

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LPG İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA EMME
MANİFOLDUNU ISITMANIN İLK HAREKETE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Öğretmeni Ergin URGANCI

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adnan PARLAK

Ekim 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LPG İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA EMME
MANİFOLDUNU ISITMANIN İLK HAREKETE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Otomotiv Öğretmeni Ergin URGANCI


Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adnan PARLAK

Bu tez .. / .. /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Adnan PARLAK
.....
Jüri Başkanı


Prof. Dr. İsmet ŞEVİK
.....
Üye


Yrd. Doç. Dr. Halit YAZAR
.....
Üye

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında yardımcı ve yol gösterici olan danışmanım Prof. Dr. Adnan PARLAK' a, deneyler sırasında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Vezir AYHAN' a, Arş. Gör. İdris CESUR' a, Otomotiv Labaratuarı Elektrik Teknisyeni Hasan GÜREL' e, deney motorunun toplanması ve arızalarının çözümünde yardımcı olan başta Önder ve Yılmaz Usta olmak üzere Lider Renault Özel Servisi çalışanlarına, Renault Yetkili Servisi Ernaz Otomotiv' in Teknisyeni Sinan Usta' ya, Elbirlik A.Ş.' nin sahibi ve LPG Dönüşüm Teknisyenlerine, Nissan Yetkili Servisi Çelebi Motorlu Araçlar A.Ş' nin Servis personeline ve özellikle, Oto Elektrik Teknisyeni Kadir ÖZDEMİR' e, Mekanik Teknisyeni Ayhan TOK' a, desteğini bugüne dek esirgemeyen ve sonsuza dek esirgemeyeceğine inandığım ailemin her bir ferdine ve eşim Elif URGANCI' ya teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR.....	4
2.1. Likit Petrol Gazı (LPG)' nin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanım.....	4
2.1.1. LPG' nin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	7
2.1.2. LPG ile çalışan motorlarda performans.....	8
2.1.3. LPG ile çalışan motorlarda egzoz emisyonları.....	8
2.1.4. LPG dönüşümü yapılmış motorlarda karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri.....	8
2.2. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı.....	10
2.2.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	10
2.2.2. Yakıt olarak hidrojen kullanılan motorlarda karışımın oluşturulması ve motor performansına etkisi.....	12
2.2.3. Yakıt olarak hidrojen kullanılan motorlarda yanma performansı.....	13

2.2.4. Yakıt olarak hidrojen kullanılan motorlarda egzoz emisyonları.....	14
2.2.5. Hidrojenin depolanması.....	14
2.3. Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı.....	15
2.3.1. Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	16
2.3.2. Doğalgazın egzoz emisyonlarına etkileri.....	18
2.4. Biyogazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı.....	19
2.4.1. Biyogazın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	19
2.5. Alternatif Yakıt Tiplerinin Karşılaştırılması.....	20
2.5.1. Alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından karşılaştırılması.....	20
2.5.2. Bazı alternatif yakıtların performansları yönünden karşılaştırılması.....	21
2.5.3. Alternatif yakıtların egzoz emisyonu yönünden karşılaştırılması.....	22

BÖLÜM 3.

MATERYAL ve METOD.....	23
3.1. Deney Düzeneği.....	23
3.1.1. Deney motoru.....	24
3.1.2. Motor Tarafından üretilen gücün tespiti.....	24
3.2. Kızdırma Bujileri.....	26
3.3. Deneysel Çalışma.....	28
3.4. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller.....	29
3.4.1. Döndürme momenti ve efektif güç.....	29
3.4.2. Özgül yakıt sarfiyatı.....	30
3.4.3. Efektif verim.....	30
3.5. Emisyon Ölçümü.....	31
3.6. Maliyet Hesaplamaları Eşitlikleri.....	31
3.6.1. Bir saatte katedilen yolun bulunması.....	31
3.6.2. Bir saatte tüketilen LPG miktarının bulunması.....	32
3.6.3. Bir kilometre için harcanan yakıt miktarının bulunması.....	32

