,5 (approximately one third) more economical than that of using gasoline. Changes in the diesel engine and permanent design changes has been made in the RABA MAN engine, which belong to the I.E.T.T. bus, (licensed 1993-56) which was chosen for the second experiment, in order to make it work according to the Otto principle and to make exhaust emission test. From those tests, it was investigated that the bus using LPG is %47,5 (approximately one half) more economical with respect to that of using the other fuels and these vehicles are environment friendly.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
TABLO LİSTESİ.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
1 DOĞAL GAZIN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANIMI.....	1
1.1 Doğal Gazın Kimyasal Özellikleri.....	2
1.1.1 Doğal Gazın Dizel Motorlarda Kullanımı.....	6
1.1.1.1 Çift Yakıtlı Motorlar.....	6
1.1.1.2 Gaz Karbüratörlü Motorlar.....	6
1.1.1.3 Gaz Enjektörlü Motorlar.....	9
1.1.2 Doğal Gaz Motoru.....	9
1.1.2.1 Fakir Karışımli Doğal Gaz Motoru.....	11
1.1.2.2 Stokiyometrik Karışımli Doğal Gaz Motoru.....	12
1.1.3 Doğal Gazın Otto Motorlarında Kullanımı.....	12
1.1.4 Doğal Gaz Motorunun Egzoz Gaz Emisyonu.....	16
1.1.5 Doğal Gaz Yakıtının Taşıtlarda Depolanma Şekilleri.....	22
1.1.6 Güvenlik.....	24
1.2 LPG'nin Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılması.....	25
1.2.1 LPG'nin Kimyasal Ve Teknik Özellikleri.....	26
1.2.2 LPG ve Çevre.....	31
1.2.3 Dünya Otomotiv Sektöründe LPG Kullanımı.....	33
1.2.4 Avrupa Otomotiv Sektöründe LPG Kullanımı.....	34
1.2.5 LPG Donanımı Ve LPG Motorunun Çalıştırılması.....	35
2 BENZİN VE MOTORIN YAKITLI MOTORLARIN, LPG İLE ÇALIŞTIRILMASI.....	44
2.1 Benzinli Deney Motorunun, LPG İle Çalıştırılması.....	44
2.1.1 Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	44
2.1.2 Deneyin Yapılışı.....	45
2.1.3 Hesaplamalar.....	46
2.2 Motorinli Deney Motoruna Tadilat Yapılarak LPG İle Çalıştırılması.....	50
2.2.1 Deney Motorunun Seçimi Ve Özellikleri.....	50
2.2.2 Dizel Deney Motoru Ve Aracının Teknik Özellikleri.....	50
2.2.3 LPG Deney Motoru Ve Aracının Teknik Özellikleri.....	51
2.3 LPG Pistonunun Ve Sıkıştırma Oranının Hesaplanması.....	52
2.4 Motorda Yapılan Tadilatlar Ve İşlemler.....	53
2.5 Taşıtta Yapılan Tadilatlar Ve İşlemler.....	55
3 LPG İLE ÇALIŞAN OTOBÜS MOTORUNUN DENEYLERİ.....	57
4 DONANIM VE İŞLETME ŞARTLARINA AİT ÖNERİLER.....	70
5 SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	75

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Dünya doğal gaz rezervleri	1
Tablo 1.2 Doğal gazın %90-96'sını oluşturan, metan gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	3
Tablo 1.3 LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	26
Tablo 1.4 Yakıtların Özellikleri.....	28
Tablo 1.5 Yakıtlar İçin Eşdeğerlik Katsayıları.....	29
Tablo 1.6 Alternatif Yakıt Kullanan Taşıtların, Performanslarının Karşılaştırılması.....	30
Tablo 1.7 Bileşiklerin zehirlilik parametreleri.....	32
Tablo 1.8 Dünyada LPG Kullanan Araçlar.....	33
Tablo 1.9 Şasi Dinamometresi Aracılığıyla Ölçülen Test Değerleri.....	46
Tablo 2.1 Test ve Hesaplamalar Sonucu Elde Edilen Parametrelerin Değerleri.....	50
Tablo 2.2 Taşıtların yakıt sarfiyatı maliyetinin hesaplanması	50
Tablo 3.1 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Ölçülen Kuru Egzoz Gazının sonuçları.....	58
Tablo 3.2 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Biriken Yağın Temizlenmesi İçin Gaz Verildikten Sonra Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları.....	60
Tablo 3.3 800 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları.....	62
Tablo 3.4 1100 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları.....	63
Tablo 3.5 1400 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları.....	64
Tablo 3.6 1700 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları.....	65
Tablo 3.7 2000 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları.....	66
Tablo 3.8 LPG Yakıtlı Çalıştırılan RABA MAN Motorunun Sabit devirlerde Elde Edilen Sonuçların Ortalamasının sonuçları.....	67
Tablo 3.9 LPG'li RABA MAN Motoruyla (26.04.1999)-(21.10.1999) Tarihleri arasında Yapılan Yol Testleri Sonucu oluşan Yol-Yakıt Tablosu...	68

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Ventüri karbüratör şeması.....	7
Şekil 1.2 Girdap (vorteks) karbüratör şeması.....	8
Şekil 1.3 Gaz enjektörlü taşıt motoru örneği	10
Şekil 1.4 hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı verimin değişimi....	15
Şekil 1.5 Hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak maksimum momenti sağlayacak ateşleme avansının değişimi.....	15
Şekil 1.6 Sıkıştırma oranına bağlı olarak ısı verimin değişimi.	16
Şekil 1.7 Orta gücü, direkt püskürtmeli bir motorda doğal gaz kullanımı sonucu oluşan is değerleri.....	19
Şekil 1.8 Orta güçlü, direkt püskürtmeli bir motorda doğal gaz kullanımı sonucu oluşan NO _x değerleri.....	19
Şekil 1.9 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak HC emisyonu miktarının değişimi.....	19
Şekil 1.10 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak CO emisyonu miktarının değişimi.	21
Şekil 1.11 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak NO _x emisyonu miktarının değişimi.	21
Şekil 1.12 LPG'nin Sıcaklık - Basınç Grafiği.....	26
Şekil 1.13 LPG tank hacminin değişik oranlarda doluluğu ve değişik sıcaklıklardaki durumu.....	27
Şekil 1.14 LPG, benzin ve dizel egzoz emisyonlarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 1.15 LPG' ye dönüştürülmüş karbüratörlü bir aracın montaj resmi.....	34
Şekil 3.1 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı Motorun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	59
Şekil 3.2 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı Motorun Biriken Yağın Temizlenmesi İçin Gaz Verildikten Sonra Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	61
Şekil 3.3 800 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı Motorun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	62
Şekil 3.4 1100 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı Motorun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	63
Şekil 3.5 1400 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı Motorun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	64
Şekil 3.6 1700 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı Motorun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	65
Şekil 3.7 2000 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı Motorun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	66
Şekil 3.8 LPG Yakıtlı Çalıştırılan Motorun Sabit devirlerde Elde Edilen Sonuçların Ortalamasının oluşturduğu CO ₂ , O ₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları.....	67
Şekil 3.9 LPG'li RABA MAN Motoruyla (26.04.1999)-(21.10.1999) Tarihleri arasında Yapılan Yol Testleri Sonucu oluşan Yol-Yakıt Grafiği.....	69

1 DOĞAL GAZIN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANIMI

Doğal gazın taşıtlarda benzin ve dizele göre düşük emisyonlu bir alternatif yakıt olarak yaygınlaşması, özellikle son yıllarda dikkat çekmektedir. Birçok ülkede zengin doğal gaz kaynakları olması, diğer ülkelere ise boru hatları ile yaygınlaştırılmasına rağmen, taşıtlarda yakıt olarak kullanılması, diğer uygulamalarına göre biraz yavaş kalmıştır. Son yıllarda gerek doğal gazın yaygınlaşması, gerekse ekonomik ve çevresel faktörlerin öncelik kazanması, doğal gazın taşıtlarda kullanımını gündeme getirmiştir.

Özellikle çevre açısından doğal gaz, son yıllarda önem kazanmıştır. Son 25 yılda doğal gaz rezervleri devamlı artırılmıştır. 1991 rakamları ile 124 trilyon m³'e ulaşmıştır. Bu günkü üretim şekli ile 65 yıl daha doğal gazın yeteceği tahmin edilmektedir. Ülkemizdeki doğal gazın toplam rezervi 17.4 milyar m³, üretilebilir doğal gaz 11.9 milyar m³ ve şimdiye kadar toplam olarak üretilen doğal gaz miktarı 2.13 milyar m³ olmuştur. Kalan üretilebilir rezerv ise 9.8 milyar m³'tür.[9]

Tablo 1.1 Dünya doğal gaz rezervleri (Milyar m³) [9]

Cezayir	3707	Malezya	680
Arjantin	623	Meksika	1839
Avustralya	849	Nijerya	1160
Kanada	2462	Norveç	1217
Çin	846	Katar	1700
Ekvator	113	S. Arabistan	3113
Almanya	170	B.A.E	623
Endonezya	340	İngiltere	708
İran	680	ABD	5405
Irak	13725	Eski S.S.C.B	26036
İtalya	792	Venezüella	1189
Libya	877		

Günümüzde 700000'den fazla doğal gazlı taşıt, 38 ayrı ülkede kullanılmaktadır. Bu ülkeler arasında 300000 adet ile İtalya başta gelmektedir. Diğer ülkeler Yeni Zelanda, Rusya, ABD, Kanada ve Arjantin'dir. ABD' de yaklaşık olarak 30000 adet doğal gaz yakıtlı taşıt ve 300 adet doğal gaz yakıtı satan istasyon bulunmaktadır. ABD'de doğal gazla çalışan çoğu taşıt, taşımacılıkta kullanılan otobüsler, kamyonlar ve minivanlar şeklindedir. New York şehrinde Flxible Corp firması tarafından geliştirilen sıkıştırılmış doğal gaz yakıtı kullanılan otobüsler taşımacılıkta kullanılmaktadır. ABD'de Kaliforniya ve Houston'da doğal gaz yakıtı kullanılan otobüsler devreye girmiş durumdadır.[10]

Ülkemizde de Ankara ve İstanbul'da taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinin, egzoz emisyonlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için bir takım projeler geliştirilmekte ve doğal gaza dönüşümleri tamamlanan otobüsler kullanılmaktadır. Doğal gaz, taşıtlarda üç farklı tipte uygulamaktadırlar.[11]

- 1) Doğal gazın taşıtta yakıt olarak tek başına kullanılması,
- 2) Doğal gazın taşıtta benzin veya doğal gaz olarak ayrı ayrı kullanılması,
- 3) Doğal gazın taşıtta yakıt olarak dizel ile beraber kullanılması. [11]

1.1 Doğal Gazın Kimyasal Özellikleri

Doğal gazın büyük bölümünü %90-96 CH_4 (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise %2.411 C_2H_6 (etan), %0.736 C_3H_8 (propan), %0.371 C_4H_{10} (bütan), %0.776 N_2 (azot), %0.164 C_5H_{12} (pentan) ve %0.085 CO_2 (karbondioksit) oluşturmaktadır.[4]

Tablo 1.2 Doğal gazın %90-96'sını oluşturan, metan gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri. [4]

Kimyasal denklemi		CH ₄
C/H oranı		0.25
Moleküller kütlesi		16.04
Özgül kütlesi		
Sıvı	(kg/dm ³)	0.242
Gaz	(kg/dm ³)	0.78 x 10 ⁻³
Isıl değeri		
Kütleli	(MJ/kg)	50.8
Hacimsel	(MJ/litre)	20.8
Stokiyometrik karışım için		
Hava/yakıt	(kütleli)	17.2
Hava/yakıt	(hacimsel)	9.53
	(kJ/litre)	3.4
Molürünler/molreaktantlar		1.00
Buharlaştırma ısı	(MJ/kg)	0.509
Havadaki Tutuşma sınırı		
% hacim		5-15.4
λ		0.59-2.0
Laminar alev hızı	(m / s)	0.37
Adyabatik alev sıcaklığı	(°C)	1954
Difüzyon katsayısı	(m ² /s)	0.16
Kaynama noktası	(°C)	-161.3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	(°C)	632
Oktan sayısı		
ROS		130
MOS		105

Doğal gazın ısı değeri benzine göre yüksek olması bir avantaj sağlamaktadır. Doğal gaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazları emisyonu açısından yarar sağlaması da mümkün olmaktadır. [4]

Ancak stokiyometrik karışım içindeki yakıtın hacimsel oranının yüksek oluşu (benzin için %65, metan için %9.47) nedeni ile, motorun birim hacimdeki stokiyometrik karışımın ısı değeri benzine göre %10 mertebesinde daha az olmaktadır. Ayrıca Laminar alev hızının da benzin-hava karışımına göre düşük olması, benzin motorlarında, performans açısından olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Laminar alev hızının benzin-hava karışımına göre düşük olması, yanma süresini arttırmaktadır. Bu süre zamanlama kaybını arttırdığından güç ve verim değerlerinde azalma meydana gelmektedir.[12] Ancak doğal gazın motor performansı üzerindeki bu olumsuz etkisi, sahip olduğu yüksek oktan sayısı avantajı kullanılarak motorun sıkıştırma oranının artırılması sonucunda giderilebilmektedir. [4]

Yüksek performansa ve düşük egzoz emisyonuna sahip bir doğal gaz motorunun yapımı, doğru sıkıştırma oranının tespiti ile sağlanmaktadır. Bu oran her motor için değişebilir. Sıkıştırma oranının artırılmasını motor vuruntusu sınırlamaktadır.[11]

Doğal gaz yüksek oktan sayısına sahiptir. Bu avantajı sıkıştırma oranını ortalama 12:1 düzeyine çıkarmaktadır. Benzin oktan sayısı 90, doğal gazın oktan sayısı ROS 130 , MOS 105'dir. Oktan sayısı yakıtın kalitesine göre daha da az olabilmektedir. Yüksek oktan sayısı demek; vurununun ortadan kalkması, daha uzun buji ömrü, yağlama yağının daha fazla kullanımı ve soğuk havalarda daha kolay çalışması demektir. Doğal gaz motorlarında sıkıştırma oranının yüksek tutulması önemlidir. Sıkıştırma oranının artırılması daha fazla

termik verim sağlar. Termik verimin artması yakıt tüketiminde azalma demektir. Sıkıştırma oranında bir değişiklik yapılmadan doğal gazın benzin motorlarında kullanılması sonucu oluşacak güç kayıplarının üstesinden gelinebilir. Doğal gaz daha hafif molekül yapısına sahiptir ve silindire giren havanın %10'unu teşkil etmektedir. Hava miktarının azaltılması genellikle güç kaybına neden olurken sıkıştırma oranının arttırılması bu durumu azaltabilir. Ayrıca doğal gazın yanması sonucu oluşan maksimum basınç ve sıcaklıklar benzin motorlarından daha düşük olduğundan, sıkıştırma oranının arttırılması sonucu artacak olan basınç ve sıcaklıklar tehlikeli boyutlara ulaşmayıp, ancak benzin motorlarındaki değerlere gelecektir. Dizel motorlarda sıkıştırma oranının yüksek olmasından dolayı, uygun değişiklikler yapılırsa, doğal gazın dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabilmesine yaygın olarak inanılmaktadır. [11]

Doğal gazın difüzyon katsayısı benzine nazaran iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda, doğal gaz; ortam içersine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile doğal gaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir. [4]

Doğal gazın korozif özelliği yoktur. Fakat dünyanın değişik bölgelerden elde edilen doğal gazın içerisinde nadiren olabilmekte; buda motorda aşındırıcı etkiye sebep olabilmektedir.[16]. İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğal gazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığının düşmesi NO_x emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğal gazın kullanımı, motorlu taşıtlarının gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir. [14]

Doğal gazın dağıtımı, borularla kullanım yerine kadar yapılabilmektedir. Çok temiz ve özellikleri sabit kalan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Doğal gazın depolanması, buharlaştırılması ve karbürasyonu farklı bir şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncı düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır. [13]

1.1.1 Doğal Gazın Dizel Motorlarda Kullanımı

Dizel motorlar, sadece doğal gaz kullanacak şekilde veya doğal gaz ile motorinin birlikte kullanılacağı, çift yakıtlı motorlar olarak düzenlenmektedir.[10]

1.1.1.1 Çift Yakıtlı Motorlar

Çift yakıtlı motorlarda, silindir içerisindeki doğal gaz karışımının, tutuşmasını sağlamak için motorun kendi püskürtme sistemi ile püskürtme pompası kullanılarak pilot motorin püskürtülür. Püskürtme anında tutuşan pilot yakıt yardımı ile karışım tutuşur. Kullanılan motorin oranı, tam güçte toplam yakıtın %5-30'u arasındadır. Motor yükünün değişmesi halinde motorin miktarının sabit kalmasına karşılık doğal gaz miktarı değişmektedir. Böylece kısmi yüklerde doğal gaz oranı düşmekte, rölantide çalışmada ise hiç doğal gaz kullanılmamaktadır. Çift yakıtlı motorlarda doğal gazın, karışım şekline göre iki farklı uygulaması söz konusudur. Bunlar karbüratörlü ve enjektörlü sistemlerdir. [10]

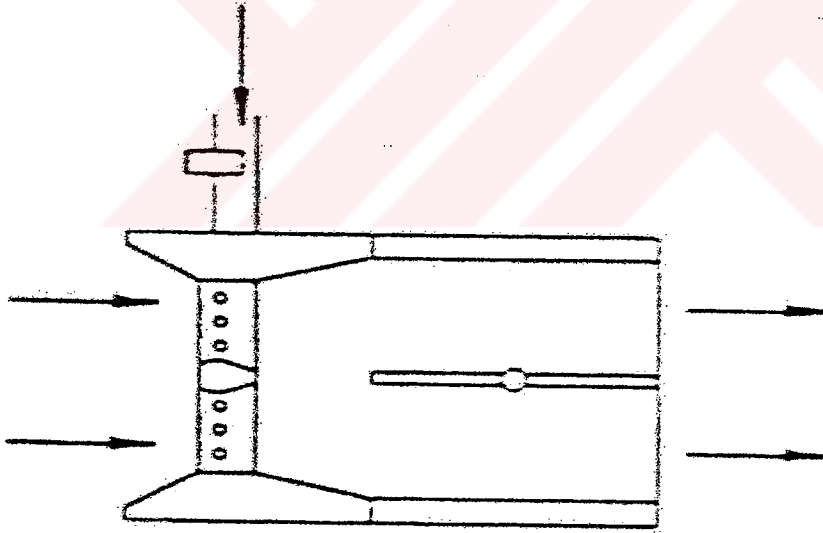
1.1.1.2 Gaz Karbüratörlü Motorlar

Dizel motoruna gaz/hava karbüratörü ilave edilerek silindir içine doğal gaz emilmekte, sıkıştırılan bu karışıma motorin püskürtülerek tutuşma sağlanmaktadır. Dolgu miktarı kısılma ile ayarlandığında, motorun verimi de

azalır. Bu uygulamanın avantajlı tarafı, herhangi bir değişiklik yapılmadan motor tekrar eski haline dönüştürülerek sadece dizel yakıtı ile çalışma imkanının olmasıdır. Bir dizel motorunun doğal gaz motoruna dönüştürülmesi istendiğinde, motorun sıkıştırma oranının, uygun olması durumunda, gaz/hava karbüratörü ve kumanda sistemleri ilave edilerek dönüşüm sağlanabilmektedir. Bu amaç ile değişik tip gaz karbüratörleri geliştirilmiştir.[10]

Ventüri Karbüratörü

Benzin karbüratörünün tekrar tasarımı şeklindedir. Ventüri boğazı çevresinde gaz giriş delikleri mevcuttur. Kesit daralması nedeni ile basınç düşüşü söz konusudur. Aşağıda ventüri karbüratörünün basit şeması görünmektedir.[10]



Şekil 1.1 Ventüri karbüratör şeması [10]

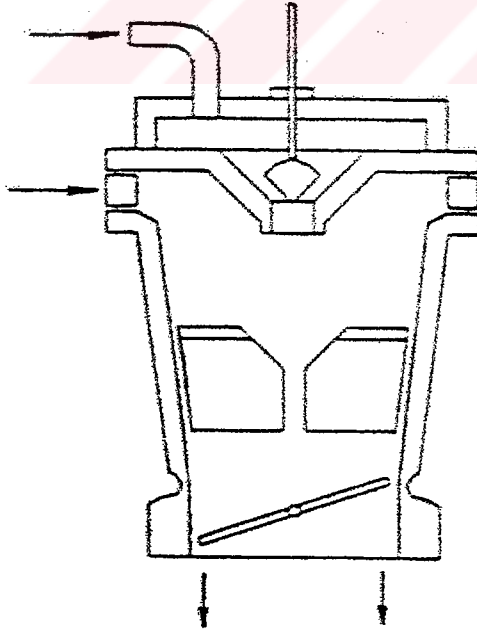
Orifis (Delikli) Karbüratör

Üç yollu katalizör uygulamaları için hava/yakıt oranı kontrolü düşünülerek tasarlanmıştır. Hava akışı yakıt akışına diktir. Karıştırma bölümünde iki ayarlanabilir orifis mevcuttur. Yakıt orifisi, hava akışına yakıtın akışını kontrol için kullanılır. Orifisin dar geçişinde akışı iyileştirecek bir difüzyon mevcut değildir. Bu neden ile karışım odasında orifiksten sonra yüksek türbülans mevcuttur.[10]

Girdap (vorteks) Karbüratörde

Radyal giriş akışını dairesel akışa çeviren sekiz adet kanatlı giriş bölümü mevcuttur. Girdabın ortasındaki yüksek dairesel hız, bir basınç düşüşü sağlar. Buda gaz sinyali olarak kullanılır. Gaz girdabın ortasına çekilir, dairesel gaz ve hava akışı aksel olarak karbüratör çıkışına yollanır. Hız aksel hıza çevrilirken oluşabilecek kayıpları önlemek için, akış yönüne ters şekilde sabit bir girdap kırıcı yerleştirilmiştir.[10]

Şekil 2.2'de girdap (vorteks) karbüratörünün, basit şeması görünmektedir.