3.6.4. Litre başına alınan yolun bulunması.....	33
3.6.5. Otogaz maliyet analizi.....	33
BÖLÜM 4.	
DENEY SONUÇLARI	34
4.1. Soğuk İlk Hareket HC Emisyonları.....	34
4.2. Döndürme Momenti ve Efektif Güç.....	34
4.3. Özgül Yakıt Sarfiyatı ve Efektif Verim.....	36
4.4. Maliyet Analizi.....	38
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

b_e	: Özgül yakıt tüketimi
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CH ₂ O	: Aldehit
C ₃ H ₈	: Propan
C ₂ H ₄	: Etan
CH ₄	: Metan
C ₄ H ₁₀	: Bütan,
C ₅ H ₁₂	: Pentan
C ₈ H ₁₈	: İzooktan
d/d	: Devir / Dakika
F	: Fren terazi kuvveti
H	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
HC	: Hidrokarbon
Hu	: Alt ısı değer
l	: Moment kolu uzunluğu
M _d	: Döndürme momenti
n	: Motor devri
N ₂	: Azot
NO _x	: Azot oksitler
O ₂	: Oksijen Gazı
P _e	: Efektif güç
ρ_{lpg}	: LPG yoğunluğu
L	: Litre
Ç _o	: Çıkış oranı

R	: Lastik çapı
\dot{I}_{4v}	: Şanzıman dördüncü vites çevrim oranı
\dot{I}_d	: Diferansiyel çevrim oranı
\dot{Y}_{lpg}	: Saatte litre başına tüketilen yakıt miktarı
X_{yol}	: Kilometre başına harcanan yakıt miktarı
$V_{araç}$: Araç hızı (km/h),
Ψ	: Litre başına alınan yol
$M_{maliyet}$: Harcanan yakıt miktarı ve birim fiyatına bağlı maliyet
$O_{iböf}$: Litre başına ödenen fiyat
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
ppm	: Milyonda bir partikül
MON	: Motor Oktan Sayısı
RON	: Araştırma Oktan Sayısı
STD	: Standart motor

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Lpg Buhar Basınçları.....	6
Şekil 3.1.	Deney Düzeneğinin Görünüşü.....	23
Şekil 3.2.	Emme Maifoldu Isıtma Düzeneğinin Şematik Görünüşü.....	24
Şekil 3.3.	Deney Motorunun Görünüşü.....	25
Şekil 3.4.	Deneylerde Kullanılan Dinamometrenin Görünüşü.....	26
Şekil 3.5.	Klasik Çubuk Kızdırma Bujisinin Yapısı.....	27
Şekil 3.6.	Kızdırma Bujilerinin Zamana Bağlı Sıcaklık ve Akım Grafikleri.....	27
Şekil 3.7.	Kızdırma Bujileri Emme Manifoldu Bağlantısı.....	28
Şekil 4.1.	Stadart ve Emem Manifoldu Isıtılmış Motorda Soğuk İlk Hareket Hc Emisyonundaki Değişimi.....	34
Şekil 4.2.	Farklı Otogazların Devire Bağlı Olarak Moment Değişimleri.....	35
Şekil 4.3.	Farklı Otogazların Devire Bağlı Olarak Efektif Güç Değişimleri.....	36
Şekil 4.4.	Farklı Otogazların Devire Bağlı Olarak Özgül Yakıt Sarfıyatı Değişimleri.....	37
Şekil 4.5.	Farklı Otogazların Devire Bağlı Olarak Efektif Verim Değişimleri.....	37
Şekil 4.6.	Farklı Marka Otogazların 3000 D/D İle 50 Litre Harcanarak Alınan Yol Ve Maliyetlerdeki Değişimleri.....	38
Şekil 4.7.	Farklı Marka Otogazlarla 3000 d/d ile 100 km Yol Katedebilmek İçin Harcanan Yakıt Miktarları ve Maliyetlerindeki Değişim.....	39
Şekil 4.8.	100 km' lik Mesafe İçin Otogazların Maliyetlerine Göre Sıralanışı	40

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	LPG' nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	7
Tablo 2.2.	Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
Tablo 2.3.	Doğal Gazın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	16
Tablo 2.4.	Biyogaz Bileşimi.....	19
Tablo 2.5.	Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması.....	20
Tablo 2.6.	Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları.....	21
Tablo 3.1.	Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	25

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Emisyonlar, hidrokarbon (HC), emme manifoldunu ısıtma, motor performansı, alternatif yakıtlar, likit petrol gazı (LPG)

Petrol esaslı yakıtlara alternatif olarak motorlarda kullanılan yakıtların başlıcaları doğalgaz, hidrojen, biyogaz ve alkollerdir. Bu yakıtlar bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. LPG ile çalışan motorların çevreye saldığı kirletici bileşenlerin hidrokarbon içerikli yakıtlara göre düşük olması sebebiyle ülkemiz de dahil olmak üzere pek çok ülkede bu yakıtın vergi indirimleriyle kullanımı teşvik edilmektedir.

LPG ile çalışan araçlarda karşılaşılan en önemli problemlerden birisi soğuk ilk hareket esnasında LPG' nin tutuşma sıcaklığının benzine göre yüksek olması nedeniyle tutuşma güçlüğünden dolayı HC emisyonlarının yüksek olmasıdır.

Bu çalışmada, emme manifolduna kızdırma bujileri yerleştirilerek ön ısıtma yapılan motorun soğuk ilk hareket HC emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, su soğutmalı, Renault marka, sıralı sistem LPG ile çalışan bir buji ateşlemeli motorda gerçekleştirilmiştir. Motor ilk önce LPG ile ilk harekete geçirilerek rölantide emisyon değeri ölçülmüş, daha sonra emme manifold sıcaklığı 60 °C olacak şekilde ayarlanarak HC emisyonu ölçülerek karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, ayrıca Sakarya genelinde satış yapan 10 farklı firmaya ait LPG' lerin performans ve kilometre başına maliyetleri karşılaştırılmıştır.

THE EFFECTS OF LPG-AIR MIXTURE HEATING DURING INLET PERIOD ON COLD HC EMISSIONS

SUMMARY

Keywords: Emissions, intake manifold heating engine performance, alternative fuels, liquid petroleum gas.

The outstanding fuels used in engines as an alternative to the petroleum based fuels are liquid petroleum gas, natural gas, hydrogen, biogas, alcohol. These fuels are used commonly in many countries. The alternative use of liquid petroleum gas in engines depends on the reserve richness, availability of producing it out of natural gas, in addition to its being environmentally-friendly. As LPG engines emit lower pollutant emissions to environment compare to hydrocarbon fuels, the governments support the using LPG by decreasing taxes.

One of the major problem of the SI engines running with LPG is the misfire which occurs at cold start conditions as ignition temperature of LPG is higher than gasoline. As results of misfire of LPG, HC emissions are very high at the first 120 seconds after the engine is started.

In this study, four glow plugs are mounted downstream of inlet valve of the engine. The glow plugs were taken into operation during first 120 second keeping air inlet temperature at 60 °C. HC emissions were measured and the results werw given comparatively.

An additional study has also been conducted for investigating the effects of various LPG marketing in Sakarya region on performance and the cost analysis has been mad for 50 liter consumptions. The result are given comparatively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Petrol kaynaklarının hızla azalması, varolan kaynakların ise sınırlı olması ve hava kirliliği tüm ülkeler için geçerli problemlerdir. Dünya nüfusunun hızla artması, teknolojik gelişmelerin getirdiği hızlı sanayileşme, enerji ihtiyacını günden güne arttırmaktadır. Araştırmalar enerji kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesini amaçlamaktadır[1].

Petrol esaslı yakıtlara alternatif olarak motorlarda kullanılan yakıtlardan öne çıkanlar; doğalgaz, likit petrol gazı, hidrojen, biyogaz ve alkollerdir. Bu yakıtlar bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlardan likit petrol gazında motorlarda alternatif olarak kullanılması rezerv zenginliğine, doğalgazdan elde edilebilirliğine, üstelik çevreci oluşuna bağlanmaktadır[2].