Şekil 1.2 Girdap (vorteks) karbüratör şeması [10]

Değişken Sınırlamalı Karbüratörde

Hem hava hem de gaz çıkışı için sınırlamalar mevcuttur. Hava/yakıt oranı, gaz ve havanın sınırlama oranı sayesinde kontrol edilir. Ayrıca hava fazlalık katsayısını yüksek akış sırasında ayarlamak için ana ayar vanası da mevcuttur. Yakıt sevk basıncı, hava fazlalık katsayısındaki küçük değişiklikleri yapmak içinde kullanılır. Otomatik hava fazlalık katsayısı kontrolünde hava ve yakıt by-pass sistemi kullanılmıştır. [10]

Ancak bu sistem, homojenlikte bazı problemler yaratmaktadır. Son yıllardaki bir dizaynında, hava fazlalık katsayısı kontrolünde, hava sınırlaması için bir servomotor kullanılmıştır. [10]

Bütün bu karbüratör uygulamalarında, akış debisine göre hava fazlalık kat sayısı değerleri ve silindiler arasındaki homojenlik, farklı şekilde değişmektedir.[10]

1.1.1.3 Gaz Enjektörlü Motorlar

Gaz enjektörlü motorlarda karışım, gaz/hava karbüratörü yerine, doğal gazın her bir silindire enjektör ile püskürtülmesi şeklinde hazırlanmaktadır. Bu durumda gerek doğal gaz miktarına, gerekse pilot yakıt miktarına elektronik olarak kumanda edilebileceğinden hava fazlalık katsayısının istenen değerde tutulabilmesi mümkün olacaktır. Yakıtın püskürtülmesi, bir veya iki enjektör ile yapılan merkezi püskürtme şeklinde veya her bir silindir girişine yerleştirilen yakıt enjektörü şeklindedir. [15]

Şekil 2.3'de gaz enjektörlü bir taşıt motoru örneği görülmektedir. Bu sistemde silindirler arası hava/yakıt oranı değişikliği söz konusu değildir. [15]

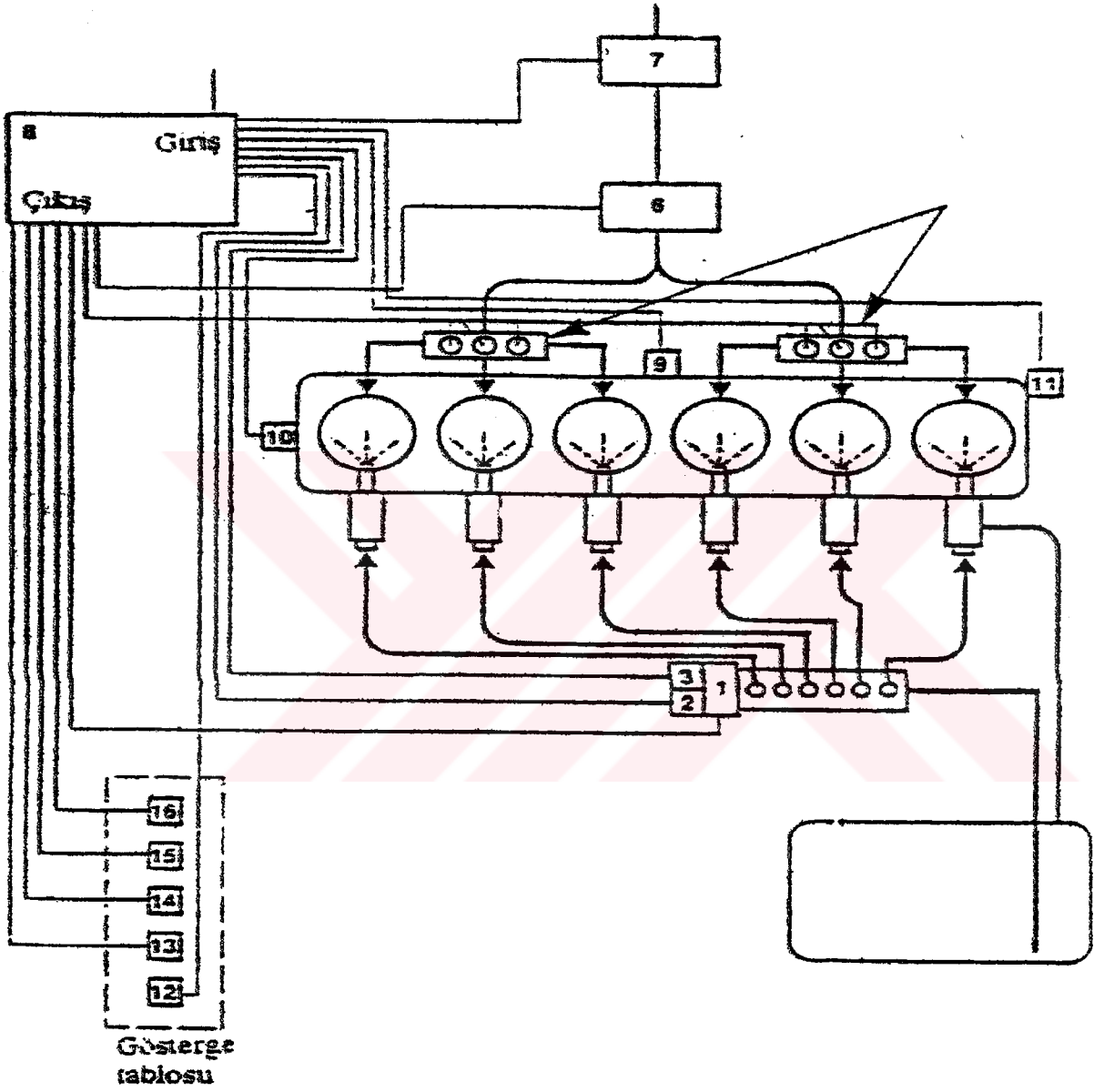
1.1.2 Doğal Gaz Motoru

İçten yanmalı motorların, çevre kirletici egzoz emisyonlarına getirilen sınırlamalar nedeniyle, daha düşük kirletici emisyon değerleri elde edebilmek için, mevcut motorları doğal gaz motoru olacak şekilde dönüştürmek yerine, sadece doğal gaz ile çalışan motorların geliştirilmesine ağırlık verilmiştir. Egzoz emisyonunu azaltmak için hava/yakıt oranı kontrolünün daha hassas yapılması gereklidir. Bu nedenle üretici firmalar, elektronik kontrol sistemleriyle donatılmış vericiler geliştirerek, hava/yakıt oranının hassas olarak ayarlanmasını sağlamıştır. Motorun doğal gaz motoru olarak yapılması halinde, ateşlemeyi kolaylaştırmak için farklı yanma odaları tasarlanmıştır. Bu yanma odalarından biri kademeli dolgu şeklinde olup ilk ateşleme, zengin karışimli çekirdeğe yapılmaktadır. Bir diğer uygulama, ön yanma odalı motor olup, burada da yanma olayı ön yanma odasında başlamakta, ana yanma odasına türbülans ile geçen yanmış gazlar buradaki tutuşmayı da sağlamaktadırlar. [15]

Dizel motorunda olduğu gibi yakıtın bir kısmının, bir veya birkaç enjektörle yanma odasına püskürtülmesi, tutuşmayı kolaylaştıran bir diğer yöntemdir. Doğal gaz motorlarında kirletici emisyonu azaltmak için iki farklı prensip düşünülmüştür. Bunlar; fakir karışimli motorlar ve stokiyometrik karışimli motorlardır. [15]

1.1.2.1 Fakir Karışimli Doğal Gaz Motoru

Fakir karışimli doğal gaz motorlarında hava fazlalık katsayısı 1,5-1,6 değerlerine kadar çıkabilmektedir. Bu durumda NO_x emisyonunda büyük azalmalar söz konusudur. Ayrıca yanma sırasında maksimum basınç ve sıcaklıkların düşmesi motor elemanlarının ısı gerilmelerini azaltacak ve motorun ömrünü uzatacaktır. Ancak fakir karışimde motorun gücü azalacaktır.[15]



Şekil 1.3 Gaz enjektörlü taşıt motoru örneği [15]

Fakir karışimli motorda ön yanma odaları kullanılarak alevin yanma odası içindeki yolu kısaltılabilir. Yanma hızının artması ile vuruş direnci yükselmekte, motorun daha yüksek sıkıştırma oranıyla çalışmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak motorun güç ve verimi artmaktadır. [15]

Fakir karışimli hızlı yanmalı motorlarda, stokiyometrik karışıma göre yakıt tüketiminde %15-20 dolayında iyileşme sağlanmaktadır. Fakir karışımın diğeri bir uygulama şeklide, değışken hava fazlalık katsayılı motorlardır.

Bu motorlar tam yükte, stokiyometrik karışımda çalışmakta, kısmi yüklerde ise fakir karışım ile çalışarak verimin artması ve NO_x emisyonunun azalması sağlanmaktadır.

Fakir karışımın güç azaltıcı etkisini önlemek için yapılan uygulamalardan bir diğeri aşırı doldurmadır. Silindir içindeki dolgu miktarının artırılmasıyla güç artışı meydana gelmektedir. Aşırı doldurma sonucu oluşan ısının, volümetrik verimi düşürmesini önlemek için havanın ara soğutucuyla soğutulması bir çözümdür. [15]

1.1.2.2 Stokiyometrik Karışimli Doğal Gaz Motoru

Doğal gaz motorunun stokiyometrik karışimli olarak çalıştırılması durumunda motorda maksimum güç elde edilebilmektedir. Otto çevrimi ile çalışan bu motorun buji ile ateşlemesi yapılmakta, sıkıştırma oranı artırılarak benzin motoruna göre daha verimli çalışması sağlanmaktadır.

Ancak bu karışım oranı şeklinde, NO_x emisyonu maksimum değıerdedir. Bu durumda diğeri kirletici egzoz emisyonlarında düşme görülmektedir. [15]

1.1.3 Doğal Gazın Otto Motorlarında Kullanımı

Doğal gaz, benzin motorlarında fazla bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Benzin motorları istenildiği zaman benzinle, istenildiği zaman doğal gazla çalıştırılabilir. Doğal gazı benzin motorlarında çok az miktarda kullanmamız mümkün olduğu gibi, tek yakıt olarak da kullanmamız mümkündür.

Her iki durumda da egzoz emisyonlarında kirlilik azalmakta özellikle karbonmonoksit (CO) miktarında önemli azalmalar olmaktadır. Motorda her iki yakıtta, otto çevrimi ile çalışabilir. [13]

Elektrikli ateşleme sistemi aynen kullanılır. Doğal gazın benzin motorlarında kullanılması halinde pilot yakıt, ateşleme sistemi ile karışımın ateşlenmesi durumu mevcut olduğundan gerekmemektedir. [13]

Benzin motoruna gaz/hava karbüratörünün ilavesi ve ateşleme sisteminin motora uygun olarak yeniden düzenlenmesi ile motorun doğal gaz motoru olarak kullanılabilmesi mümkündür. Bunların dışında doğal gazın depolanması, depodan motora gönderilmesi için gerekli basınç regülatörü ve emniyet supabı gibi elemanlar ile donatılması gerekmektedir. [13]

Yüksek basınçta depolanan doğal gazın basıncının regülatörde düşürülmesinden sonra gaz karbüratöründe hava ile karışım sağlanmaktadır.

Gaz karbüratörlerinin, karışımı homojen bir şekilde ve istenen yakıt/hava oranında hazırlanması, motor gücünü düşürmeyecek şekilde akış direncinin mümkün olduğu kadar az olması, motorun tüm çalışma şartlarında emniyetli çalışması, bütün silindirlere aynı yakıt/hava oranında karışım gönderilmesi ve kirlitici egzoz emisyonunu düşük seviyede tutacak şekilde karışımın hazırlanması gerekmektedir. [14]

Benzin motorlarında dizel motorlarda olduğu gibi ventüri karbüratörü, orifiks (delikli) karbüratör, girdap (vorteks) karbüratör ve değişken sınırlamalı karbüratör kullanılmaktadır. [11]

Günümüzde buji ateşlemeli motorlarda doğal gaz kullanılması ile ilgili çalışmalarda birtakım ilerlemeler sağlanmıştır. Yapılan testler sonucunda şaft verimi ve yağlama yağının dayanıklılığı arttığı görülmüştür.

Test çalışmaları yağlama yağının 4000 saat kullanılabileceğini göstermektedir. Benzin motorlarında doğal gaz kullanılması durumunda hava sıcaklığının kontrolü, kalibrasyon ve motorun boşa çalışma gibi problemler mevcuttur. [13]

Doğal gaz sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeniyle, otto ilkesine göre çalışan motorlara uygun bir yakıttır. [13]

Benzine oranla birim kütlesinin sahip olduğu enerji yoğunluğu daha fazla olduğu halde (benzin 43mj/kg, doğal gaz 50-52mj/kg), stokiyometrik oranlardaki karışımın enerji yoğunluğu benzine oranla daha düşük olmaktadır. Bu nedenle aynı motordan alınacak güç, doğal gaz kullanıldığında düşmektedir.

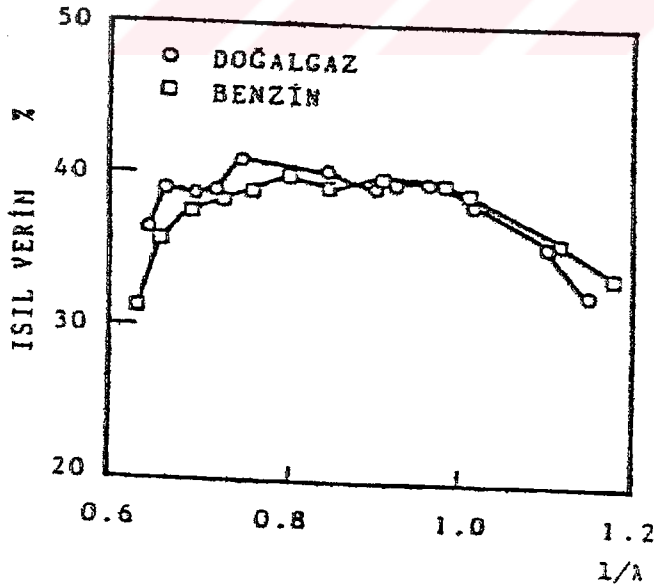
Ayrıca yanma hızının da düşük olması, ısıl verim açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğal gazın tutuşma sınırının, fakir karışımlara doğru gidildikçe, benzine oranla daha geniş olması ısıl veriminin bu şartlarda daha yüksek olmasına neden olmaktadır. [13]

Şekil 1.4'de hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı veriminin değişimi görülmektedir. Diğer taraftan doğal gaz kullanımını sırasında maksimum momenti sağlayabilmek için ateşleme avansının arttırılması

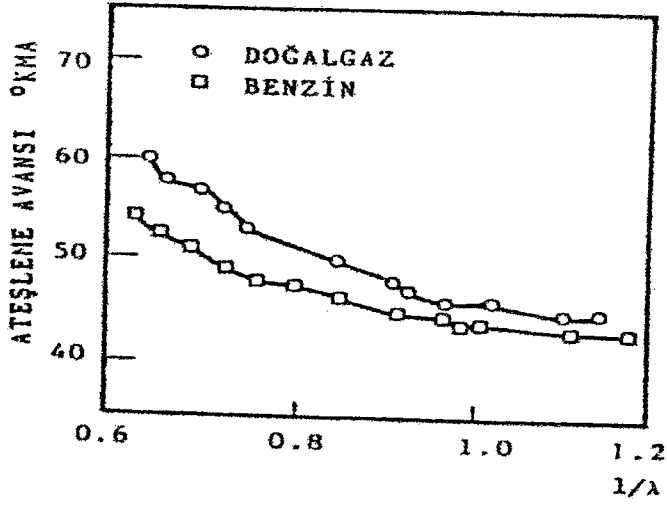
gerekmektedir. Hava fazlalık kat sayısının, daha fakir değerlerinde bu fark daha da belirgin olmaktadır. [4]

Şekil 1.5'da hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak maksimum momenti sağlayacak ateşleme avansının değişimi görülmektedir. Doğal gazın yüksek oktan sayısı avantajı kullanılarak motorun sıkıştırma oranı arttırıldığında ısı veriminde artacaktır. Ancak sıkıştırma oranının belli bir sınırın üzerine çıkarılması durumunda, vurutu sınırına gelindiği için ısı verim tekrar düşmektir. [4]

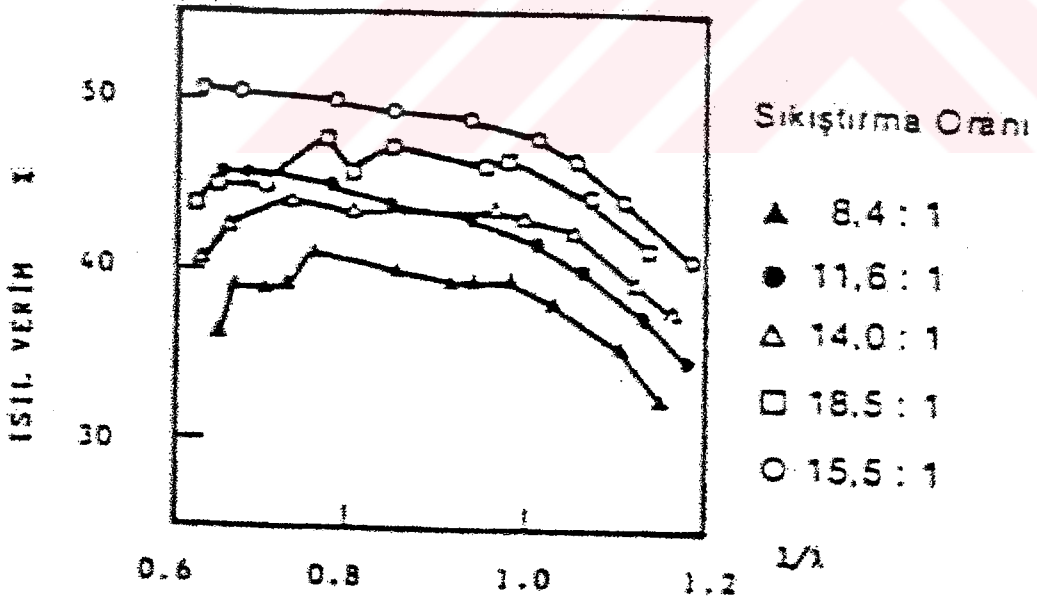
Motordan maksimum güç alabilmek için, sıkıştırma oranının değiştirilmesi ile ateşleme avansının da ayarlanması gerekmektedir. [4]



Şekil 1.4 hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak ısı veriminin değişimi [4]



Şekil 1.6 Hava fazlalık katsayısının fonksiyonu olarak maksimum momenti sağlayacak ateşleme avansının değişimi. [4]



Şekil 1.7 Sıkıştırma oranına bağlı olarak ısı veriminin değişimi. [4]

1.1.4 Doğal Gaz Motorunun Egzoz Gaz Emisyonu

İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğal gazın kullanılmasıyla veya az miktarda devreye ilave edilmesiyle egzoz emisyonlarında azalmalar olmaktadır. Büyük şehirlerdeki hava kirliliğinde, motorlu taşıtların payının fazla olması, egzoz emisyonlarındaki zehirli gazların azalmasını temin eden, doğal gazın kullanılması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur. [15]

Doğal gazın yakıt olarak içten yanmalı motorda kullanımı, özellikle şehir trafiğinde seyreden dizel motorlarda, NO_x ve HC emisyonlarında azalmalar, benzin motorlarında da CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edecektir. Doğal gazın karbon oranının diğer petrol yakıtlarına göre, düşük olması egzoz gazlarındaki karbondioksit CO_2 oranının azalmasına sebep olacaktır. [15]

Ayrıca doğal gaz kullanımı, benzinli taşıtların egzoz emisyonlarındaki zehirli kurşun türevlerini bulundurmayacaktır. Doğal gaz oktani yüksek, kurşunsuz bir yakıttır. [15]

Yanma sonu sıcaklığının düşmesi egzoz emisyonlarındaki, NO_x miktarının da düşmesine sebep olmaktadır. Yapılan deneylerde, dizel ve benzin motorlarında, doğal gaz kullanılması durumunda, yanma sonu sıcaklığında bir düşme gözlenmekte, buda NO_x emisyonlarında bir azalma sağlamaktadır. [14]

CO emisyonları yanma sonu sıcaklığı, yanma verimi, su buharı miktarı ve NO_x emisyonlarının oluşumu ile hava fazlalığı ile değişim göstermektedir. [14]

İyi bir yanma ile CO miktarında düşmeler görülür. Zengin karışımlarda, CO emisyonlarında artmalar gözlenir. Hava fazlalık katsayısının belirli değerlerinde sıcaklıkla beraber, NO_x 'de artmalar olurken, buna ters olarak CO

emisyonlarında azalmalar görülür. HC emisyonlarında da CO emisyonlarına benzer değişmeler görülür. [14]

İyi bir yanma ile HC ve CO emisyonlarında düşmeler olurken, sıcaklığın artmasıyla NO_x emisyonlarında artmalar görülür. [14]

Doğal gazın yakıt olarak kullanılması ile daha iyi yanma ve yanma sonu sıcaklıklarında azalmalar sağlanır. Buda CO, HC ve NO_x emisyonlarında azalma olacağını göstermektedir. [14]

Doğal gaz kullanılan motorların egzoz emisyonlarında, benzin motorlarına göre daha az miktarda karbondioksit CO₂, karbonmonoksit CO, azot oksit NO_x ve metan bulundurmayan hidrokarbonlar HC için genellikle 3 yollu katalitik konvektör kullanılması tavsiye edilmektedir. [14]

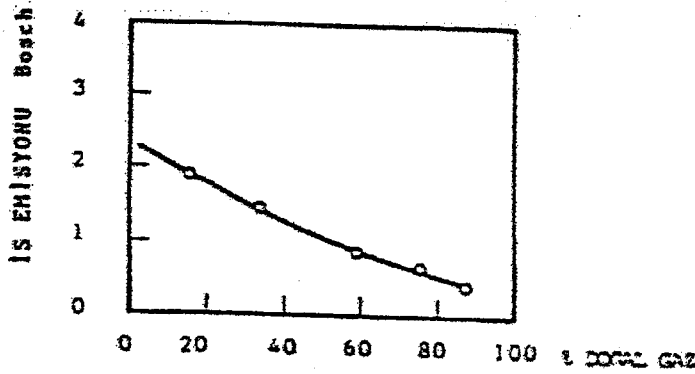
Fakat doğal gaz motorundan yayılan egzoz emisyonları, kullanılan doğal gazın cinsine, kullanılan motor tipine göre değişmektedir. [14]