Buji ateşlemeli motorlarda hidrokarbon (HC) içerikli yakıtların hava ile tam yanma gerçekleştiği takdirde yanma ürünleri, CO₂, H₂O ve N₂ şeklinde olacaktır. Karbondioksitin (CO₂) atmosfer içindeki birikim oranı arttıkça sera etkisi denilen ve ısınmayı beraberinde getiren iklim değişikliğine sebep olan bir durum ortaya çıkmaktadır[3]. Tam yanma gerçekleşmediği takdirde ortaya çıkan zararlı emisyonlar ise yanmamış HC, karbon monoksiti (CO), azot oksitleri (NO_x), Aldehitleri (HC, HO vb.) ihtiva eder[4].

Zararlı emisyonları azaltmak adına da motorlarda kullanılan alternatif bir yakıt olan likit petrol gazı ise ilk olarak Amerika' da denenmiş ve likit petrol gazı ile çalışan ilk araç 1975 yılında Rusya' da üretilmiştir. Bu çalışmalardan sonra LPG (Likit Petrol Gazı) kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamış son yıllarda ise büyük bir ivme yakalamış, buna bağlı olarakta dev bir endüstri oluşmuştur. Türkiye' de likit petrol gazıyla çalışan motorlu araç sayısı gün geçtikçe katlanarak artmaktadır, hatta

bazı otomotiv üreticileri araç motorlarına kendileri sistem montajı yaparak araçlarını pazarlamaktadırlar.

LPG' nin yakıt olarak kullanıldığı buji ateşlemeli motorlarda hem üreticiler hemde bağımsız araştırmacılar motor performansı, egzoz emisyonları ve LPG sistemi verimliliği açısından çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Solmaz ve ark.[5], LPG ile çalışan, dört silindirli, su soğutmalı, 1,6 litre silindir hacimli, Fiat marka, benzin motorunda, motorun soğukta ilk hareketini kolaylaştırmak amacıyla sıcaklığı kontrol edilebilen bir sistemin tasarım ve imalatı yapmışlardır. Deneyler motora monte edilen ısıtma sistemi devrede ve devre dışı iken gerçekleştirmişlerdir. Ortam sıcaklığını ise -10 ve +10 °C aralığında sabit tutmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, tasarlanan ısıtma sistemi devre dışı iken 5 °C'nin altındaki ortam sıcaklıklarında motorun LPG ile ilk harekete geçmediği, ısıtma sistemi aktif ve sıcaklık kontrol cihazının ayarı 50 °C'ye ayarlı iken ve çevre sıcaklığı -10 °C olduğu durumda motorun 8 sn'lik süre sonunda ilk harekete geçtiğini tespit etmişlerdir.

Aydın ve ark.[2], dört silindirli, su soğutmalı, dört zamanlı, Lavato marka sıralı enjeksiyon LPG sistemli ile çalışan 2000 model Hyundai Accent araç ile deneyleri şasi dinamometresinde yapmışlardır. Motor soğutma suyu ve yağ sıcaklığı 80 °C kararlı hale getirilmiş, deney esnasında soğutmaya yardımcı olması için motorun önüne soğutucu ünite yerleştirmişlerdir. Deneyler ilk önce benzin ile yapılmış, daha sonra LPG ile yapılarak motor performans ve emisyon karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda LPG ile çalışan benzin motorunda benzin yakıtına göre performansında azalma olmadığı saptamışlardır.

Erkuş ve ark.[6], deneyleri, dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, 1,6 litre silindir hacmine sahip, 5500 d/dak' da 92 beygir güç üreten ve 3250 d/dak' da 12.6 kgm tork sağlayan, motor dinamometresine bağlanarak motorda bir değişiklik yapmadan sadece bir hava gaz karbüratörü ve basınç düşürücü montajı yapılarak doğal gazla çalışır hale getirerek yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda doğal gazın mevcut motor konstrüksiyonunda değişiklik yapılmadan kullanılmasının fayda sağlamadığı

görülmüştür.Emme manifoldunun ısınması volümetrik verimi zaten düşük olan gaz yakıtların volümetrik veriminin dahada düşmesine, buna bağlı olarakta güç düşüklüğüne, zararlı emisyonların ve yakıt sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır. Doğal gazın Otto motorlarında kullanım verimini artırmak için silindir içine zenginleştirme yapılarak, emme manifold sıcaklığının yükselmesinin engellenmesinin ve avans haritalarının yeniden oluşturulmasının doğal gaz ve gaz yakıtlar için gerekliliği kanaatine ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, soğuk ilk hareket HC emisyonlarını azaltmak amacıyla emme manifolduna yerleştirilmiş kızdırma bujileri vasıtasıyla ön ısıtma yapılarak HC emisyonundaki değişim incelenmiştir. Deneyle dört zamanlı, su soğutmalı, Renault marka, sıralı sistem LPG ile çalışan bir buji ateşlemeli motorda gerçekleştirilmiştir. Motor ilk önce LPG ile ilk harekete geçirilerek rölantide emisyon değeri ölçülmüş, daha sonra emme manifold sıcaklığı 60 °C olacak şekilde ayarlanarak HC emisyonu ölçülerek karşılaştırılmıştır. Daha sonra Sakarya il merkezindeki LPG istasyonların da satışa sunulan otogazların tam yük konumunda 1000 d/d ile 3800 d/d aralığında 1000 d/d' dan itibaren 400 d/d artırılarak motor performans parametreleri açısından her durum için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN GAZ YAKITLAR VE LPG İLE KARŞILAŞTIRILMASI

2.1. LPG' nin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Günümüzde benzin motorlarında yoğun olarak kullanılan LPG, ilk olarak Amerika menşeli bir şirket olan San Gas-electric Company tarafından kullanılmıştır. Bilim çevreleri bu yakıtı kullanılabilirliğinin yüksek ve düşük emisyonlara sahip olması yönüyle yeni çalışmalarla desteklemiş kullanımının artmasını sağlamışlardır[7]. Gelecekte bir çok sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de LPG' nin kullanımının daha fazla olacağı şimdiden görülebilmektedir. LPG, yüksek vuruş direncine sahip, yanma sonu ürünlerinde daha az zararlı emisyon bulunan, motora uygulanması kolay, ideale yakın bir yakıt olarak tanımlanabilir.

Motorlu taşıtlarda kullanılan gaz yakıtlar, yapı ve özellik bakımından iki halde bulunurlar. Bunlar sıvılaştırılmış gazlar ve daimi gazlardır. Sıvılaştırılmış petrol gazı ve doğal gaz gibi, normal atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan yakıtlara gaz yakıtlar denilmektedir[8]. Gaz yakıtların bazıları kolayca sıvılaştırılabilir, bazıları ise sıvılaştırılamazlar.

Sıvılaştırılmış gazlar; belirli basınç ve sıcaklıkta gaz halinde veya sıvı halden gaz haline dönüşebilen gazlardır. C_3H_8 , C_4H_{10} , LPG gibi kritik sıcaklığı ortam sıcaklığının üzerinde olan gazlardır. Tüpler içinde 10-15 atm. basınç altında sıvı olarak depolanır ve taşınırlar[9].

Daimi gazlar; çok yüksek basınç altında bile sıvı hale geçmeyen daima gaz fazında bulunan gazlardır. Bunlar genel olarak gaz kaidelerine uyarlar, perma gazları olarak adlandırılırlar. CH_4 , doğal gaz gibi kritik sıcaklığı, ortam sıcaklığının altında olan gazlardır. 200 atm. basınç altında kalın çelik tüplerle ya da boru hatlarıyla taşınırlar.