Doğal Gazın Dizel Motorlarında Kullanımı Durumunda Oluşan Egzoz Gazları Emisyonu

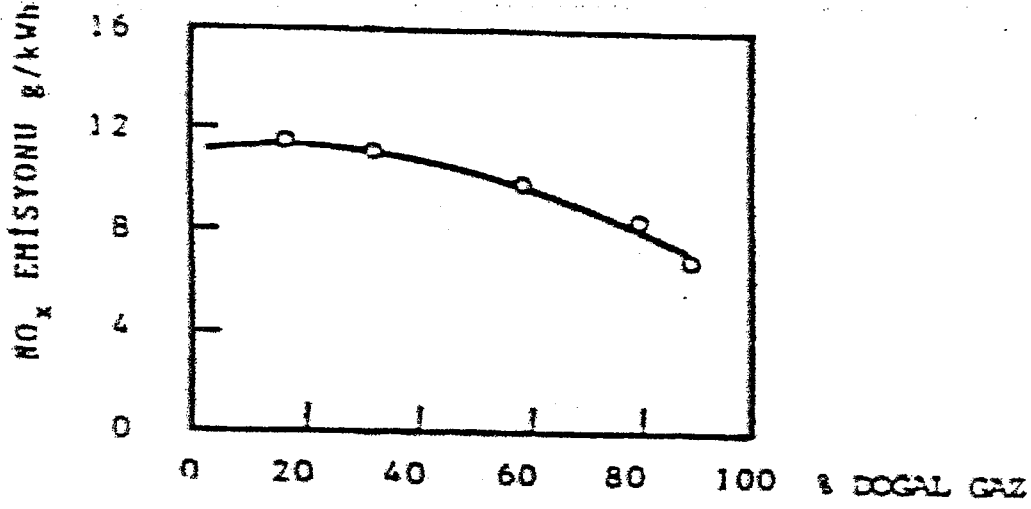
Doğal gaz ile çalışmada is ve NO_x emisyonlarının, normal dizel yakıtı ile çalışmadaki seviyelerinin yarısının da altına inmesi, doğal gazı özellikle toplu taşımacılıkta kullanılan taşıtların motorları için çekici hale getirmiştir. Bu amaçla doğal gaz, orta güçlü(silindir çapı=125-150mm, V_h=8-12dm³, P=150-250KW) dizel motorlarında giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. [4]

Dizel yakıtı yerine doğal gaz kullanıldığında orta güçlü dizel motorlarının CO ve özellikle HC emisyonları artar, bunun nedeni yanma odasına yayılan doğal gazın yerel olarak yanmasını tamamlayamamasıdır. Ancak pilot püskürtme enjektörü kullanıldığında doğal gazla da, yakıt tüketimine paralel olarak, %100 dizel yakıtın, CO emisyonu seviyesine inmek mümkün olmaktadır. Ancak bu durumda pilot püskürtme miktarı %10-15'i geçmemelidir. Aksi durumda püskürtme süresi çok uzadığından CO ve HC emisyonlarında yeniden artma başlamaktadır. Şekil 1.8'de silindir çapı 125mm, stroku 135mm, sıkıştırma oranı 17 olan, oyuk pistonlu, direkt püskürtmeli bir deney motorundan elde edilmiş değerler görülmektedir. Gaz yakıt yüzdesi 0 iken yani %100 dizel yakıtı ile çalışırken 2,5 olan Bosch is sayısı, %90'lık gaz çalışmalarında 0.6 ya düşmüştür. Pilot püskürtme enjektörü kullanılırsa, is pratik olarak ortadan kalkmaktadır. Aynı motorda ölçülen NO_x emisyonu değerleri Şekil 1.9 da verilmiştir. Gaz çalışmasına geçildiğinde, NO_x emisyonunda yarıdan fazla bir düşme elde edilmektedir. [4]

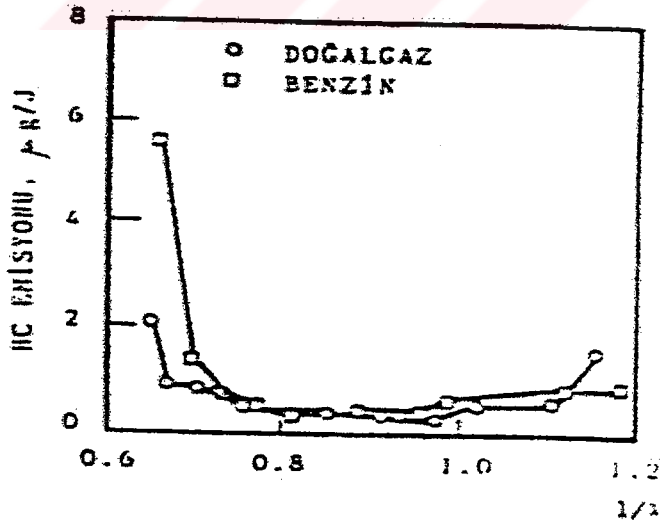
Doğal gazın dizel motorlarında kullanılmasıyla, gürültü emisyonunda büyük bir azalma elde edilir. Bunun nedeni, sadece %10'luk dizel yakıtı püskürtmesi sonucu, tutuşma gecikmesi süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarının da hızlı bir şekilde azalmış olmasıdır. [4]



Şekil 1.8 Orta güçlü, direkt püskürtmeli bir motorda doğal gaz kullanımı sonucu oluşan is değerleri. [4]



Şekil 1.9 Orta güçlü, direkt püskürtmeli bir motorda doğal gaz kullanımı sonucu oluşan NO_x değerleri. [4]



Şekil 1.10 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak HC emisyonu miktarının değişimi. [4]

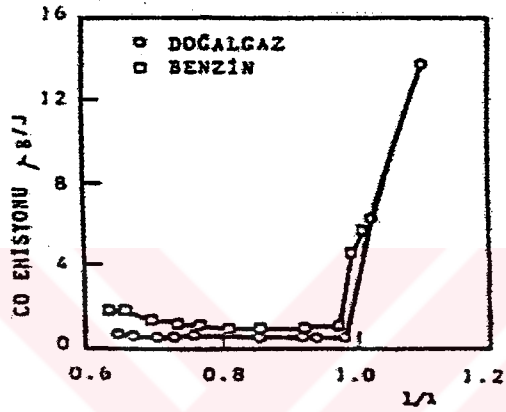
Sonuç olarak doğal gaz dizel motorlarında kirletici emisyonu azaltmak için kullanılacak alternatif bir yakıttır. Mevcut motorların çeşitli yöntemler ile doğal gaz ile çalışabilir hale dönüştürülebilmesi her ne kadar bir çözüm şekliyse de bu uygulamalarda doğal gaz ile çalışan motorun emisyon değerleri, son yıllarda AT ülkelerinde uygulanan sınır değerini karşılaması mümkün olmamaktadır. Geçici olarak kullanılacak bu çözüm yerine, sadece doğal gaz kullanılan motorların üretilmesi daha kalıcı bir çözüm olarak görülmektedir. Şehir içi otobüslerde kullanılacak doğal gaz dönüşümlerinde, kullanılacak gaz oranının artmasını sağlamak amacıyla, kısmi yüklerde çalışma oranının daha düşük olacağı hatların seçilmesi özellikle şarttır. [15]

Doğal Gazın Otto Motorlarında Kullanımı Durumunda Oluşan Egzoz Gazları Emisyonu

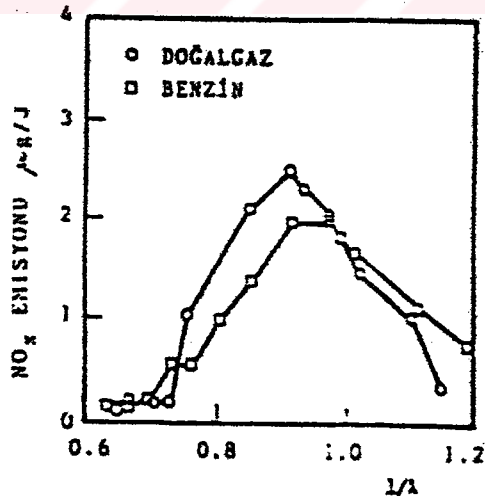
Doğal gaz hava kirliliği açısından avantajlı bir yakıttır. Yanmamış HC emisyonu açısından doğal gaz ve benzin motorları arasında hava fazlalık katsayısının 0,9 ile 1,4 arasında değişen değerleri için belirgin bir fark bulunmaktadır. Ancak karışımın daha da fakirleştirilmesi durumunda doğal gaz avantajlı olmaktadır. Şekil 1.10'da hava fazlalık katsayısına bağlı olarak HC emisyonu miktarının değişimi görülmektedir. CO emisyonu açısından bir karşılaştırma yapıldığında stokiyometrik ve fakir karışımlar için doğal gaz daha avantajlı durumdadır. Ancak zengin karışımlara doğru gidildikçe benzin motoruna benzer şekilde CO emisyonu artış göstermektedir. Şekil 1.11'de hava fazlalık katsayısına bağlı olarak CO emisyonu miktarının değişimi görülmektedir. [4]

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

dolayı, hava fazlalık katsayısının 1.3 değerinin altında, doğal gazın Nox emisyonları benzine göre daha az bir değerde kalmaktadır. Şekil 1.12’de hava fazlalık katsayısına bağlı olarak NO_x emisyonun miktarının değişimi görülmektedir. [4]



Şekil 1.11 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak CO emisyonu miktarının değişimi. [4]



Şekil 1.12 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak NO_x emisyonu miktarının değişimi. [4]

1.1.5 Doğal Gaz Yakıtının Taşıtlarda Depolanma Şekilleri

Doğal gazın taşıtlarda depolanması ekonomik ve teknolojik yönden problemler doğurmaktadır. Gaz veya sıvı olarak depolamada, doğal gaz yüksek basınç altında depolanmaktadır. Buda bir yandan depo ağırlığının artmasına, diğer yandan da emniyet açısından bazı problemlere yol açmaktadır. [4]

Doğal gaz yüksek basınç ile sıkıştırılmış gaz formunda (CNG) veya sıvı formda (LNG) depolanabilir. Doğal gaz kullanımı durumunda yakıt tankı oldukça geniş ve ağırdır; fakat geniş taşıtlarda kullanılması ile bu fazla önem teşkil etmemektedir. Fakat geniş yakıt tanklarının sorun olmadan yerleştirilebileceği büyük taşıtlarda, genellikle menzil 320 km den az olmaktadır. [9]

Yakıt tankı kapasiteleri taşıttan ne kadar menzil beklendiği ve taşıta en fazla ne kadar ekstra ağırlık yükleneceğine bağlıdır. Genel olarak arabalara 37 litre benzine eşdeğer hacimde iki adet doğal gaz tankı kullanılmaktadır. Kamyon ve otobüslerde menzilin 480-640km'ye çıkarılabilmesi için ekstra tanklar kullanılmaktadır. [9]

Doğal gazın yüksek basınçta, sıvı halde yakıt istasyonlarında depolanması gerekmektedir. Doğal gaz ilk önce 7,03-8,44kg/cm² (100-120psi) basınca yükseltilir, daha sonra 49,21-56,24kg/cm² (700-800psi) basınca çıkartılır ve son olarak 210,9-253,08kg/cm² (3000-3600psi) basınca çıkartılarak depolanır. [12]

210,9-253,08kg/cm² basınçta sıvı halde yakıt istasyonlarında depolanan doğal gazın, taşıtlarda kullanımında en önemli nokta, taşıtlarda yakıt tankı olarak kullanılacak hacmin sınırlı olması nedeniyle doğal gazın sıvı halde kullanılmasının daha makul olduğudur. [12]

Sıvı doğal gaz diğer sıvı yakıtlara nazaran oldukça farklıdır. Doğal gazın kaynama sıcaklığının suyun donma sıcaklığının altında ve çok düşük olması, bu yakıtın normal sıcaklıklarda yüksek buharlaşma basıncına sahip olması demektir. Sonuç olarak düşünülen basınca dayanabilir sızdırmaz tank içerisinde depolanmalıdır. [13]

Eğer sıvı doğal gaz düşük sıcaklıkta tutulabilirse çıkış performansı artacaktır. Buda NO_x emisyonlarının azalması ve sıkıştırma oranının artırılması bakımından önemlidir. [4]

Sıkıştırılmış doğal gaz alüminyum veya çelik tanklar içerisinde depolanmaktadır. Taşıtlarda $140,6-210,9 \text{ kg/cm}^2$ (2000-3000psi) basınç altında depolanan sıkıştırılmış doğal gazın enerjisi düşüktür. Bu yüzden taşıtlar belli bir mesafe gidebilmek için, geniş yakıt depolarına ihtiyaç duyarlar. [12]

Taşıt çalışmaya başladığında doğal gaz silindire gelene kadar birkaç basınç düzenleyiciden (regülatör) geçer. Tank içerisinde $140,6-210,9 \text{ kg/cm}^2$ basınçta bulunan doğal gazın basıncı ilk regülatörde $10,55 \text{ kg/cm}^2$ 'ye (150psi) düşürülür ve donmaya karşı gaz ısıtılır. İkinci regülatörde doğal gazın basıncı $0,84-1,05 \text{ kg/cm}^2$ 'ye (12-15psi) ve en son regülatörde de doğal gazın basıncı $0,014 \text{ kg/cm}^2$ 'ye (0.2psi) düşürülür. [9]

Doğal gaz/hava karışımı ayarlanarak, elektrikle kontrol edilen bir Selenoid vanadan geçerek silindire gönderilir. [9]

Basınç dürücü ilk regülatörden önce ve son regülatörden sonra emniyeti sağlamak için emniyet vanaları kullanılmaktadır. Bu vanalar kontak anahtarı kapalı iken, motor stop etmişken kapanarak doğal gaz akışını keserler. [9]

Doğal gazın 140,6-210,9kg/cm² gibi yüksek basınçlarda sıkıştırılmış olarak taşıtlarda depolanması, bu taşıtların herhangi bir kaza durumundaki emniyetleri bakımından kullanıcıları şüpheye götürmesine rağmen, yapılan test sonuçlarına göre sıkıştırılmış doğal gaz tanklarının emniyetli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. [9]

Benzinin güvenli bir yakıt olarak bilinmesine rağmen, doğal gazın havadan daha hafif oluşu nedeniyle herhangi bir kaza durumunda çabukça yayılacağı ve tutuşma sıcaklığının benzinin tutuşma sıcaklığından daha yüksek oluşu doğal gazın güvenli bir yakıt olduğunu gösterir. Doğal gazın alev alma aralığı sınırlıdır. Ancak havadaki doğal gaz miktarı %5-%15 arasında olursa doğal gaz yanabilir. [9]

1.1.6 Güvenlik

Doğal gaz kullanımı güvenlik açısından fazla bir problem oluşturmamaktadır. Doğal gaz tüpleri üretimde bir dizi denemeden geçtikten sonra kullanılabilir. Tüplerin kullanım sırasında da periyodik olan bazı testlerden geçmeleri gerekmektedir. [8]

Herhangi bir kaçak durumunda doğal gaz havadan hafif olduğundan atmosferde yükselmektedir. Benzine göre tutuşma sıcaklığı çok yüksektir (benzin 426°C, doğal gaz 704°C, tutuşmanın olduğu gaz/hava oranı (%4-14) arasındadır. Bu nedenle doğal gaz kapalı olmayan hacimde patlamamaktadır. [11]

1.2 LPG'İN BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA KULLANILMASI

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) yüksek kaliteye sahip bir enerji kaynağıdır. Isınmada, endüstride, tarımda, el sanatları ile ilgili bölümlerde olduğu kadar otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvılaştırılmış petrol

gazı (LPG), buji ateşlemeli motorlarda benzine alternatif geçerli bir yakıttır.

[1]

Buji ile Ateşlemeli Motorlar alternatif yakıt olarak kullanılan LPG, ham petrolün işlenmesinden, yada petrol yataklarında karışmış halde bulunduğu petrolden ayrılmasıyla veya doğal gazdan damıtılarak elde edilen ticari bütan ve ticari propan gazlarının karışımı ile elde edilir. Ham petrolün %4'ü gibi küçük bir kısmı LPG' ye dönüştürülebilmektedir. [1]

Gaz halindeki LPG havadan yaklaşık olarak iki katı ağırdır. Bu nedenle LPG, sistemde meydana gelebilecek olası bir kaçak durumunda zemine doğru çöker. Sıvı haldeki LPG ise sudan daha hafiftir. Sıvı haldeki LPG sızıntısı, aynı hacimdeki gaza göre daha büyük bir madde akışına neden olduğundan, gaz halindeki bir sızıntıdan çok daha tehlikelidir. Bir hacim sıvı LPG, yaklaşık olarak kendisininin 270 katı hacimde gaz LPG oluşturur. [2]

LPG gres, yağ ve boya gibi maddeleri eritir. Doğal kauçukta şişmelere neden olur, yaygın olarak kullanılan metallerde ise korozyona yol açmaz. Bu nedenle sistemde kullanılan hortumun üretiminde sentetik kauçuk tank üretiminde ise çelik kullanılır. [1]

LPG atmosferde fark edilmesi zor olan yanıcı karışımlar oluşturur. Sıvı haldeyken, zemin üzerine yerleşen ve yüksek derecede yanıcı olan karakteristik bir "sis" oluşturur. [1]

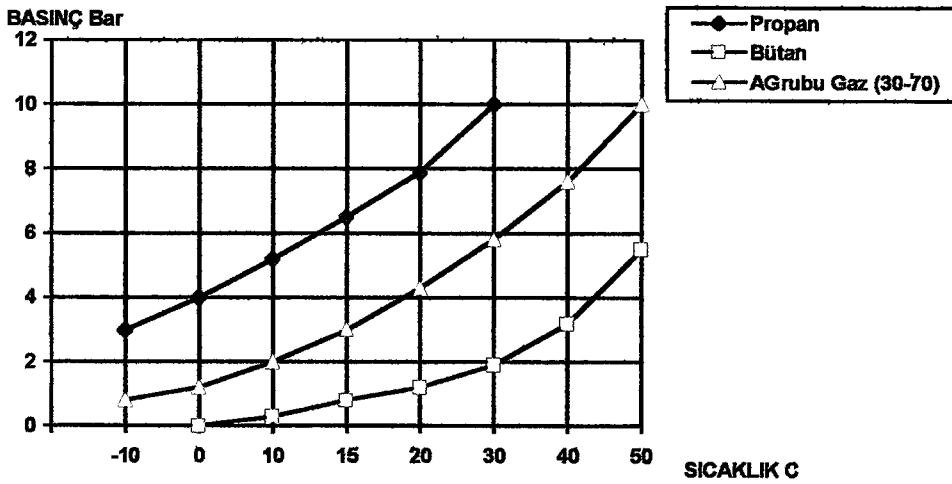
LPG, zehirli olmasa da, anestetik özelliklerinden dolayı solunmaması tavsiye edilir. Sıvı haldeki LPG'nin hızla buharlaşması soğuk yanıklara sebep olabileceğinden, doğrudan temas edilmemesi gerekir. [1]

1.2.1. LPG'nin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Tablo 1.3 LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [1]

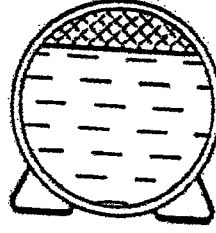
GAZ	BİRİM	PROPAN	BÜTAN	BENZİN
Kimyasal formülü		C_3H_8	C_4H_{10}	C_8H_{18}
Molekül kütlesi		44	58	91,4
Özgül kütlesi	kg/dm ³	0,510	0,580	0,73-0,78
Kaynama noktası	C	-43	-0,5	32- 221
Düşük ısı değeri	Kj/kg	11070	10920	10715
Yanma noktası havada	C	510	490	257
Yanma hızı havada	Cm/s	32	32	37

Bütanın 0.5 °C' de gaz fazına geçişi durur ve bütan sıvı fazda kalır. Bu olay propanda -43 °C' de görülmektedir. Bu yüzden özellikle soğuk havalarda propan oranı daha yüksek karışımlar hazırlanması gerekir.(Tablo 1.3) Bütanın 0°C' deki buhar basıncı 0.0005 bar iken 15 °C' de 0.8 bar' dır. Propanın 0 °C ' deki buhar basıncı 4 bar iken 15 °C' deki buhar basıncı 6.5 bar' dır. A Gurubu Gaz (30-70) ise 0 °C' deki buhar basıncı 1.3 bar iken 15°C' deki buhar basıncı 3 bar' dır. [1]

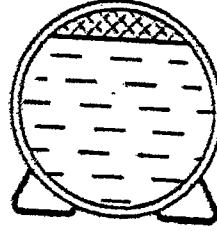


Şekil 1.13 LPG'nin Sıcaklık - Basınç Grafiği [2]

15 °C
TOPLAM HACMİN
GAZ %20
SIVI %80
Maksimum basınç 6.5 bar



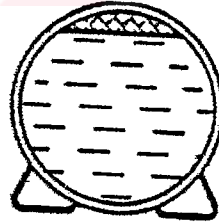
38 °C
TOPLAM HACMİN
GAZ %14-16
SIVI % 86-84
Maksimum basınç 12 bar



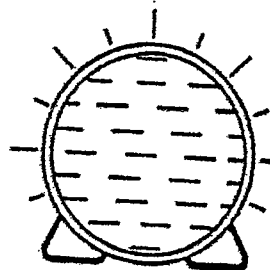
50 °C
TOPLAM HACMİN
GAZ %9-14
SIVI %86-91
Maksimum basınç 16.8 bar



15 °C
TOPLAM HACMİN
GAZ % 10
SIVI % 90



50 °C
TOPLAM HACMİN
SIVI %100
TEHLİKELİ DURUM



Şekil 1.14 LPG tank hacminin değişik oranlarda doluluğu ve değişik sıcaklıklardaki durumu [2]