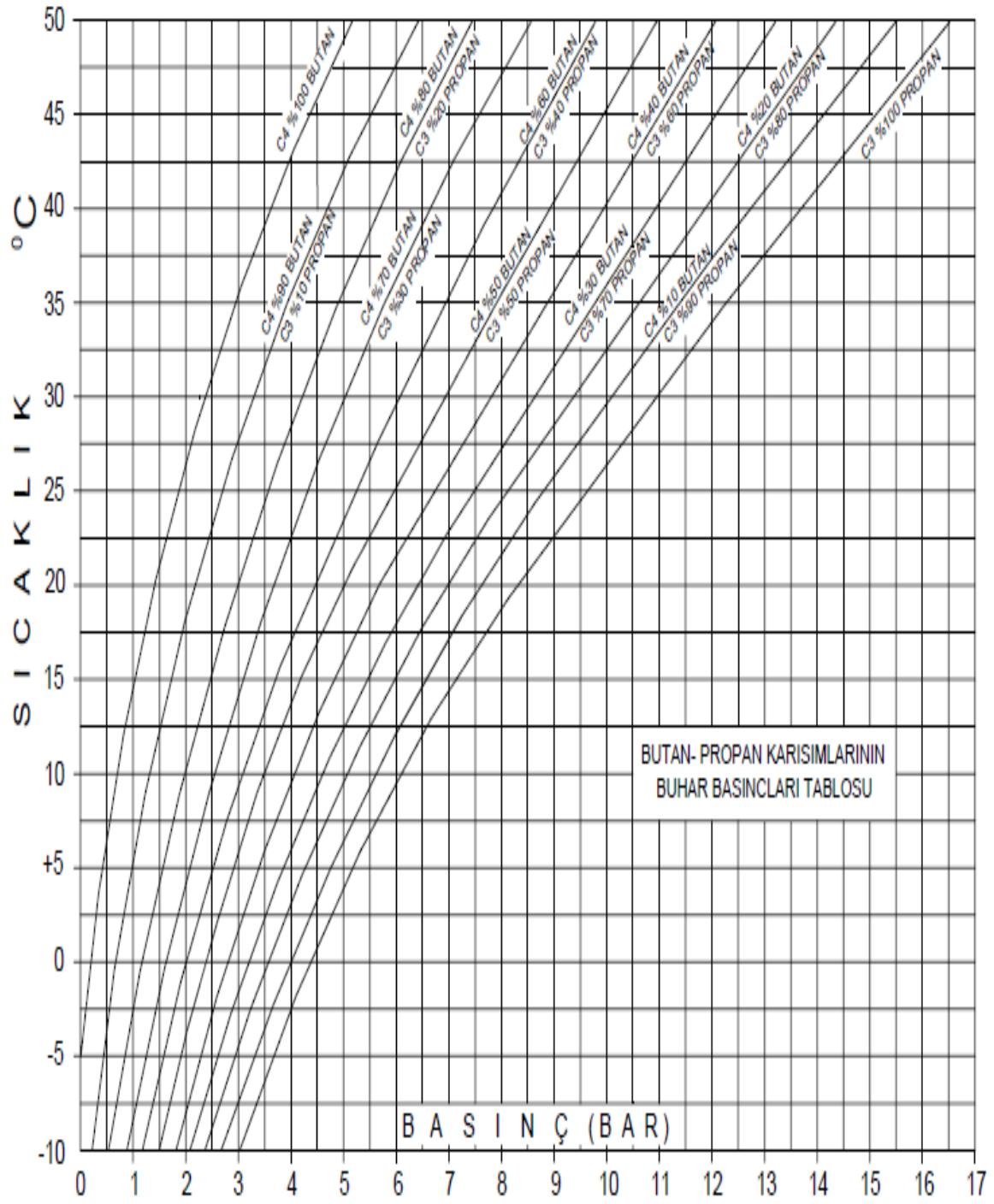
Gaz yakıtlar, doğal veya üretilen gaz yakıtlar olmak üzere de sınıflandırılmaktadır. Doğal gaz yakıtlardan en önemlisi doğal gaz, üretilen gaz yakıtlardan en önemlisi ise sıvılaştırılmış petrol gazıdır. Gaz yakıtlar, depolama hacmini küçültmek amacıyla, orta ve yüksek basınçlarda ($\approx 20 \dots 200$ bar) sıkıştırılarak sıvılaştırılmaktadırlar[8].

Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG); propan, propilen, bütan, bütilen, büten, etan, etilen ve bu gazların oluşturduğu hidrokarbon karışımlarıdır. Normal şartlar altında (15°C ve 1 atm basınçta) gaz halinde bulunan LPG, basınç uygulandığında sıvı fazına geçer. Sıvı halinde taşınan, depolanan ve ölçülen LPG, basınç kaldırıldığında tekrar gaz fazına geçer ve gaz fazında tüketilir[42].