Ortam sıcaklığının artması, basıncın da artmasına neden olmaktadır. (Şekil1.13, Şekil1.14). Bu yüzden LPG tankı hiçbir zaman tamamen doldurulamaz. Aksi takdirde LPG tankı Şekil 1.14'de görüldüğü gibi patlar. Bundan dolayı sisteme tamamen doldurmayı engelleyen multivalf konulmuştur. [2]

Benzin ve dizel yakıtların kaynama noktası oda sıcaklığı üzerinde iken, LPG'nin kaynama noktası daha düşük sıcaklıklardadır.(Tablo 1.4). Benzin ve dizel yakıtlar atmosfer şartlarında depolanabilirken, LPG'nin belirli bir basınçta depolanması gerekir. Ticari bütan ve ticari propan karışımı olan LPG'nin basıncı ise 2 bar ile 8 bar arasında değişmektedir. Benzinin de oda sıcaklığında buharlaşma eğilimi olduğundan, basınçlı tip yakıt tankında depolanması gerekir. [2]

Tablo 1.4 Yakıtların Özellikleri [1]

ÖZELLİKLER	BİRİM	PROPAN	BÜTAN	BENZİN	DİZEL
15°C'deki Yoğunluğu	Kg/dm ³	0,508	0,584	0,73-0,78	0,81-0,85
37,8°C'deki Buhar basıncı	Bar	12,1	2,6	0,5-0,9	0,003
Kaynama Noktası	°C	-43	-0,5	30-225	150-560
AON (RON)		111	103	96 - 98	
MON		97	89	85-87	
Alt ısı değeri	MJ/dm ³	23,42	26,55	32,32	35,62
Alt ısı değeri	MJ/kg	46,1	45,46	44,03	42,4
Stokiyometrik oran	Kg/kg	15,8	15,6	14,7	

LPG'nin AON "RON" (Araştırma oktan sayısı) ve MON'nu (Motor Oktan Numarası) benzine göre daha yüksektir. Bundan dolayı daha üstün anti-vuruntu

özelliğine sahiptir. Kütlesel alt ısı değer dizelden propana doğru artarken, hacimsel ısı değerler aynı şekilde azalır. [1]

Bunun anlamı, aynı enerjinin sağlanması söz konusu olduğunda, dizelden propana geçişte daha az bir yakıt kütlesinin yeterli olacağıdır. Ancak gerekli hacim ise daha fazladır. Buna göre, araçlarda yakıt olarak benzin yerine LPG kullanıldığında, gerekli yakıt kütle olarak azalırken, hacim olarak artmaktadır. Bu durum LPG'nin özgül ağırlığının dizel ve benzin yakıtına göre daha düşük olmasından kaynaklanır.(Tablo 1.4) [1]

Motorlar arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla, benzinin düşük kalorifik değerine eşit miktarda güç veren yakıt hacmi, "Eşdeğerlik Katsayısı" olarak adlandırılır. [2]

Tablo 1.5'de 1. kolonda verilen bu katsayılar, tablo 1.4'den alınan yakıtın litresi başına düşen alt ısı değer, dizel ve alternatif yakıtların alt ısı değer ilişkileri hesaplanarak elde edilmiştir. 2. kolonda bu hesaplama sonucu elde edilen "Teorik Eşdeğerlik Katsayıları" verilmiştir. 3. kolonda ise aynı oranların çeşitli düzeltme faktörleri de (Verimlilik) göz önüne alınarak gerçek değerleri verilmiştir. [2]

Tablo 1.5 Yakıtlar İçin Eşdeğerlik Katsayıları [2]

Yakıt	1	2 Teorik Eşdeğerlik Katsayısı	3 Eşdeğerlik Katsayısı
Benzin	$32.32/32.32 =$	1	1
Propan	$32.32/23.42 =$	1.38	1.27
Bütan	$32.32/26.55 =$	1.22	1.11
Dizel	$32.32/35.62 =$	0.9	0.8

LPG kullanılan taşıtlarla, benzin kullanılan taşıtları karşılaştırmak için yapılan testler sonucunda, propan ve bütanın eşdeğerlik katsayılarını Teorik eşdeğerlik katsayılarına göre %8 düşüren yaklaşık %8'lik bir verim artışı elde edilmiştir. [2]

Tablo 1.5'e bakarak LPG kullanacak şekilde dönüşümü yapılan normal bir taşıtın, yeni tüketimi, aynı taşıtın benzin veya dizel yakıt tüketimi göz önüne alınarak tahmin edilebilir. [2]

LPG, ticari bütan ve ticari propan karışımı olduğundan eşdeğerlik katsayısı için ortalama bir değerin alınması gerekir. Örneğin; Kütleli olarak %50-%50'lik karışım için bu değer 1.2 alınmalıdır. [2]

Tablo 1.6 Alternatif Yakıt Kullanan Taşıtların, Performanslarının Karşılaştırılması [4]

	Benzin	Dizel	M85	E85	CNG	LPG	Hidrojen
Hızlanma 0-100 km/h, saniye	12	14	10	10	12	11	18
Yakıt Tüketimi, $\text{dm}^3/100 \text{ km}$	6.9	6.0	10.7	8.4	29.4	7.6	21.4
57 litre tank ile Menzil, km	820	935	565	675	205	755	275
Yakıt doldurma süresi, dakika	2	2	2	2	5	5	30

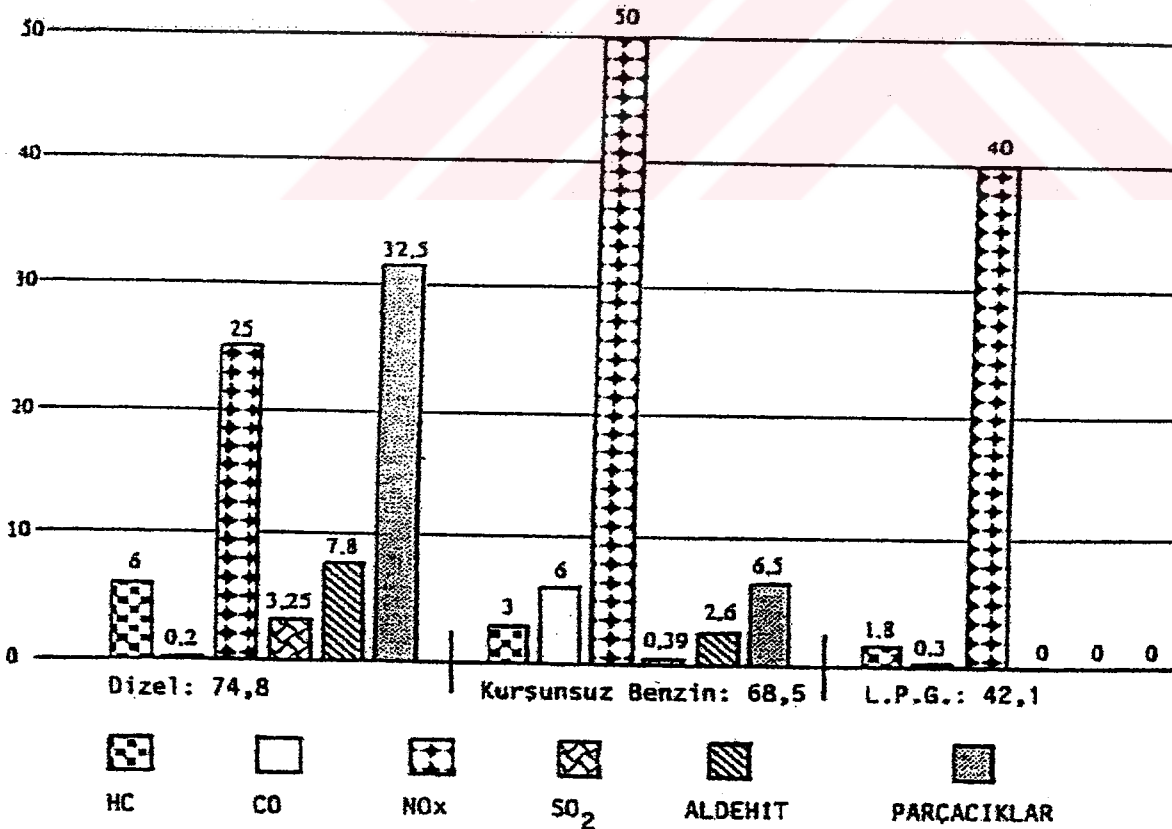
Yukarıdaki tabloda ABD'de kullanılan alternatif yakıt sistemine sahip taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır. [4]

Tablo 1.6'de verilen değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin ve dizele alternatif olarak içten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtlar arasında LPG en iyi durumdadır. Tabloda performans değerleri verilen değişik alternatif yakıtlar kullanan taşıtların menzili kriter alınarak karşılaştırıldığında, bütün taşıtların 57 litre hacminde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve 1 depo yakıt

ile taşıtların ne kadar menzile sahip oldukları belirtilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi günümüzde içten yanmalı motorlarda kullanılan benzine alternatif olarak menzil kriterleri dikkate alındığında en iyi sonucu LPG yakıtlı taşıtın verdiği görülmektedir. Bunun sebebi ise LPG yakıtlı taşıtın 100 km' deki yakıt tüketiminin en az olmasıdır. [4]

1.2.2 LPG ve Çevre

Trafiğe çıkan araç sayısındaki artış çevreyi ve enerji tüketimini giderek daha kötü biçimde etkilenmektedir. Karbonmonoksit CO, azotmonoksit NO_x, yanmamış hidrokarbon HC, kurşun Pb, kükürtdioksit SO₂ ve dizelde kömür parçacıkları (Partikül) gibi emisyonların çevreye yayılmasından, özellikle taşımacılık sektörü sorumludur. [7]



Şekil 1.15 LPG, benzin ve dizel egzoz emisyonlarının karşılaştırılması [7]

Yanma olayı kaçınılmaz olarak çevreyi kirleticidir. Yanma sonucu oluşan egzoz emisyonları yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, yakıcı/yakıt karışımının bileşimine, ayrıca yanma sürecine ve çevre koşullarına bağlıdır. Kurşunsuz benzin, dizel ve LPG emisyonlarını karşılaştırırsak, tüm bu yakıtların karbon ve azotmonoksitlerle yanmamış hidrokarbonlar ürettiğini, ancak kurşunun yalnızca benzin tarafından açığa çıkarıldığını görürüz. Bundan başka, LPG kükürtdioksit ve aromatikleri üretmez. [7]

Yanma ile ortaya çıkan tüm ürünler havanın kalitesi üzerinde kötü etki yapar. Ancak mutlak madde miktarlarından daha önemli olan, her bir bileşiğin zehirlilik derecelerinin bilinmesi ve gerçek zararlılık ölçülerinin Tablo 4.3'te tanımlanmasıdır. [7]

Tablo 1.7 Bileşiklerin zehirlilik parametreleri [7]

Bileşik	Zehirlilik parametresi
CO Karbonmonoksit	1
HC Yanmamış hidrokarbon	60
Nox Azotmonoksit	100
IPA ve Aldehit	130
SO ₂ Kükürtdioksit	130

Yukarıdaki tablodan görebileceğimiz gibi, yanmadaki daha zehirli ürünler olan kükürtdioksit SO₂ ve kurşun, LPG' de bulunmamaktadır. Dahası, LPG 'nin yanması ile oluşan yanmamış hidrokarbonlarda LPG' de katkı ve aromatikler olmadığı için, diğer yakıtlarınkilere oranla daha az zehirlidir. Aşağıdaki nedenlerle LPG'nin daha az kirletici olduğunun altı çizilmelidir. [7]

- Yanma olayı gaz halinde oluşur. Bu sürece daha uygun olup, daha homojen ve içerisinde parti kül bulunmayan bir karışımın garantisidir,
- Yüksek termodinamik özelliği daha kolay ve iyi yanma sağlar,
- Kurşun, kükürt ve aromatikler gibi katıklar içermez. [7]

1.2.3 DÜNYADA LPG KULLANIMI

Kolay bulunması, teknoloji ve endüstrideki ilerlemeler, ekonomik ve ekolojik zorunluluklar, tüm dünyada LPG'nin otomotiv sektöründe kullanımının hızla gelişmesi için uygun şartlar hazırlanmıştır. Çoğu hükümet, duyarlı enerji politikaları ve LPG'yi destekleyen ekonomik ve mali teşviklerle, bu yakıtı kullanıma sokmuşlardır. 1990 yılında dünya genelinde LPG tüketimi 134,6 milyon ton olarak gerçekleştirilirken, bunun %73,3'ü, enerji üretiminde %19,5'i, petrokimya endüstrisinde ve %7.2'si (9,650,000ton) otomotiv endüstrisinde kullanılmıştır. [7]

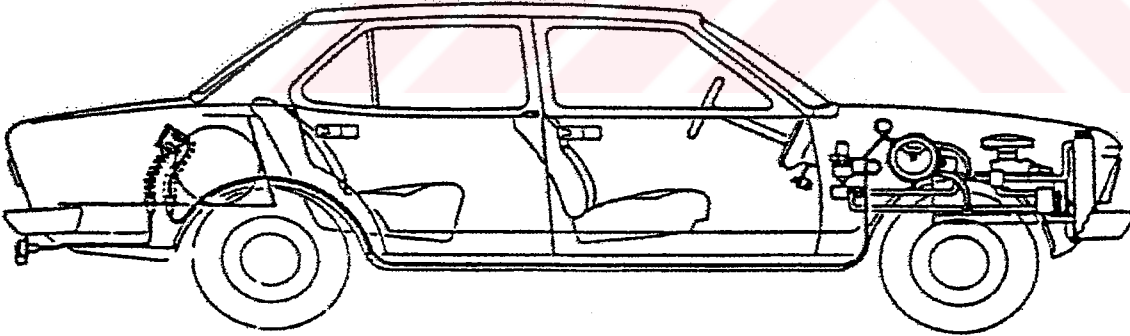
Tablo 1.8 Dünyada LPG Kullanan Araçlar [7]

ÜLKE	LPG kullanan araç sayısı
İtalya	1.050.000
Hollanda	700.000
A.B.D.	350.000
Japonya	320.000
S.S.C.B	230.000
Meksika	210.000
Avustralya	190.000
G. Kore	160.000
Kanada	140.000
Tayland	80.000
Yeni Zelanda	50.000
Endonezya	20.000
Cezayir	20.000
Diğerleri	200.000

1.2.4 AVRUPA OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE LPG KULLANIMI

Hollanda ve İtalya otomotiv sektöründe LPG kullanımında dünya liderliğini ellerinde bulundurmaktadır. Gerçektende, Hollanda'daki tüm araçların %14'ünden fazlası LPG ile çalışmaktadır. Portekiz gibi önceleri LPG'nin otomotiv sektöründe kullanılmadığı bazı Avrupa ülkeleri, LPG'nin büyük avantajlarını görüp, teknik ve ekonomik çalışmalarının sonucunda yeniledikleri ulusal enerji politikalarıyla, bu yakıtı kullanıma sokmuşlardır. [7]

LPG pazarının gelişmekte olduğu İspanyada şehir trafiğinde testler gerçekleştirilmiştir. Bazı otobüslerde LPG kullanılmaya başlanmış, bunun sonucunda havadaki kirletici maddelerin miktarında ve gürültü kirliliğinde hızlı bir düşüş gerçekleştirilmiştir. [7]



Şekil 1.16 LPG' ye dönüştürülmüş karbüratörlü bir aracın montaj resmi [1]

Doğu Avrupa ülkelerinde hükümetler LPG'nin otomotiv sektöründe kullanımını sağlayacak yasaları yürürlüğe sokmakta ve planlar hazırlamaktadır. Moskova, Kiev, Budapeşte, Prag vb. gibi büyük şehirlerde, şehir havasının kirlenme seviyelerini, aşağı çekmekte LPG'nin etkili bir çevresel savunma aracı olarak, değeri anlaşılmış bulunmaktadır. [7]

1.2.5 LPG Donanımı Ve LPG Motorunun Çalıştırılması

LPG sisteminin montajı araçlarda herhangi bir değişiklik gerektirmez, yalnız bazı ek parçaların montajı yapılmalıdır. Basit olarak anlatacak olursak sıvı haldeki LPG tanktan motora doğru gelirken yüksek basınç borularından geçer. Daha sonra LPG selenoid valf inden geçer ve buharlaştırıcı (Regülatöre) ulaşarak burada aracın soğutma sisteminden gelen su sayesinde ısı alarak gaz haline geçer. Bu noktada gaz haline geçmiş ve basıncı düşmüş olan LPG miksera ulaşır. [1]

LPG Donanımı

LPG Deposu

LPG deposu sistemin en büyük parçası olup, aracın arka bölümüne, bagajın iç kısmına ya da lastik bölmesine yerleştirilmelidir. Alışılmış tank biçimi tabanları iç bükey bir silindirdir. Müşterilerin özel ihtiyaçlarını gözetmek suretiyle, her araç için işlevsellik ve toplam büyüklük arasında en iyi dengeyi kuracak depolar pazarlarda mevcuttur. [1]

Kesinlikle mükemmel bir çözümde, yedek lastik bölmesine konmak için tasarlanmış toroidal (simit biçimli) depodur. Bu depo tipi değişik boylarda satılmaktadır, silindirik tanklarınkinden az da olsa, yinede fazlasıyla yeterli bir işlevsellik sağlar. Bagaj kapasitesine tümüyle ihtiyaç duyulduğunda, yada özellikle bagajın çok önemli olduğu station araçlarda toroidal depoların kullanılması son derece avantajlıdır. Her durumda, deponun araç gövdesine uygun tutturucularla sağlam şekilde bağlanması şarttır. [1]

Bütün üreticilerin depoları, satılmadan önce 45 bar'lık bir basınca tabi tutulur. Ayrıca, her 100 depoluk üretim partisinden rasgele seçilen bir tanesi patlama

testine sokulur. Eğer depo testi geçemezse 100 depoluk tüm parti ayrılır, bu durum güvenli bir kullanımın garantisidir. 3-4 mm kalınlıkta olan cidarı ısıtılma işleminden geçirilmiş çelikten imal edilmiş olup, malzemeye mümkün olan en yüksek uzama imkanı verilmiştir. Dolayısıyla bir çarpma sonucunda depo eğilse bile çatlaklıkların oluşmaması sağlanmıştır. [1]

Depo, araç gövdesini oluşturan ince ve bükülebilir metal tabakalarla arasında boşluk kalabilecek biçimde yerleştirilebileceğinden, bir çarpma sonrası orijinal biçimini koruyacaktır. Bu nedenle, LPG depolarının tehlikeli olduğu yönünde günümüzde yaygın olan ön yargı bir kenara bırakılmalıdır. Aslında, LPG tankının "araçtaki bomba" olduğu değil, "araçtaki ikinci tampon" olduğu anlayışı geçerli olmalıdır. [2]

Dikkat gösterilmesi şart olan, deponun sıvı LPG ile %100 oranında, yani tam olarak doldurulmaması gerektiğidir. Tüp içerisindeki basınç butan/propan oranına ve sıcaklığa bağlıdır. Normal şartlarda, basınç değerleri deponun mukavemeti ile karşılaştırıldığında küçüktür. Depo sıvı LPG ile tamamen doldurulursa, küçük bir sıcaklık artışında basınç çok yüksek değerlere ulaşabilir. Sıvı halindeki LPG'nin hacimsel genleşme kat sayısı oldukça yüksektir. Yaklaşık $0,002-0,0025 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; bu çeliğin takriben 2.000 katıdır; ayrıca sıvı halindeki LPG'nin sıkıştırılması ihmal edilecek mertebede küçüktür. [7]

Deponun sıvı LPG ile doldurulmasında toplam hacmin %80'nin aşılması ön görülmektedir. Çoklu valf, bir şamandıra ve uygun bir kilitleme sistemi ile bunu sağlar. Aşırı doldurulmaya karşı emniyet sağlayacak, başka sistemler üzerinde çalışmalar sürmektedir. %80'lik doldurma limiti çok iyi bir doldurma ölçüsüdür. Gerçekten LPG'nin genleşerek tüm hacmi doldurabilmesi için deponun ortam sıcaklığının 80°C üstüne kadar ısıtılması gereklidir. Bu kadar

büyük bir ısı fark normal kullanım şartlarında asla oluşamaz ve yalnızca bir yangın söz konusu olduğunda mümkün olabilir. [2]

Multivalf (Çoklu Valf)

LPG deposuna yerleştirilen çoklu valf, aşağıdaki fonksiyonları yerine getiren karmaşık bir yapıya sahiptir. [1]

Doldurma

Yakıt alma sırasında, dispensırdan (yakıt istasyonu dolum pompası) gelen LPG çoklu valf ten geçer. İyi bir çoklu valf, uzun bir dolum süresini önlemek için, LPG'nin geçişine fazla bir direnç göstermemesi gerekmektedir. [1]

Dolum Limiti

Mevcut standartlar ve güvenlik nedenleri ile depo fazla doldurulmamalıdır. İzin verilen maksimum miktar deponun toplam kapasitesinin %80'nidir. Kalan %20'lik bölümü gaz LPG ile doludur, böylece sıcaklıktaki bir artışla sıvının bütün hacmi dolduramadan genleşebilmesine imkan sağlar. Depoda gaz halindeki LPG için küçükte olsa bir hacim bırakıldığı sürece basıncın tehlikeli seviyelere yükselmesi olasılığı yoktur. Dolma işlemini doğru noktada kesebilmek için, çoklu valf bir şamandıraya bağlı olan ve izin verilen maksimum seviyeye ulaşıldığında LPG akışını kesen bir cihazla donatılmıştır. [1]

Seviye Ölçer

İki mıknatıs sayesinde depodaki LPG seviyesini ölçmek mümkündür, bunlardan biri tankın içinde olup, şamandıraya bağlı cihazlarla bütündür, ikincisi ise

deponun dışında olup göstergeye bağlıdır. Kadran genellikle dörde ayrılmıştır ve bir bölmede rezerv için mevcuttur. [1]

Deponun konumu yüzünden okumanın zor olacağı yada müşterinin arzu ettiği durumlarda çoklu valf uygun elektronik dönüştürücülere bağlanabilir. Bu dönüştürücüler, gerekli elektronik devrelere bağlanır ve yakıt seviyesini sürücüye uyarı ışıkları veya başka analog sistemler aracılığı ile gösterilir. [1]

LPG Emme İşlemi

Deponun dibine doğru dönük bir emme borusu sayesinde çoklu valf sıvı LPG çekilmesini sağlar. [1]

Kesme

Çoklu valf üzerinde doldurma ve emme borularını bloke etmeye yarayan iki vana vardır. Bunlar genel olarak açık konumdadır. Ancak bakım işlemi sırasında yada bir kaza vb. durumunda kapatılabilir. Çoklu valfe erişim güç olduğunda, emme borusunu kolayca kapata bilmek için, uygun bir vana monte edilmelidir. [1]

Aşırı Akım

Çoklu valf'in içinde ve LPG emme borusu üzerine yerleştirilen "aşırı akım vanası" belirli bir akışkan debisi değerinin üzerine çıkıldığında akışı durdurmaya yarar. Gerçekte aşırı akım vanası bir kaza sonucu motora giden LPG akış borusu kırılacak olursa gaz kaçaklarını durdurmaya yarar. Ancak, devreye girmesi son derece nadir durumlarla sınırlıdır. Silindirik ve toroidal yapıdaki değişik depolara uyacak biçimde iki farklı çoklu valf tipi mevcuttur.