LPG basınçla depolanınca sıvı hale gelen ticari Propan ve Bütan için kullanılan genel isimdir. Bu gazlar basınç altında sıvılaştırılarak belli oranlarda karıştırılır ve LPG' yi oluşturur. Bu karışımın yüzde oranı, çeşitli parametrelere göre farklılık gösterir.

Türkiye' de otomobil yakıtı olarak % 30 Propan, % 70 Bütan ihtiva eden LPG kullanılmaktadır. Propan 3 Karbon (C), 8 Hidrojen (H) atomunun birleşmesinden (C_3H_8), Bütan ise 4 Karbon 10 Hidrojen atomunun birleşmesinden (C_4H_{10}) meydana gelir. LPG' nin sıvı halde bulunması taşıma ve depolamayı kolaylaştırmaktadır. Sıvı hali gaz halinden 230-267 kat daha yoğundur. Örneğin 267 metreküplük gaz sıvılaştırıldığında 1 metreküplük bir hacme sığar. Dolayısıyla sıvı halde depolanması son derece avantajlıdır.

LPG' nin buharlaşma sıcaklığı 0 derecenin altındadır ve daha yüksek ısılarda sıvı halde kalabilmesi için atmosfer basıncından daha yüksek basınçlar gereklidir. Araçlarda kullanılan LPG' nin basınca dayanıklı tanklarda depolanmasının sebebi budur. Bu tanklar aracın kullanıldığı bölgedeki LPG' nin 15 derecedeki buhar basıncını (Sıvı halde kalması için gerekli basıncı) referans alarak, ECE R 67 ve TSE standartlarına uygun olarak üretilmektedir[10].



Şekil 2.1.LPG Buhar Basınçları [10].

2.1.1. LPG' nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.1 LPG' nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[11].

ÖZELLİKLER	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN	ÖZEL HİZMET PROPANI
İlk Kaynama Noktası (°C)	-46	-9	-46
Sıvı Fazın Özgül Isısı (kJ/kg°C)	1366	1276	1366
Bir Litre LPG'nin (sıvı fazdaki) buhar hacmi (m ³)	0.271	0.235	0.271
Hava-gaz Karışımında Patlama Sınırları (havada) hacimce buhar yüzdesi			
a) Alt	2.15	1.55	2.15
b) Üst	9.60	9.60	9.60
Kaynama Noktasındaki Buharlaşma Isısı	430	388	430
a) KJ/kg	219	226	219
b) KJ/l			
Alev Sıcaklığı (°C)	1980	2008	1980
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	493-549	482-538	493-549
Kükürt Miktarı (mg/kg)	185	140	123
Oktan Sayısı	111	103	111
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	46.1	45.46	46.1

LPG benzin ve dizel yakıtta nazaran daha düşük ısılarda kaynar. Benzin ve dizel yakıtların atmosferik basınçta sıvı halde tanklarda saklanabilirken, LPG ise 7 bar'lık basınç altında sıvı halde depolanabilmektedir. LPG benzine kıyasla çok daha üstün vuruntu direncine sahiptir. LPG gaz olduğundan küçük damlacıklar halinde kalan benzine kıyasla havayla daha homojen bir karışım oluşturur[12]. Propan ve bütan karışımının oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur. Sıvı halde bulunan LPG ile dolu olan bir ortamda artan ısı basıncında artmasına neden olur ve içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olur. Hiç bir zaman bir tank LPG ile %80' den fazla doldurulmamalıdır. Bütan ve propan'ın belirleyici temel özelliklerinden biri buhar basıncıdır, Bütan ve propan arasındaki diğer ayırıcı özellik ise kaynama noktalarıdır. Propanın -43 °C'de gaz fazına geçerken, bütan için bu değer 0 °C' dir. Özellikle soğuk havalarda karışım içerisinde daha yüksek oranlarda

propan kullanılarak gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Türkiye de hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değiştiğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının da bu koşullara uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir [13]. LPG nin bir özelliği de yağ ve boyayı eritebilmesidir. Ayrıca doğal lastiği de deforme eder. Bu yüzden motorlu araçlarda kullanılan esnek borular uygun kalitede sentetik malzemeden yapılmaktadır.