Gereksinmelere uygun olarak, depolara monte edilecek çoklu valf yatay eksene göre farklı eğim açılarında üretir. [1]

Muhafaza Kapağı

Gaz geçirmez muhafaza kapağı, LPG besleme sisteminin emniyet açısından çok önemli bir parçasıdır. Gerçekten, kaçak söz konusu olursa veya normal kullanım şartları dışında herhangi bir durumda, LPG'nin araçtan bir şekilde uzaklaştırılarak, uygun olmayan ve potansiyel olarak tehlikeli bir yerde kalması önlenmelidir. [1]

Gaz geçirmez koruma kapağı, çeşitli malzemelerden üretilebilir. Tabanında, multivalf in üzerine oturması için bir çelik mevcuttur ve buraya ayrıca sızdırmazlık için o-ring konmaktadır. [1]

Yüksek Basınç Boruları

Normal olarak tavlanmış bakırdan yapılan bu boru, 45 bar'lık çalışma basıncına uygun olup, gerekli aletlerle ihtiyaca göre bükülebilir. Çoklu valf; Selenoid valf ve buharlaştırıcı boru ile birbirine bağlanır. Boru hattı, cihazlara uygun konnektörlerle bağlanır. [1]

Boru, aracın altına ve egzoz borusu ile sert çıkıntılardan uzağa, eşit aralıklarla kelepçe ve vidalarla sabitleşmelidir. Son olarak titreşime açık noktalardaki bağlantılarda yaylar ve elastik parçalar kullanılmalıdır. [1]

LPG Selenoid Vanası

Depodan motora giden LPG akışını, otomatik olarak kesen bir ayardır. Elektro mıknatısa bağı bir valf, giriş-çıkış boru bağlantıları ve yabancı parçacıkları süzen bir filtreye sahip depodan meydana gelir. Elektrik sistemi kapalıyken LPG selenoid vanası da kapalıdır. Elektrik devresi kapandığında, bobin vanaya bağı olan magnetik çekirdeğı çeker ve LPG akışına olanak sağlar. Montaj esnasında selenoid valf gövdesinde doğru akış yönünü (yani depodan çeviriciye doğru) gösteren oka dikkat edilmesi tavsiye edilir. Selenoid valf braket ve sabitleme vidaları kullanarak (genelde motor duvarına) düşey pozisyonda yerleştirilmelidir. [1]

Benzin Selenoid valfı

Motor LPG ile çalışırken benzin akışını engeller. Temel olarak, selenoid bir bobin tarafından işletilen bir valf ile iki benzin hortumu bağlama ucundan oluşur (giriş ve çıkış). Selenoid valf, elektrik sisteminde bir arıza olduğunda benzin akışını yeniden başlatacak bir acil durum, mekanik vana sistemine sahiptir. [1]

Elektrik devresi açıkken benzin selenoid vanası kapalıdır, devre kapandığında vana açılır. Selenoid valf, motor bölmesinde benzin pompası ile karbüratör arasına yerleştirilir. Selenoid valf üzerinde ayrıca, doğru akış yönünü gösteren bir ok bulunur. Benzin selenoid valfı düşey olarak monte edilmesi, motor bölmesindeki "Tehlikeli" parçalardan uzakta olması gerekir. Montaj ayrıca, bakım sırasında erişilmesine imkan vermek zorundadır. Benzin selenoid valf inin yalnızca karbüratörlü araçlarda kullanılabileceğı unutulmamalıdır. Enjektörlü araçlarda, uygun cihazların enjektörlerin çalışmasını durdurması gereklidir. [1]

Buharlaştırıcı (Regülatör)

LPG sisteminin temel bir elemanıdır. LPG'nin bütünüyle buharlaşabilmesi için gerekli ısıl alışverişini sağlar ve basıncı yakıtın motor tarafından emilebilmesi için gereken atmosfer basıncı seviyesine düşürür. Pnömatik ve elektronik olarak çalışan tipleri mevcuttur. [1]

Mikser

Mikserin görevi motora her zaman motor tarafından emilen havayla orantılı miktarda gaz sağlamaktadır. Mikser değişik şekillerde gerçekleştirilebilir; karbüratörün Ventüri borusu kullanılabileceği gibi, bir Ventüri borusu mikserin kendi içinde de oluşturulabilir. Mikserin üretim biçimi, aracın besleme sistemi ile bağlantılıdır. [1]

Elektrik Cihazları

Burada belirtilmesi gereken elektrik cihazlarının da mikser gibi, aracın besleme sistemi (karbüratör veya enjeksiyon) ile sıkı şekilde bağlantılı olduğudur. Dahası ekonomik ve/veya teknik gereksinimler de belirli ürünlerin seçimini zorunlu kılabilir. Üretici her araç için ayrıntılı birer devre şeması sağlamaktadır. [1]

Karbüratörlü araçlarda dönüşüm

Karbüratörlü bir aracın LPG'ye dönüştürülmesi şekil 4.3'te olduğu gibidir. Depodan gelen sıvı haldeki LPG yüksek basınç boru sisteminden geçer, LPG selenoid valf ine ve sonra buharlaştırıcıya gelir. Motor soğutma suyu sayesinde gaz haline geçerek atmosfer basıncına ulaşır. [1]

Hava ve yakıtın uygun bir karışımının elde edilmesi çeşitli türleri mevcut olan miksere bağlantılıdır. Bu nedenle mikser büyük öneme sahiptir. Karbüratörlü araç mikseri karbüratörün Ventüri borusunu kullanarak oluşturabileceği gibi, kendi üzerinde bağımsız bir Ventüri de kullanılabilir. [1]

Karbüratörlü Araçlarda Elektrik Montajı

Bu tür araçlarda, manuel yada otomatik bir anahtar kullanılabilir. Birincisi, motor ilk çalıştığında, buharlaştırıcı üzerine yerleştirilmiş bulunan selenoid valfa bağlı bir anahtara elle kumanda edilmesi gerekir. Bu işlem, motorun çalışmasını sağlamak için gerekli gaz miktarının akışına olanak sağlar. [1]

Otomatik LPG Elektronik Kontrol Birimi'nde (E.K.B) ise, bu süreç bir elektronik devre tarafından kontrol edilir. Birinci çözüm şüphesiz daha ucuzdur. [1]

Enjeksiyonlu Araçlar

Enjeksiyonlu bir aracın dönüşümü, karbüratörlü araçların tersine, elektro yardımcı bir çevirici, aracın orijinal sistemine bağlı bir anahtar, özel bir mikser ve gerekiyorsa başka elektrikli veya mekanik cihazlar içerir. [1]

Enjeksiyonlu Araçlarda Elektrik Montajı

Bu tür araçlarda çalışmayı benzinle başlatıp daha sonra otomatik olarak gaza geçiş yapacak anahtar monte edilmesi, enjektörlerin gerektiği gibi çalışması ve aracın orijinal elektronik sisteminin düzgün bir şekilde devreye girmesi gereklidir. [1]

K-Jetronik Enjeksiyon

Emilen hava akışına bağlı olarak, kapakçık enjekte edilecek benzin miktarını belirleyen bir noktada dengede kalır. Gazla çalışmada, kapakçık uygun bir mekanizma sayesinde benzin akışı durdurulmuşken zorla açılır veya alçaltılmış olan basınç pompası tarafından geri bırakılır. [1]

SPI (tek nokta) Enjeksiyon

Genel olarak, SPI yakıtı eksantrik milinin her dönüşünde, yani periyotta iki defa, enjekte ederler. Yakıt miktarı enjeksiyon anahtarı tarafından çeşitli algılayıcıların gönderdiği verilere göre belirlenir. Mono enjektörün çalışmasının durdurulması E.K.B ile bağlantısını kesmek suretiyle bağlanır. [1]

MPI (Çok Nokta) Enjeksiyon

MPI sistemlerinde silindir başına bir adet olmak üzere, emme supaplarının yakınına yerleştirilmiş enjektörler bulunur. Tam grup sistemlerde tüm enjektörler eşzamanlı olarak çalışır ve eksantrik milinin her dönüşte belli bir miktar yakıt sağlarlar. Bunların çalışması, enjektörleri E.K.B'ne bağlayan tek kabloya müdahale edilmesi sonucu kolayca durdurulabilir. Sıralı yakıt enjeksiyon sistemlerinde (SEFI), her enjektör diğerlerinden bağımsız olarak çalışır ve eksantrik milinin her iki dönüşünde bir, kendi silindirinin emme zamanında bir miktar yakıt enjekte eder. Enjektörlerin çalışması, ortak beslemeyi yada her birine ait negatif kolu bloke ederek sağlanabilir. [1]

Yük Emilasyonu

En yeni elektronik enjeksiyon sistemleri, enjektörlerin kapandığını belirleyip uyarı ışıklarını yakan, motordaki arızaları algılayan ve problemleri hafızaya

alan teşhis devreleri ile donatılmıştır. Bu durumda, bir yada birden çok emilatör kullanmak sureti ile yük empedansları oluşturup, enjektörlerin varlığını bunlarla "taklit" etmek gereklidir. Eğer bunların çektikleri akım ayarlanabiliyorsa, arızaları tespit amacı ile en düşük akım değerleri seçilmelidir. [1]

Hava Akış Ölçer

Hava akış ölçerleri aşağıdakiler gibi değişik türleri mevcuttur;

- * K-hava akış ölçer
- * Pedallı yada değişik biçimlerde hareketli parçalı hava akış ölçer
- * Sıcak telli hava akış ölçer
- * Yüksek hız yoğunluk sistemi [1]

Bu cihazlar arasında, hareketi yaylar (pedallı hava akış ölçer) veya benzin basıncıyla (K-hava akış ölçer) sağlanan parçalara sahip olan grup, emme borusunda doğru LPG emilmesi için uygun olmayan bir yük kaybı meydana getirirler. Başka problemler yaratmadığı takdirde, gazla çalışma esnasında bunlar kuvvet uygulanarak açılırlar. Örnek olarak, MPI Motronik sistemlerde açılan hava akış ölçerler, mutlaka ateşleme avansı değişimi yaratırlar. Bu durumda mikser, hava akış ölçeri sonrasına yerleştirilmeli yada bir basınç kompanzasyonu yapmalıdır. Tersine, hız yoğunluk ve sıcak tel sistemlerinde, gaz emme şekli açısından bir değişiklik yoktur, bu nedenle özel cihazlara gerek duyulmaz. [1]

Atmosfer kirliliğindeki sürekli artış yeni ve sıkı çevre kanunlarının hazırlanmasını beraberinde getirmektedir. Bunların ilki, yeni trafiğe çıkan araçlar için katalitik konvektör kullanımının zorunlu hale getirilmesidir. Oksijen sensörlü üç yollu katalitik konvektör, çevreyi kirleten emisyonların azaltılmasında bugün için en gelişmiş yöntemdir. Katalitik konvektör, HC, CO

ve NO_x emisyonların %90 oranında önlenmesini sağlar; ancak yalnızca elektronik olarak kontrol edilen besleme sistemlerinde gerektiği gibi çalışır. Katalitik konvektörlü bir aracı LPG' ye dönüştürmek için, bir Oksijen Sensörü ilave edilmelidir. Bu cihaz LPG' ye mükemmel bir yanma sağlar ve benzinden gaza geçişin otomatik anahtarlanmasını kontrol eder. Ayrıca, katalitik konvektörü korumaya yarayan teşhis fonksiyonlarına da sahiptir. [7]

2 BENZİN VE MOTORİN YAKITLI MOTORLARIN, LPG İLE ÇALIŞTIRILMASI

2.1 Benzinli Deney Motorunun, LPG İle Çalıştırılması

Bu çalışmada, 1994 model Lada Samara (Hatchback) VAZ 21093 marka araca ait, karbüratörlü yakıt sistemine sahip benzinli VAZ 21083 modeli motor, şasi dinamometresinde değişik devir kademelerinde teste tabi tutulmuştur. Motora ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

2.1.1 Deney motorunun teknik özellikleri [5]

Motor modeli	: VAZ - 21083
Motor tipi	: 4 zamanlı, karbüratörlü, benzinli
Silindir sayısı ve düzeni	: 4 silindirli, sıra tipi
Strok	: 71 mm
Silindir çapı	: 82 mm
Silindir hacmi	: 1.5 lt
Sıkıştırma oranı	: 9.9 / 1
Gücü (Nominal)	: 5600 d/d' da 77 hp (56.6 KW)
Max. tork	: 3500 d/d' da 10.85 kgf.m (106.4 Nm)
Krank mili dönüş yönü	: Saat yönü
Rölanti devri	: 750-800 d/d

2.1.2 Deneyin Yapılışı

Yukarıdaki teknik özelliklerinde de görüldüğü gibi aracın orijinalinde, benzin yakıtlı karbüratörlü yakıt sistemi mevcuttur. LPG dönüşümü için LPG sistemi kit halinde temin edilip yakıt sistemine montaj edilmiştir. Motor önce benzinle çalıştırılarak, motor ideal çalışma şartlarına geçirilmiştir. Kararlı rejimde önce benzinli daha sonra LPG'li sistem aynı şartlar oluşturularak 70 km/h ve 90km/h hız kademelerinde teste tabi tutulmuştur. Bu hız kademelerinde güç ve yakıt sarfiyatı parametreleri şasi dinamometresinde ölçülerek aşağıdaki değerler saptanmıştır.

Özgül yakıt sarfiyatı da hesaplanarak, aşağıdaki deney değerler bulunmuştur. Taşıtın, benzinli durumdayken yakıt sarfiyatını ölçmek için, taşıtın benzin ihtiyacı içerisine benzin konulmuş ek bir kaptan sağlanmıştır. Kap ise özel bir baskül terazi üzerine yerleştirilmiş ve aracın kütleli (kg) olarak benzin yakıt sarfiyatı ölçülmüştür. Taşıt, LPG'li durumda çalışırken yakıt sarfiyatını ölçmek için taşıtın LPG yakıt ihtiyacını 12 kg'lık ev tüpünden karşılanması sağlanmış ve LPG tüpü özel baskül terazi üzerine yerleştirilerek aracın kütleli (kg) olarak LPG yakıt sarfiyatı ölçülmüştür.

Tablo 1.9 Şasi Dinamometresi Aracılığıyla Ölçülen Test Değerleri

	BENZİN			LPG		
	Zaman(s)	Yakıt sarfiyatı(g)	Güç(KW)	Zaman(s)	Yakıt sarfiyatı(g)	Güç(KW)
70 km/h	10	13.6	19	10	11.7	17.2
90 km/h	10	16.3	24	10	13.7	22

Bu test sonucunda elde edilen yakıt sarfiyatı, güç ve hız parametreleri kullanılarak, taşıtın 100 km' deki tükettiği yakıt miktarı ve özgül yakıt sarfiyatı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tablo halinde verilmiştir.

2.1.3 Hesaplamalar

V: Aracın hızı (km/h)

Δt : Zaman (s)

Δm :Aracın 10 saniyede harcadığı yakıt kütlesi (kg) (Tablo 1.9)den alınmıştır.

ρ : Yakıtın yoğunluğu (kg/dm³) (Tablo 1.4)'den

ΔV_y :100 km yol menzil için harcanacak yakıt hacmi (dm³/100km)

Δm_y :100 km yol menzil için harcanacak yakıt kütlesi (kg/100km)

Hesaplamalarda kullanılacak verilerin formüle edilmesi

1kg yakıtla kat edilen mesafe

$$\left\{ \frac{V \left[\frac{km}{h} \right]}{3600 \left[\frac{s}{h} \right]} \cdot \Delta t [s] \cdot \frac{10^3 \left[\frac{g}{kg} \right]}{\Delta m [g]} \right\} \left[\frac{km}{kg} \right] = \frac{3600 \cdot \Delta m \left[\frac{kg}{km} \right]}{10^3 \cdot \Delta t \cdot V \left[\frac{km}{h} \right]}$$

1km yolda sarf edilen yakıt hacmi

$$\left\{ \frac{3600 \cdot \Delta m \cdot \left[\frac{kg}{km} \right]}{10^3 \cdot \Delta t \cdot V \cdot \rho \cdot \left[\frac{kg}{dm^3} \right]} \right\} \left[\frac{dm^3}{km} \right] = \frac{3,6 \cdot \Delta m \left[\frac{dm^3}{km} \right]}{\Delta t \cdot V \cdot \rho \left[\frac{kg}{dm^3} \right]}$$

100 km yolda harcanan yakıt hacmi

$$\Delta V_y = \left\{ \frac{100 \cdot 3,6 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V \cdot \rho} \right\} \left[\frac{dm^3}{100km} \right] = \left\{ \frac{360 \cdot \Delta m [g]}{\Delta t [s] \cdot V \left[\frac{km}{h} \right] \cdot \rho \left[\frac{kg}{dm^3} \right]} \right\}$$

100 km yolda harcanan yakıt kütlesi

$$\Delta m_y = \left\{ \frac{100 \cdot 3,6 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V} \right\} = \left\{ \frac{360 \cdot \Delta m [g]}{\Delta t [s] \cdot V \left[\frac{km}{h} \right]} \right\} \left[\frac{kg}{100 km} \right]$$

70 km/h' deki Hesaplamalar

Benzin için:

$$\Delta V_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V \cdot \rho} = \frac{360 \cdot 13,6}{10 \cdot 70 \cdot 0,76} = 9,2 \text{ dm}^3 / 100 \text{ km}$$

$$\Delta m_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V} = \frac{360 \cdot 13,6}{10 \cdot 70} = 7 \text{ kg} / 100 \text{ km}$$

LPG için:

$$\Delta V_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V \cdot \rho} = \frac{360 \cdot 11,7}{10 \cdot 70 \cdot 0,55} = 10,9 \text{ dm}^3 / 100 \text{ km}$$

$$\Delta m_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V} = \frac{360 \cdot 11,7}{10 \cdot 70} = 6 \text{ kg} / 100 \text{ km}$$

90 km/h' deki Hesaplamalar

Benzin için:

$$\Delta V_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V \cdot \rho} = \frac{360 \cdot 16,3}{10 \cdot 90 \cdot 0,76} = 8,6 \text{ dm}^3 / 100 \text{ km}$$

$$\Delta m_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V} = \frac{360 \cdot 16,3}{10 \cdot 90} = 6,5 \text{ kg} / 100 \text{ km}$$

LPG için:

$$\Delta V_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V \cdot \rho} = \frac{360 \cdot 13,7}{10 \cdot 90 \cdot 0,55} = 10 \text{ dm}^3 / 100 \text{ km}$$

$$\Delta m_y = \frac{360 \cdot \Delta m}{\Delta t \cdot V} = \frac{360 \cdot 13,7}{10 \cdot 90} = 5,5 \text{ kg} / 100 \text{ km}$$

Özgül yakıt sarfiyatının hesaplanması

Yakıt tüketimi genel denkleminde ;

$$\Delta V_y = \frac{0,11 \cdot be \cdot P}{\rho \cdot V} \quad be'yi \text{ çekersek} \quad be = \frac{\Delta V_y \cdot \rho \cdot V}{0,11 \cdot P}$$

be : Özgül yakıt tüketimi (g/KWh)

P : Güç (KW)

V : Araç hızı (km/h)

ρ : Yakıtın yoğunluğu (kg/dm³)

ΔV_y : Aracın yakıt sarfiyatı (dm³/100km)

70 km/h'deki özgül yakıt sarfiyatının hesaplanması

Benzin için :

$$be = \frac{\Delta V_y \cdot \rho \cdot V}{0,11 \cdot P} = \frac{9,2 \cdot 0,76 \cdot 70}{0,11 \cdot 19} = 234,2 \text{ g/KWh}$$

LPG için :

$$be = \frac{\Delta V_y \cdot \rho \cdot V}{0,11 \cdot P} = \frac{10,9 \cdot 0,55 \cdot 70}{0,11 \cdot 17,2} = 221,8 \text{ g/KWh}$$

90 km/h'deki özgül yakıt sarfiyatının hesaplanması

Benzin için :

$$be = \frac{\Delta V_y \cdot \rho \cdot V}{0,11 \cdot P} = \frac{8,6 \cdot 0,76 \cdot 90}{0,11 \cdot 24} = 222,8 \text{ g/KWh}$$

LPG için :

$$be = \frac{\Delta V_y \cdot \rho \cdot V}{0,11 \cdot P} = \frac{10 \cdot 0,55 \cdot 90}{0,11 \cdot 22} = 204,5 \text{ g/KWh}$$

Tablo 2.1 Test ve Hesaplamalar Sonucu Elde Edilen Parametrelerin Değerleri

HIZ	BENZİN	LPG
70 km/h	$\Delta V_y=9,2 \text{ dm}^3/100\text{km}$ $\Delta m_y=7 \text{ kg}/100\text{km}$ P=19 KW be=234,2 g/KWh	$\Delta V_y=10,9 \text{ dm}^3/100\text{km}$ $\Delta m_y=6 \text{ kg}/100\text{km}$ P=17,2 KW be=221,8 g/KWh
90 km/h	$\Delta V_y=8,6 \text{ dm}^3/100\text{km}$ $\Delta m_y=6,5 \text{ kg}/100\text{km}$ P=24 KW be=222,8 g/KWh	$\Delta V_y=10 \text{ dm}^3/100\text{km}$ $\Delta m_y=5,5 \text{ kg}/100\text{km}$ P=22 KW be=204,5 g/KWh

Tablo 2.2 Taşıtın yakıt sarfiyatı maliyetinin hesaplanması

HIZ	BENZİN			LPG		
	Yakıt Sarfiyatı (dm ³ /100km)	Yakıtın Fiyatı Temmuz 1997 (TL)	100 km için işletme maliyeti (TL/100km)	Yakıt Sarfiyatı (dm ³ /100km)	Yakıtın Fiyatı Temmuz 1997 (TL)	100 km için işletme maliyeti (TL/100km)
70 km/h	9,2	561 000	5 161 200	10,9	156 000	1 700 400
90 km/h	8,55	561 000	4 796 550	10	156 000	1 560 000

Sıvılaştırılmış petrol gazı, dünya piyasasında ve Türkiye'de benzinden daha ucuz olduğu için;

70 km/h hızda LPG kullanılması, benzine kıyasla %67 oranında yakıt kullanım maliyetini düşürmektedir. 90 km/h hızda LPG kullanılması da, benzine kıyasla %67,5 oranında yakıt kullanım maliyetini düşürmektedir.

Türkiye'deki yakıt fiyatları

Şubat 2000 tarihli Kurşunsuz Benzinin Fiyatı	: 560 000 TL/litre
Şubat 2000 tarihli Süper Benzinin Fiyatı	: 561 000 TL/litre
Şubat 2000 tarihli Normal Benzinin Fiyatı	: 537 000 TL/litre
Şubat 2000 tarihli Motorinin Fiyatı	: 418 300 TL/litre
Şubat 2000 tarihli LPG Yakıtı Fiyatı	: 156 000 TL/litre

Dünya piyasasında yakıt fiyatları

ABD'de 2000 yılında yakıt istasyonlarında bu yakıtların olması tahmin edilen fiyatları [3]: (1 galon = 3.785 Litre)

ABD'de 2000 yılında tahmin edilen benzinin Fiyatı : 1.35 \$/galon

ABD'de 2000 yılında tahmin edilen LPG Fiyatı : 0.98 \$/ galon

2.2 Motorinli Deney Motorunun Tadilat Yapılarak LPG İle Çalıştırılması

2.2.1 Deney Motorunun Seçimi Ve Özellikleri

Bu çalışmada, İ.E.T.T.' nin 1993 model 93-456 yan numaralı, Ikarus marka otobüsün, turbo şarjlı dizel yakıt sistemine sahip RABA-MAN D 2156 HMGUT modeli motorunda, LPG yakıtı ile çalışma bilmesi için kalıcı tadilatlar yapılmış, otto prensibi ile çalışır hale getirilmiştir. Daha sonra; egzoz emisyon ve yol testlerine tabi tutulmuştur.

2.2.2 Dizel Deney Motoru Ve Aracının Teknik Özellikleri [6]

Otobüsün Yüksüz Ağırlığı	10,300kg
Otobüsün Taşıyabileceği Ağırlık	5,600kg
Max (Toplam) Yüklü Ağırlığı	15,900kg
Oturarak Taşıyacağı Sayı	27 Personel
Ayakta Taşıyacağı Sayı	70 Personel
Sürücü	1 Personel
Motor Yağı Hacmi	26dm ³
Dizel Yakıt Tankı Hacmi	250dm ³
Motor Tipi	RABA-MAN D 2156 HMGUT
Silindir Dizayn Şekli	Yatık-Sıra Tipi
Silindir Sayısı	6
Silindir Çapı Ve Strok	121/150mm
Silindir Çapı Ve Piston Tepesi Çapı	121-121,025mm/120
Toplam Motor Hacmi	10,35 dm ³

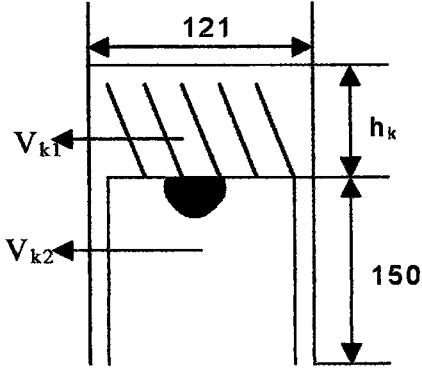
Sıkıştırma Oranı	17:1
Max Çıkış Gücü	162 KW/2100 1/min
Max Tork	819 Nm/1600 1/min
Özgül Yakıt Sarfiyatı	216 +5% g/KWh
Püskürtme Sırası	1-5-3-6-2-4
Motorun Toplam Ağırlığı	900kg ±1%
Soğutma Sistemi	Su İle Soğutma Sistemi
Silindir Dolgu Şekli	Turbo Şarjlı

2.2.3 LPG Deney Motoru Ve Aracının Teknik Özellikleri [6]

Otobüsün Yüksüz Ağırlığı	10,500kg
Otobüsün Taşıyabileceği Ağırlık	5,400kg
Max (Toplam) Yüklü Ağırlığı	15,900kg
Oturarak Taşıyacağı Sayı	27 Personel
Ayakta Taşıyacağı Sayı	70 Personel
Sürücü	1 Personel
Motor Yağı Hacmi	26dm ³
LPG Yakıt Tankı Hacmi	LPG 360dm ³
Motor Tipi	RABA-M.A.N D 2156 HMGUT
Silindir Dizayn Şekli	Yatık-Sıra Tipi
Silindir Sayısı	6
Silindir Çapı Ve Strok	121/150mm
Silindir Çapı Ve Piston Tepesi Çapı	121-121,025mm/120
Toplam Motor Hacmi	10,35dm ³
Sıkıştırma Oranı	9,5:1
Ateşleme Sırası	1-5-3-6-2-4
Motorun Toplam Ağırlığı	900kg ±1%
Havanın Filtre Edilme Şekli	Yağlı Tip Hava Filtresi
Soğutma Sistemi	Su İle Soğutma Sistemi
Silindir Dolgu Şekli	Turbo Şarjsız

2.3 LPG Pistonunun Ve Sıkıştırma Oranının Hesaplanması

Dizel motor pistonu için ;



$$V_h = \pi \times D^2 \times H / 4$$

$$V_h = \pi \times 1,21^2 \times 1,5 / 4$$

$$V_h = 1,72485 \text{ dm}^3 \text{ (Silindir hacmi)}$$

$$V_H = z \times V_h \quad V_H = 6 \times 1,72485 = 10,349113 \text{ dm}^3$$

$$\varepsilon = (V_h + V_k) / V_k$$

$$\varepsilon = V_h / V_k + 1 \quad V_k = V_h / \varepsilon - 1$$

$$V_k = 0,1078033 \text{ dm}^3$$

$$V_k = V_{k1} + V_{k2} \quad V_{k1} = V_k - V_{k2} \quad V_{k1} = 0,1078033 - 0,095 \quad V_{k1} = 0,012803 \text{ dm}^3$$

$$V_{k1} = \pi \times D^2 \times h_k / 4 \quad h_k = 4 \times V_{k1} / \pi \times D^2 = 4 \times 0,012803 / \pi \times 1,21^2 \quad h_k = 0,011134 \text{ dm}$$

LPG'li motor pistonu için ;

$\varepsilon = 9,436$ olması düşünüldüğünde

$$V_{k1pg} = V_h / 9,436 - 1 \quad V_{k1pg} = 0,2044699 \text{ dm}^3$$

$$V_{k1pg} = V_{k1} + V_{k2} + V_{k3}$$

$$V_{k3} = V_{k1pg} - (V_{k1} + V_{k2})$$

$$V_k = V_{k1} + V_{k2} \quad V_{k3} = V_{k1pg} - V_k$$

$$V_{k3} = 0,2044699 - 0,1078033$$

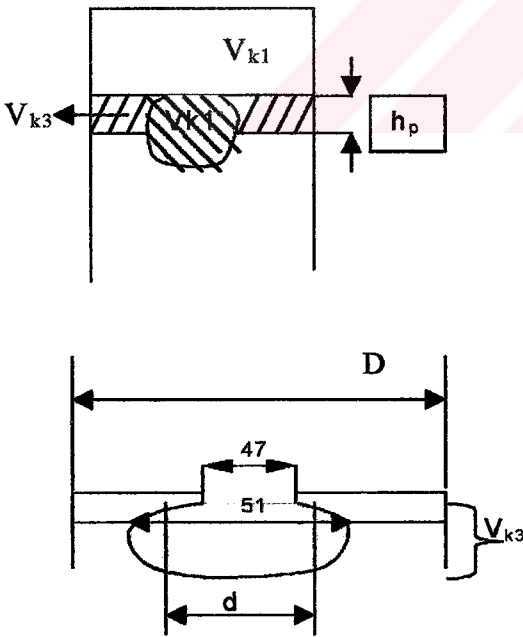
$$V_{k3} = 0,09666666 \text{ dm}^3$$

$$V_{k3} = (\pi \times D^2 \times h_p / 4) - (\pi \times d^2 \times h_p / 4)$$

$$h_p = V_{k3} \times 4 / \pi \times (D^2 - d^2)$$

$$h_p = 96666,6 \times 4 / \pi \times (120,88^2 - 49^2)$$

$$h_p = 10 \text{ mm}$$



İç çap ortalama değeri $d = a + b / 2$

$d = 47 + 51 / 2 = 49$ olarak alınmıştır.

Bu işlem pistonun tepesinden talaş kaldırılarak yapılmıştır. Pistonun orijinalinde bulunan yüzey kaplaması kaybolmuştur. Yeniden eleksol kaplama yapılarak uygun çalışma şartı oluşturulmuştur.

2.4 Motorda Yapılan Tadilat Ve İşlemler

İ.E.T.T.' ye ait, 1993 model 93-456 yan numaralı Ikarus marka otobüsün, turbo şarjlı dizel yakıt sistemli RABA-MAN D 2156 HMGUT modeli motorunda; dizel yakıt sistemi iptal edilerek motorda kalıcı tadilat yapılmış, Buji ile ateşlemeli ve LPG yakıtına uyumlu olacak şekilde, otto prensibi ile çalışır duruma getirilmiştir.

Test otobüsü seçimi için; İ.E.T.T. Anadolu-1 garajına gidilmiş, motoru arızalı olan ve motoru sökülüp Bağlarbaşı Merkez Atölyesine gönderilmiş olan otobüslerden, 93-456 yan numaralı araç seçilmiştir.

Motorun LPG ile çalışabilmesi için; Bağlarbaşı Merkez Atölyesinden bir takım (6 adet) yeni piston alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış, sıkıştırma oranını düşürmek için en uygun metot olarak pistonun kafasından talaş kaldırılıp yanma odası hacminin genişletilmesine karar verilmiş ve hesaplamalardan elde edilen talaş kaldırma miktarı özel bir işletmede CNC cihazında işlenmiştir. İ.E.T.T. de kullanılan pistonların kafa kısmında bulunan eleksol kaplamayı yapacak işletmeler araştırılıp, özel bir işletmede piston kafaları eleksol kaplatılmıştır. Bağlarbaşı Merkez Atölyesinden hiç kullanılmamış yeni bir motor bloğuna, bu yeni LPG' ye uygun pistonlar montaj edilmiştir.

Bu arada silindir kapaklarındaki enjektör yerlerine bujileri montaj edebilmek için kılavuzla dış açılmıştır. Bu motorun çalışma şartlarına uygun buji seçimi yapılarak 6 adet buji, 6 adet buji başlığı, 6 adet distribütör buji kablo bağlantı başlığı ve metre usulü buji kablosu piyasadan temin edilmiştir. Ekonomik

olması amacıyla, bu yeni motorda kullanılacak gaz kelebeği ve ateşleme sisteminin temini için, İ.E.T.T Yedi Kule garajındaki hurdaya ayrılan iki kamyonetin karbüratörleri, distribütörleri ve endüksiyon bobinleri sökülerek alınmıştır.

Dizel motorunun emme manifoldu alınarak turbodan gelen hava giriş ucu kesilmiş ve burası alüminyum kaynağı yapılarak kapatılmıştır. İki adet alüminyum plaka yapılarak emme manifoldu üzerine karbüratörlerin bağlanması için, karar verilen yere yine alüminyum kaynakla birleştirildikten sonra karbüratör bağlantı saplamaları için kılavuzla dış açılmış ve karbüratör çıkış boğazı ile aynı çapta emme manifoldu delinerek üzerine giriş açılmıştır.

Karbüratörün montajı yapıldıktan sonra karbüratör üzerine LPG yakıt giriş deliği ve kazık mikserleri yapılmış her karbüratöre iki giriş olacak şekilde, toplam dört gaz girişi temin edilmiş ve çalışma şartlarına uygun hava/yakıt karışımını elde etmek için, kazık mikserlerin içine değişik çapta kısıcı memeler yapılmıştır.

İki karbüratörün gaz kelebeğini aynı anda kumanda edebilmek için mekanik kumanda tasarlanarak emme manifoldu üzerine bağlantısı yapılmıştır.

Silindir kapakları üzerinde bulunan, soğutma suyunun motoru terk ettiği çıkış borusuna, LPG sisteminin buharlaştırıcısı içinden devretmesi gereken soğutma suyunu temin için su hortumu bağlamak amacı ile bir boru kaynatılmıştır. Aynı zamanda hava kompresörünün soğutulması için kullanılan, soğutma suyu bağlantı hortumuna bir T boru yapılarak, buradan LPG sistemi buharlaştırıcısının içinden devreden soğutma suyunu, motorun soğutma sistemine dönüş bağlantısı için çıkış temin edilmiştir.

Ateşleme sisteminin montajı için; dizel yakıt enjeksiyon pompası iptal edilmiş, yakıt enjeksiyon pompasının bağlandığı geniş alanı kapatacak ve distribütörü üzerinde taşıyacak bir demir flanş, gerekli üretim aşamasından geçirilerek yapılmıştır.

Distribütöre hareket alabilmek için, distribütör mili ve kam mili ara dişlisine uygun bağlantı profili oluşturulmuş, distribütör flanşla birlikte yerine bağlanmıştır.

2.5 Taşıtta Yapılan Tadilat Ve İşlemler

İ.E.T.T.' nin, 1993 model 93-456 yan numaralı, Ikarus otobüsüne, LPG yakıtı ile çalışması için gerekli dönüşümü Bağlarbaşı Merkez Motor Atölyesinde yapılan motor, Anadolu-1 Garajına getirilerek araç üzerine montajı yapılmıştır.

Otobüsün arka kısmında bulunan ve yakıt tanklarını montaj için uygun yer olarak seçilen kısımda, montaja mani ara karoseri parçaları iptal edilmiş ve karoserinin mukavemetini artırmak için yeniden tasarım yapıp uygun ek parçalar eklenmiştir.

Dört adet 90 litrelik LPG yakıt tankını kolayca söküp takmak için, yakıt tankı tablası imal edilmiş ve bu tablayı otobüsün üzerine montaj etmek için, uygun bağlama aparatları karoseri ye kaynatılmıştır.

Bu yakıt tank tablası üzerine dört adet 90 litrelik tank montaj edilmiş ve yakıt tank çıkışlarının ilk ikisi bir ve diğer ikisi bir olacak şekilde bakır borularla birleştirilerek ana LPG filtresine iki ayrı giriş yapacak şekilde montajı yapılmıştır. LPG dolum bağlantısı ise; LPG dolum ağzından sonra ikiye ayrılmış ve bu ikiye ayrılan borularda yeniden ikiye ayrılarak LPG depolarına yakıt giriş bağlantıları yapılmıştır.

LPG tablası daha sonra aracın yeni yapılan bölmesine yerleştirilmiştir. Aynı zamanda LPG deposuna daha kolay ulaşmak için bu bölmeye denk gelen aracın dış kaportasına, motor bölmesi kapağının aynısı, montaj edilmiştir. LPG dolum ağzı; araç arka kısmında firen sistemi hava ventiline ulaşmak için mevcut olan açılıp kapanabilen kapak kısmına montaj edilmiştir. Bu sayede LPG dolum ağzına kolay ulaşılma ve gaz dolumunu tek bir noktadan gerçekleştirme avantajı sağlanmıştır.

Araç üzerindeki dizel yakıt sisteminden kalma parçalardan: dizel yakıt deposu, ara yakıt hortumları ve dizel yakıt filtresi gibi parçalar sökülmüştür.

Motor bölmesinin, aracın ön kısmına gelen tarafına; aracın ön tekerleği ve altından gelebilecek su, çamur gibi yabancı maddelere mani olmak ve LPG ve ateşleme sisteminin parçalarını bağlamak için, bir saç plaka ile bu bölme kapatılmıştır. Bu saç plaka üzerine iki adet LPG buharlaştırıcı, ateşleme bobini ve ateşleme ile yakıt sisteminin 12 voltluk elektrik sistemini açıp kapayabilen bir stop düğmesinin montajı yapılmıştır.

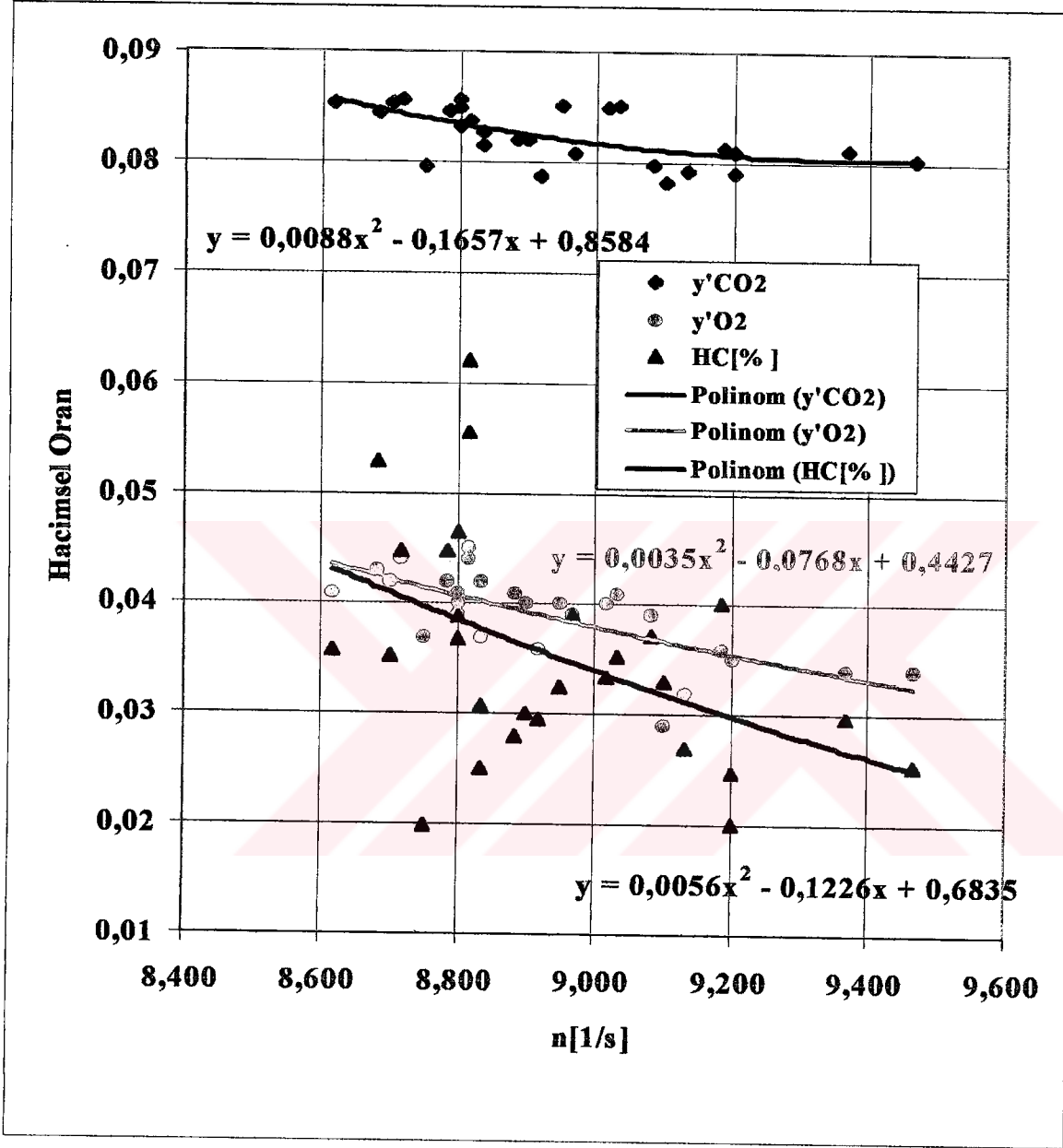
LPG buharlaştırıcılarına motor soğutma suyunu alabilmek için; daha önce motor üzerindeki soğutma sistemine giriş ve çıkış uçları olarak yapılan yerlere LPG buharlaştırıcılarının su giriş ve çıkış uçları, su hortumları ile birbirine birleştirilmiştir. Bu sayede LPG buharlaştırıcıların soğutma suyu ile ısıtılması temin edilmiştir.

LPG yakıt filtresinden çıkan iki bakır boru; LPG Selenoid valflerine buradan da yine bakır borularla LPG buharlaştırıcılara bağlanmıştır. LPG buharlaştırıcıların gaz çıkış uçları ile daha önce karbüratörler üzerine montajı yapılan kazık mikserler, özel LPG hortumları ile birbirine bağlanmış ve bu hortumlar üzerine LPG gaz ayar vanaları konulmuştur.

3. LPG İLE ÇALIŞAN OTOBÜS MOTORUNUN DENEYLERİ

Tablo 3.1 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Ölçülen Kuru Egzoz Gazının sonuçlar (04.08.1999)

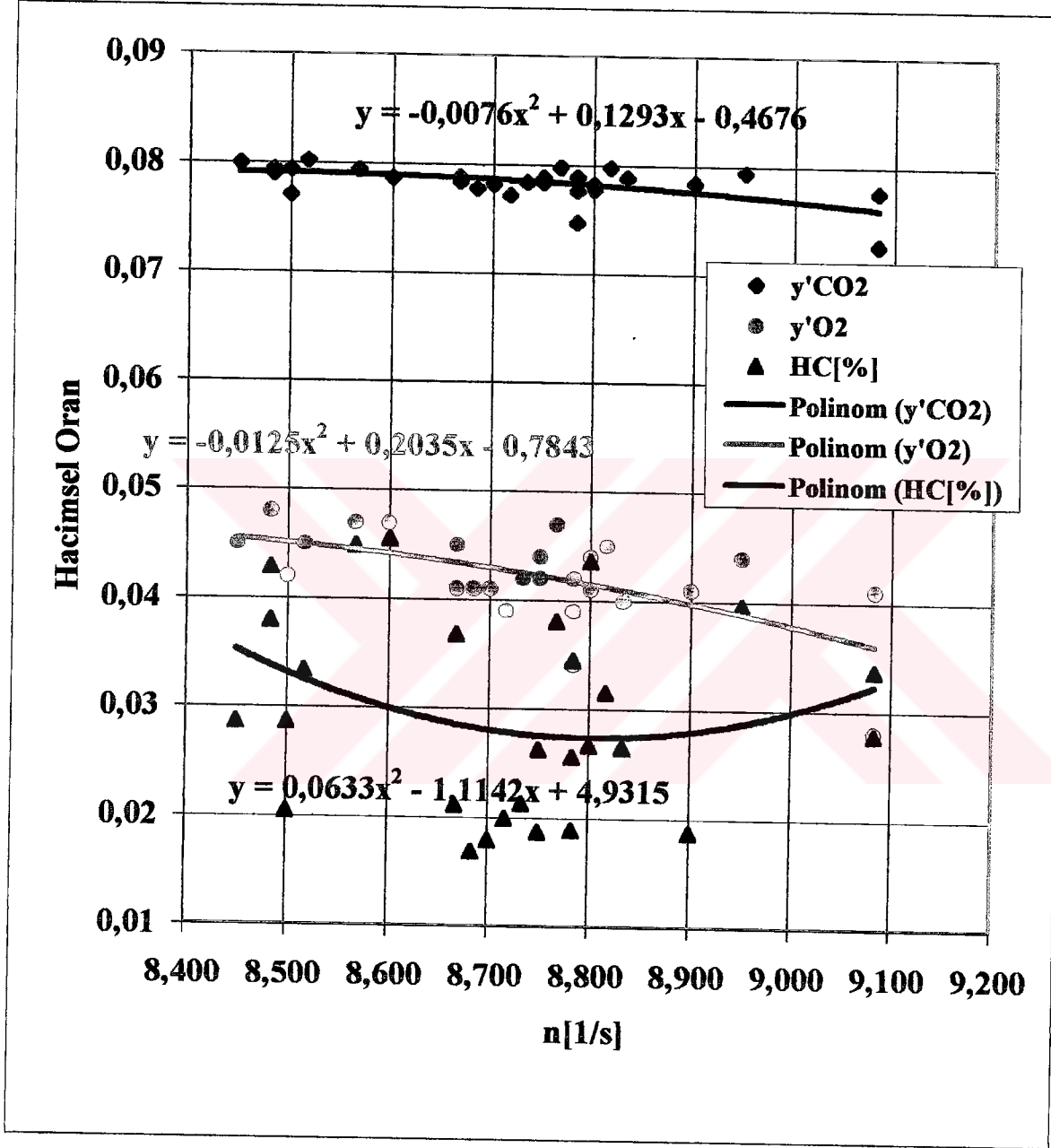
Saat	N'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	528	8,800	0,0856	0,041	0,0389
	523	8,717	0,0856	0,044	0,0447
	542	9,033	0,0852	0,041	0,0353
	541	9,017	0,085	0,04	0,0334
	528	8,800	0,085	0,04	0,0368
	537	8,950	0,0851	0,04	0,0324
	528	8,800	0,0832	0,039	0,0465
	527	8,783	0,0846	0,042	0,0447
	522	8,700	0,0854	0,042	0,0352
	529	8,817	0,0837	0,045	0,062
	529	8,817	0,0837	0,044	0,0555
	521	8,683	0,0844	0,043	0,0529
	517	8,617	0,0853	0,041	0,0358
	551	9,183	0,0813	0,036	0,0401
	546	9,100	0,0782	0,029	0,033
	562	9,367	0,0812	0,034	0,0297
	548	9,133	0,0793	0,032	0,0269
	568	9,467	0,0804	0,034	0,0253
	530	8,833	0,0816	0,037	0,025
	538	8,967	0,0809	0,039	0,0391
	534	8,900	0,0821	0,04	0,03
	530	8,833	0,0828	0,042	0,0308
	552	9,200	0,0811	0,035	0,0247
	545	9,083	0,0798	0,039	0,0371
	533	8,883	0,0821	0,041	0,028
	535	8,917	0,0787	0,036	0,0295
	552	9,200	0,0792	0,035	0,0201
	525	8,750	0,0797	0,037	0,0199
	541	9,017	0,0818	0,039	0,0201
	535	8,917	0,0807	0,041	0,0293
	555	9,25	0,0803	0,042	0,0367
	541	9,017	0,0796	0,038	0,0273
	532	8,867	0,0798	0,040	0,0287
Ortalama	537,121212	8,952	0,08219394	0,0390303	0,03440606
15:00					



Şekil 3.1 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.2 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Biriken Yağın Temizlenmesi İçin Gaz Verildikten Sonra Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları (04.08.1999)

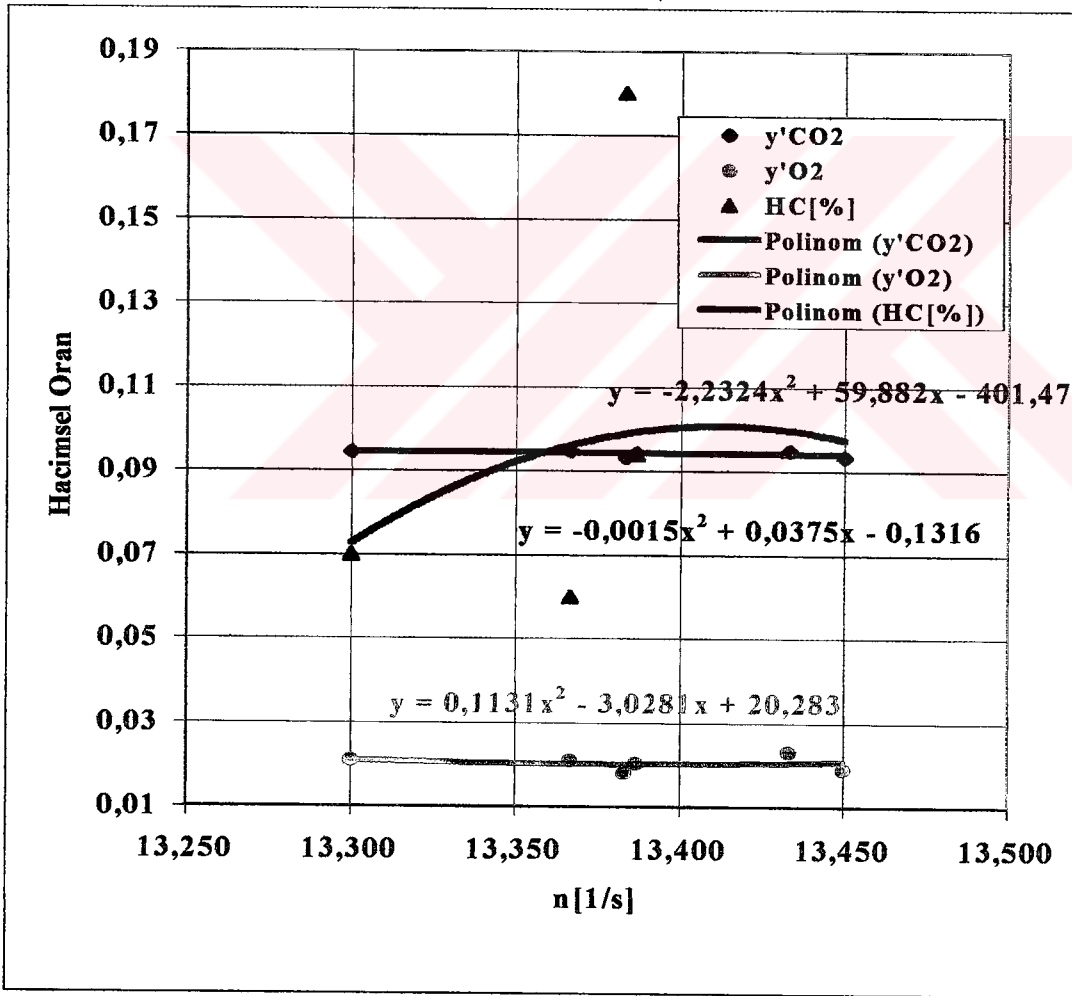
Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	523	8,717	0,0772	0,039	0,0199
	522	8,700	0,0782	0,041	0,0179
	510	8,500	0,0794	0,042	0,0205
	545	9,083	0,0777	0,041	0,0278
	527	8,783	0,0747	0,034	0,0189
	545	9,083	0,0728	0,028	0,0337
	509	8,483	0,079	0,048	0,0429
	510	8,500	0,0771	0,042	0,0287
	527	8,783	0,0777	0,039	0,0345
	524	8,733	0,0784	0,042	0,0213
	534	8,900	0,0784	0,041	0,0187
	521	8,683	0,0778	0,041	0,0169
	516	8,600	0,0787	0,047	0,0455
	509	8,483	0,0794	0,048	0,038
	514	8,567	0,0794	0,047	0,0449
	525	8,750	0,0788	0,044	0,0263
	527	8,783	0,0789	0,042	0,0256
	528	8,800	0,0782	0,041	0,0267
	525	8,750	0,0784	0,042	0,0187
	520	8,667	0,0784	0,045	0,0368
	528	8,800	0,0778	0,044	0,0436
	507	8,450	0,08	0,045	0,0287
	530	8,833	0,0789	0,04	0,0265
	529	8,817	0,0798	0,045	0,0316
	526	8,767	0,0798	0,047	0,0381
	520	8,667	0,0788	0,041	0,0211
	511	8,517	0,0802	0,045	0,0334
	537	8,950	0,0794	0,044	0,0396
Ortalama	523	8,720	0,0783	0,042	0,0295
15:00					



Şekil 3.2 Rölantide Uzun Süre Çalıştırılan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Biriken Yağın Temizlenmesi İçin Gaz Verildikten Sonra Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.3 800 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları (04.08.1999)

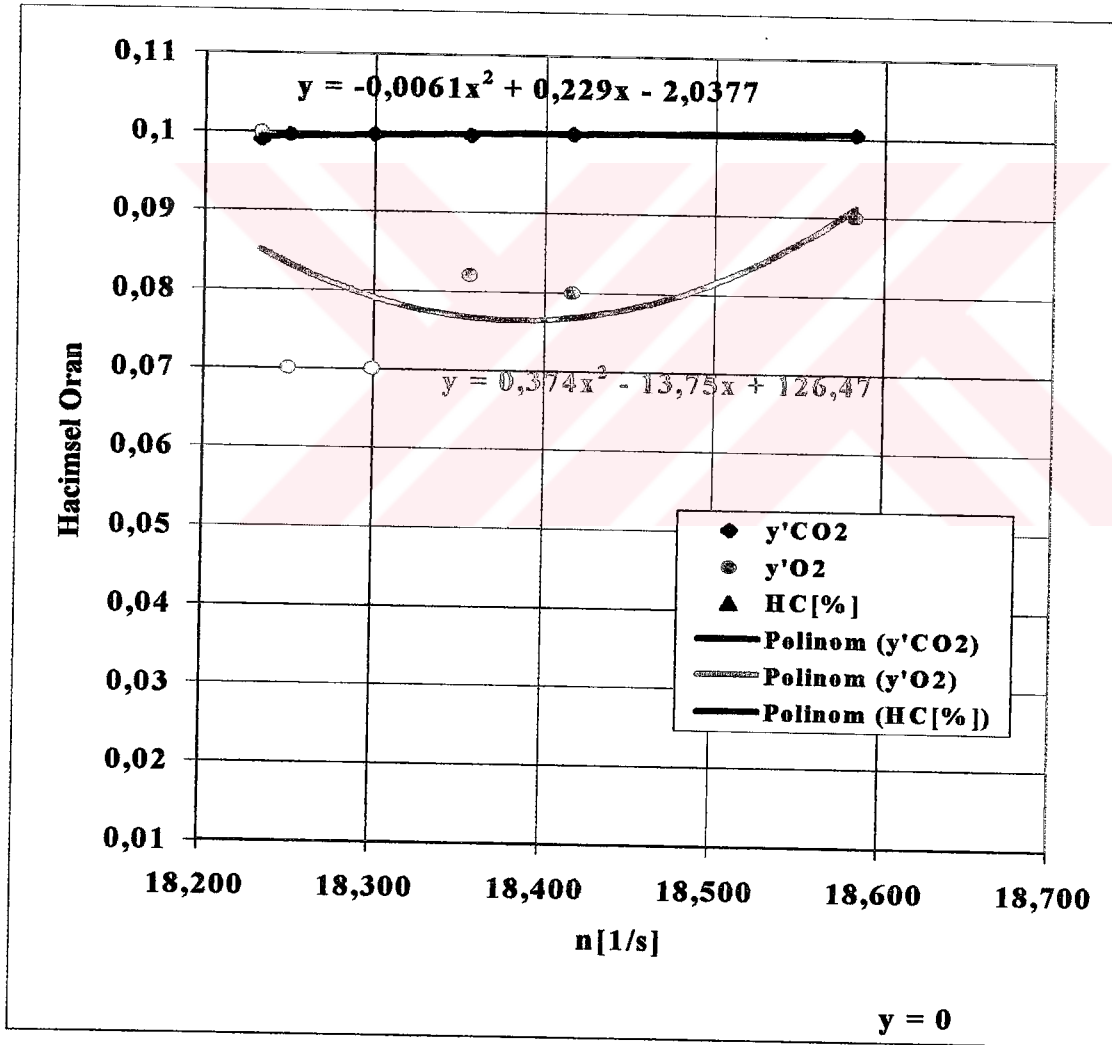
Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	798	13,300	0,0945	0,021	0,07
	806	13,433	0,0949	0,023	0
	802	13,367	0,0948	0,021	0,06
	803	13,383	0,0933	0,018	0,18
	807	13,450	0,0934	0,019	0,16
Ortalama	803,2	13,387	0,09418	0,0204	0,094
15:00					



Şekil 3.3 800 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.4 1100 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları (04.08.1999)

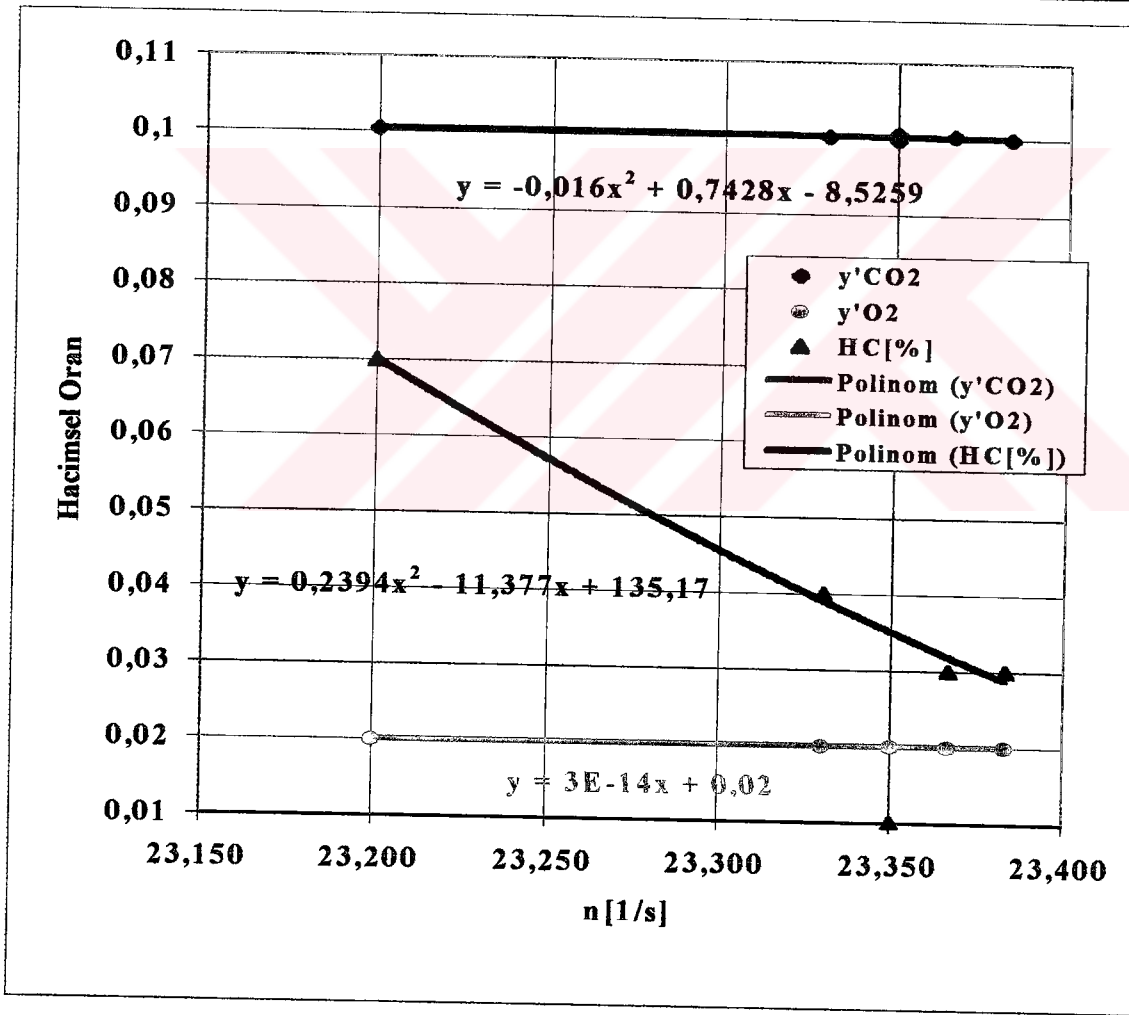
Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	1098	18,300	0,0998	0,07	0
	1105	18,417	0,1001	0,08	0
	1094	18,233	0,0991	0,1	0
	1115	18,583	0,1005	0,09	0
	1095	18,250	0,0997	0,07	0
Ortalama	1101,4	18,357	0,09984	0,082	0
15:00					



Şekil 3.4 1100 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.5 1400 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları (04.08.1999)

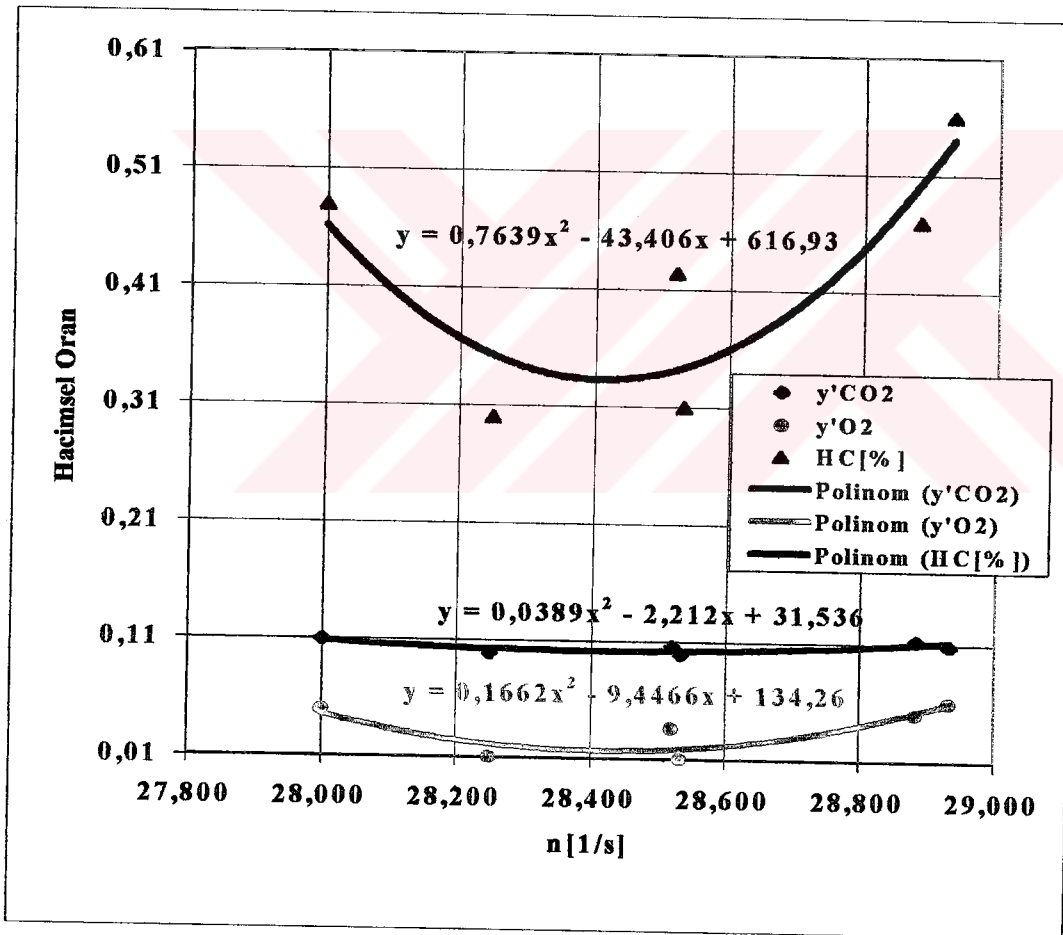
Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	1403	23,383	0,1	0,02	0,03
	1401	23,350	0,0999	0,02	0,01
	1402	23,367	0,1004	0,02	0,03
	1401	23,350	0,1006	0,02	0,06
	1392	23,200	0,1005	0,02	0,07
Ortalama	1399,8	23,330	0,10028	0,02	0,04
15:00					



Şekil 3.5 1400 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.6 1700 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları (04.08.1999)

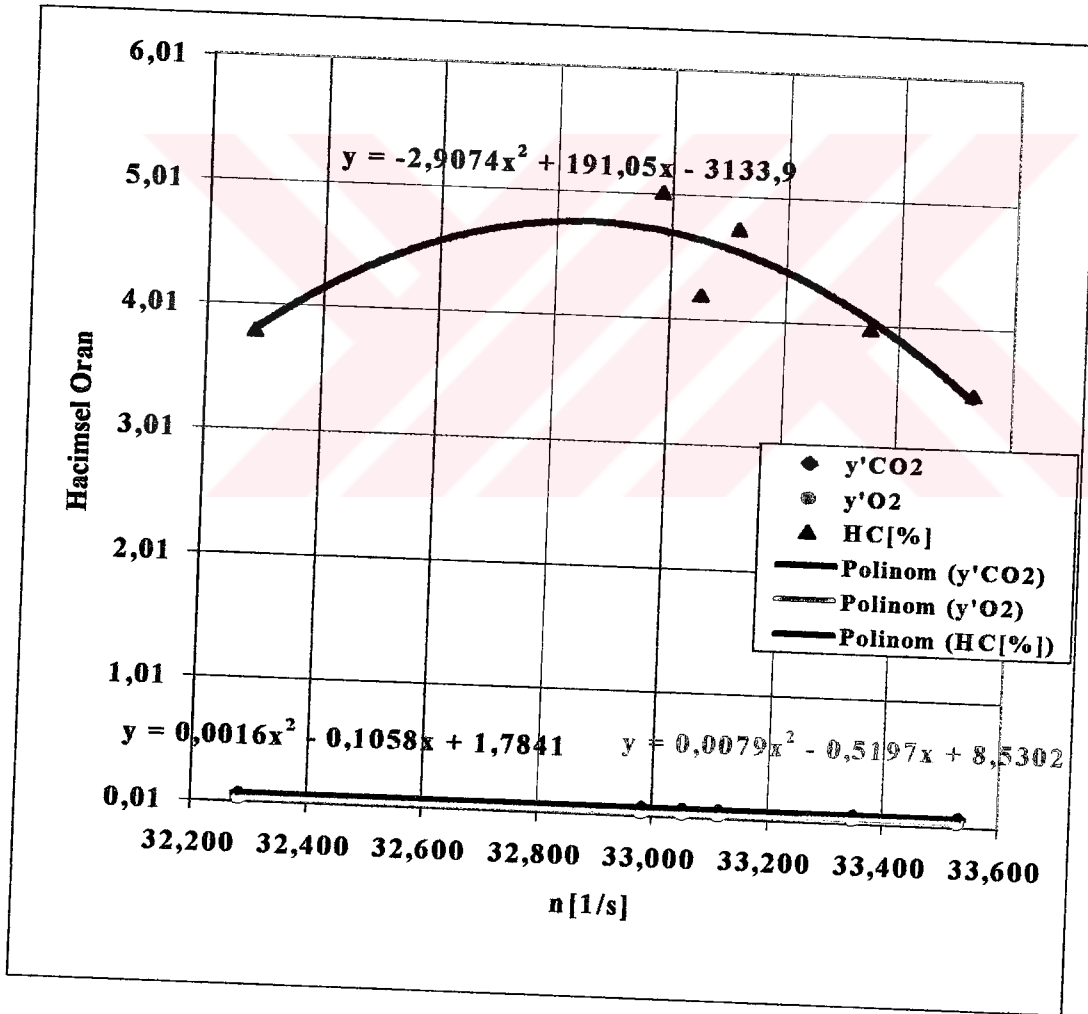
Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	1695	28,250	0,0991	0,01	0,3
	1712	28,533	0,0997	0,01	0,31
	1736	28,933	0,1086	0,06	0,56
	1680	28,000	0,1096	0,05	0,48
	1733	28,883	0,1125	0,05	0,47
Ortalama	1711,2	28,520	0,1059	0,036	0,424
15:00					



Şekil 3.6 1700 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.7 2000 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazının ölçüm sonuçları (04.08.1999)

Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
14:30	1937	32,283	0,0717	0,034	3,8
	1979	32,983	0,0767	0,031	5,02
	1987	33,117	0,0689	0,034	4,75
	2001	33,350	0,0724	0,037	3,98
	2012	33,533	0,0756	0,037	3,48
Ortalama	1983,2	33,053	0,07306	0,0346	4,206
15:00					

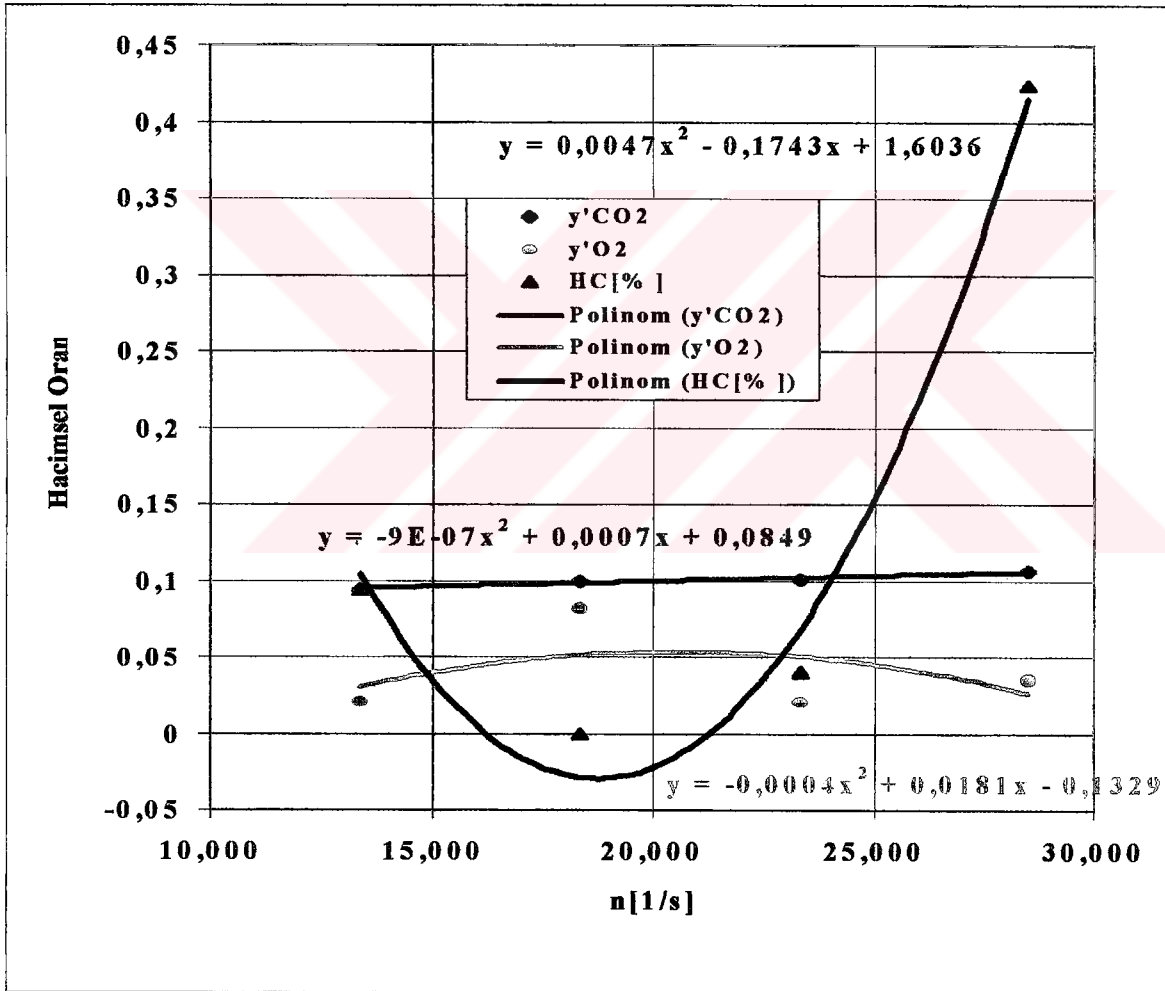


Şekil 3.7 2000 1/min Sabit Devirde Çalışan LPG Yakıtlı RABA MAN Motorunun Kuru Egzoz Gazında Ölçülen CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Tablo 3.8 LPG Yakıtlı Çalıştırılan RABA MAN Motorunun Sabit devirlerde Elde Edilen Sonuçların Ortalamasının sonuçları (04.08.1999)

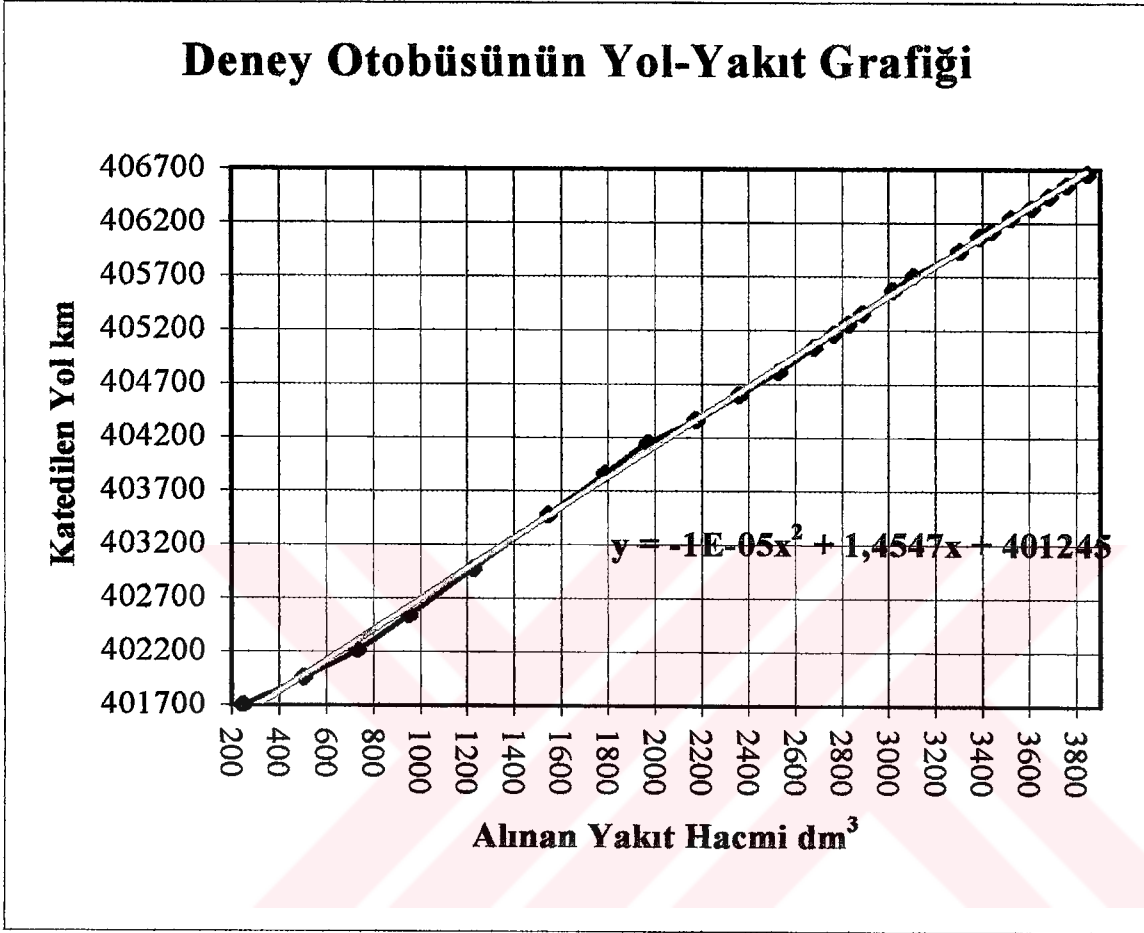
Saat	n'[1/min]	n[1/s]	y'CO2	y'O2	HC[%]
15:20	803	13,383	0,0942	0,02	0,094
	1101	18,350	0,0998	0,082	0
	1400	23,333	0,1003	0,02	0,04
	1711	28,517	0,1059	0,036	0,424

15:00



Şekil 3.8 LPG Yakıtlı Çalıştırılan RABA MAN Motorunun Sabit devirlerde Elde Edilen Sonuçların Ortalamasının oluşturduğu CO₂, O₂ ve HC'nun Hacimsel Oranları

Deney Otobüsünün Yol-Yakıt Grafiği



Şekil 3.9 LPG'li RABA MAN Motoruyla (26.04.1999)-(21.10.1999) Tarihleri arasında Yapılan Yol Testleri Sonucu oluşan Yol-Yakıt Grafiği

	dm³/km	kg/km	TL/km***
MOTORİN*	0,55	0,46	230065
LPG**	0,775	0,43	120900

*) İ.E.T.T. ANADOLU GARAJI KİLOMETRE TAKİP BÖLÜMÜNDEN Alınmıştır.

**) LPG'li RABA MAN motoruyla (26.04.1999)-(21.10.1999) tarihleri arasında yapılan yol testleri sonucu elde edilmiştir.

***) Şubat 2000 tarihinde; 1lt Motorin = 418300 TL 1 \$ = 560000 TL
1lt LPG = 156000 TL 1 DM = 285000 TL

4 DONANIM VE İŞLETME ŞARTLARINA AİT ÖNERİLER

İ.E.T.T.'ye ait Ikarus marka otobüslerin motor soğutma sisteminde problemler olduğu için, seçtiğimiz test aracında da aynı soğutma sistemi problemi oluşmuştur. Soğutma sistemi borularının bir kısmı değiştirilerek bu problem azaltılmıştır. İ.E.T.T.'ye ait Ikarus marka otobüslerin bu motor soğutma sistemi problemlerini gidermek için soğutma sisteminin boruları yeni bakır borularla değiştirilmelidir.

Motora gerekli yakıtı temin eden LPG yakıt sisteminde, karışımı daha iyi ayarlayabilecek mikser kullanılmalı ve çift buharlaştırıcı yerine kapasitesi daha yüksek olan tek buharlaştırıcı kullanılmalıdır. Ayrıca lamda sensörü ve elektronik kontrol ünitesi, sisteme ilave edilmeli bu sayede yakıt sarfiyatına, egzoz emisyonuna ve motor çalışma sıcaklığına daha iyi kontrol edilme imkanı sağlanmalıdır.

Ayrıca araç üzerindeki egzoz susturucusu daha önceki dizel motora göre olduğu için, yeni LPG motoru çalışırken egzoz gürültüsünü azaltamamaktadır. Egzoz gürültüsünü azaltmak için; LPG motoru için özel susturucu imal edilmeli veya piyasadan muadili temin edilmelidir.

Bu çalışmanın sonuca ulaşması için, İ.E.T.T. garajında test otobüsüyle bire bir ilgilenecek kişi veya gurup oluşturulmalı ve bu çalışmanın önemini kavrayan şoförlere zimmetlenmelidir.

Şehir içi trafiğinde toplu taşıma yapan İ.E.T.T.'nin, halen kullandığı; günlük yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu yüksek, 1400 adet Ikarus otobüsü için yaptığımız bu çalışmayı ve LPG yakıtını, İ.E.T.T.'nin yetkilileri gözden geçirmelidir.

5 SONUÇLAR

Buji ateşlemeli motorlarda kullanılacak yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve oktan sayısının yüksek olması, motorun sıkıştırma oranının artırılmasında önemli rol oynar. LPG yakıtı kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve yüksek oktan sayısı bakımından benzine göre daha iyi durumdadır.

Yakıtın yanma hızı buji ateşlemeli motorlarda performans açısından önemlidir. Yanma hızının düşük olması, yanma süresini artırdığından güç ve verim değerlerinde azalmaya neden olur. Benzinin yanma hızı, LPG'ye göre daha yüksektir. Bu yüzden LPG'li motorun gücünde, benzinli motora kıyasla düşme görülür.

LPG'nin gaz fazına geçtikten sonra kullanılması, benzinin ise hava ile karışım oluştururken karışım içinde küçük tanecikler şeklinde kalması, üniform bir karışım açısından LPG'nin daha üstün bir duruma geçmesine neden olur. Yüksek oktan değerine sahip olduğundan, vuruntu yapmadan yanma cephesinin, yanma odasını iyi bir şekilde taramasına sebep olur. LPG benzine göre hacimsel olarak daha fazla silindir dolgusu sağlar. Bu avantajlar LPG'li motorun benzinli motora göre performansını artırır, motorun daha düzenli çalışmasına sebep olur.

Benzinin oktan sayısını artırmak için, benzine sonradan katılan kurşun tetra etil, aynı zamanda supaplar, sekmanlar ve silindir cidarlarına ek dayanım kazandırmaktadır. Eski teknoloji ile imal edilmiş motorlarda; bu ek dayanım motor parçalarının ana dayanımı içinde kabul edilmiştir. Bu tip motorda kurşunsuz benzin veya LPG kullanılırsa (LPG kurşun içermediği için) kurşunun ek dayanımı ortadan kalktığı için, motor parçalarının dayanımı düşmekte ve motor parçalarında çabuk aşınmalara yol açmaktadır. Bu tip motorlara LPG

dönüşümü yapılacaksa motor supapları, kurşunsuz yakıta göre yapılmış supaplarla değiştirilmelidir.

Halk arasında LPG'nin motoru aşındırdığı söylentisi yanlış bilgilendirmenin sonucudur. Bu aşınmanın asıl sebebi; eski teknoloji ile imal edilen kurşuna bağımlı motorun, düşük dayanıma sahip motor malzemesidir. LPG yakıtı yeni teknoloji ile imal edilmiş kurşunsuz benzin kullanabilen motorlarda motor ömrünü artırmaktadır

Kurşun, egzoz emisyonları içerisinde, canlılar için en tehlikeli kanserojen etkiye sahip parametrelerden biridir. Canlıların bünyesine soluma yolu ile alınan kurşun birikmekte ve kansere yol açmaktadır. Maalesef 2000 yılına yakın bir zamana kadar ülkemizde; kurşuna bağımlı motora sahip araçlar üretilmiştir. Ülkemizde 1960-1970 model araçların halen kullanılıyor olması, kurşuna bağımlı motora sahip araçların, yaşadığımız çevreyi ne kadar süre daha kirleteceği, bu konuda bilgi sahibi insanları düşündürmektedir.

LPG' de kurşun ve türevleri yoktur, benzin ve dizel motorlarda kullanılmasıyla egzoz emisyonlarındaki bazı zararlı parametrelerde düşme sağlanabilmektedir. LPG kullanılmasıyla motor yağı dayanımı arttığı için, yağ değişimi azalmaktadır. Bu durum çevre kirliliğini azaltıp, işletme maliyetini düşürmektedir.

Ülkemizde doğal gazın yaygınlaşması, bir çok ünitelerde LPG'nin yerine doğal gaz kullanılmasına sebep olmuş ve rafinelilerde LPG fazlası oluşmuştur. 1996 yılında kanuni engeller ortadan kaldırılıp, LPG kullanımını yasal hale getirilmiş ve LPG otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanmıştır.

Yaptığımız testlerde, LPG motorunun yakıt tüketim maliyetinin; benzin ve dizel motoruna kıyasla düşük çıkmasının sebebi, sıvılaştırılmış petrol gazının

dünya piyasası ve Türkiye'deki fiyatının benzine ve motorine kıyasla ucuz olmasındandır.

Özellikle şehir içi trafiğinde seyreden günlük yakıt tüketimleri fazla olan araçlarda, LPG kullanılması tercih ve/veya teşvik edilmelidir. Böylece büyük şehirlerde, hava kirliliği azaltılarak solunabilir bir hava ve yaşanabilir bir çevre sağlanabilecektir.



KAYNAKLAR

- 1- Lovato Auto Gas, El Kitabı, Sayfa 3-51, 1996
- 2- Landı Auto Gas, El Kitabı, Sayfa 5-48, 1997
- 3- CHALSMA, J.K., Filling up on Alternative Fuels, Machine Desing, Vol.65, Num.1, pp. 64-69, 1993
- 4- ERGENEMAN, M., SORUŞBAY, C., Doğal Gazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı, Doğal Gaz Dergisi, Sayı 6, Sayfa 17-22, Şubat 1990
- 5- LADA Samara, El Kitabı, Sayfa 18, 1992
- 6- IKARUS 260.25A, Teknik Katoloğu, Sayfa 9-12, 1993
- 7- BRC Auto Gas, El Kitabı, Sayfa 3-10, 1998
- 8- O'CONNOR, L., Clearing the Air with Natural Gas Engines, Mechanical Engineering, pp. 52-56, October 1993
- 9- ALBAYRAK, K., YAŞI, O.S., ERALP, O.S., BAYKA, A.D., Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımı, Doğal Gaz Dergisi, sayı 29, sayfa 122-131, Mart-N 1992
- 10- YAŞI, O.S., ERALP, O.C., BAYKA, A.D., ALBAYRAK, K., Doğal Gazın Dizel Araçlarda Kullanımı, Doğal Gaz Dergisi, Sayı 19, Sayfa 32-39, Mart-Nisan 1992
- 11- ÖZAKTAŞ, T., Doğal Gaz Ve Benzin Motorları Egzoz Emisyonları, Doğal Gaz Dergisi, Sayı 28, Sayfa 90-95, Eylül-Ekim 1993
- 12- VALENTİ, M., Alternative Fuels Paving The Way to Energy Independence, Mechanical Engineering, pp.42-46, December 1991
- 13- BAYHAN, M., Motorlu Taşıtlarda Benzin Yerine Doğal Gaz, Mühendis Ve Makine Dergisi, Cilt 31, Sayı 364, Sayfa 9-14, 1990
- 14- BAYHAN, M., Motorlu Taşıtlarda Yakıt olarak Doğalgaz Kullanılmasıyla Egzoz Emisyonlarının Azaltılması, Mühendis Ve Makine Dergisi, Cilt 33, Sayı 394, Sayfa 34-39, 1992
- 15- ÖZTAŞ, T., ARSLAN, E., ERGENEMAN, M., GÖKTAŞ, A., SORUŞBAY, C., Doğal Gaz Motorları Ve Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımı, Termodinamik Dergisi, Sayfa 54-57, Haziran 1994

ÖZGEÇMİŞ

01.08.1972'de Kayseri'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kayseri'de yaptı. 1995 yılında G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünün, Otomotiv Anabilim Dalı lisans programından mezun oldu. 1997 yılında da lisans üstü programında eğitimine başladı.

Milli Eğitim Bakanlığında teknik öğretmen olarak görev 1995 yılında başladı. Halen Maltepe Küçükyalı Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