2.1.2. LPG ile çalışan motorlarda performans

Yapılan iyi bir dönüşümde araç performansındaki kayıp %5' i geçmemektedir[45]. Bunun yanında egzoz emisyonlarında önemli ölçüde iyileşme görülmektedir, Benzinli bir araçta benzine göre LPG kullanımıyla benzine göre HC emisyonlarında %55, CO emisyonlarında ise %95 azalma sağlanabilmektedir. Maddi olarak düşünülduğünde LPG, benzine göre şu an Türkiye' de daha ekonomiktir

2.1.3. LPG ile çalışan motorlarda egzoz emisyonları

Diğer AB ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için yeni araçların belirli bir program dahilinde AB normlarına uyması istenmektedir. Trafikteki, mevcut araçların emisyon değerlerinin azaltılması için ise herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Özellikle hava kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde ticari araçlarda LPG kullanımı, araçların hava kirliliğine etkisini büyük ölçüde azaltacaktır[10].

2.1.4. LPG dönüşümü yapılmış motorlarda karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri

Özellikle soğuk havalarda, LPG ile çalışan motorlarda ilk harekete geçme güçlüğü sık yaşanan bir durumdur. Bunun ana nedeni LPG' nin tutuşma sıcaklığının benzine göre daha yüksek olmasıdır. Soğuk ilk hareket esnasında sıkıştırma sonu sıcaklığının rejim halindeki çalışma koşuluna göre küçük olması LPG ile çalışan araçlarda ilk hareket problemi doğurmaktadır. Bu durum araçların ilk harekete benzin ile başlamasına neden olmaktadır. Bu problemin çözümüne yönelik olarak soğukta ilk

hareket zorluğunu iyileştirmeyi amaçlayan likit petrol gazını ısıtma çalışmaları olumlu sonuçlar doğurmuş ve ilk harekete geçiş süresi kısaltılmıştır[5].

LPG ile çalışan motorlarda benzine nazaran en uyumlu ve verimli sistem kullanılsa dahi bir güç düşüklüğü söz konusudur[1]. Araştırmalar göstermiştir ki bu olumsuzluğa sebep olan etkenlerden biride gaz yakıtlarda söz konusu olan volümetrik verim düşüklüğüdür ve bu LPG içinde geçerlidir. Volümetrik verimin dahada düşmesine sebep olan etkenin emme manifold sıcaklığının, motor sıcaklığının yükselmesiyle birlikte artması olarak gösterilmiş buda güç düşüklüğünü beraberinde getirmiştir[5]. Bu olumsuz durumu azaltmak adına emme ve egzoz manifoldları birbirinden uzaklaştırılmış ve manifold dizaynında değişiklikler yapılmıştır.

LPG ile çalışmada güç düşüklüğünü ve rejim sıcaklığının üzerinde çalışmayı doğuran ana etkenlerden biride avans haritalarının benzine göre oluşudur, bunun önüne geçebilmenin yoluda yeni avans haritaları ve ayarıyla mümkündür[5].

Temiz alternatif yakıtlarla çalışmak üzere dönüştürülen taşıt motorlarının supaplarında görülen problemlerin ana kaynağının benzinle çalışmada görülen yüzeylerdeki karbon filminin kaybolması sonucu bütün çalışma koşullarında oluşan ısı ve mekanik zorlanmalara maruz kalan subaplarda karşılaşılan, supap yenmeleri, oyulması, kırılması, aşınması ve değişik şekillerde ortaya çıkan şekil bozuklukları alüminyum subapların kullanıldığı motorlarda çelik subap kullanımıyla minimum seviyeye indirilmektedir[36].

LPG dönüşümü yapılmış benzin motorunda her iki yakıtlarda çalışmada sık görülen diğer problemler tam yükte güç düşüklüğü, rölantide silkeleme ve kararsızlık, düşük ivmelenmedir. Bu durumun muhtemel nedenlerinden biri benzin elektronik kontrol modülü verilerinin LPG elektronik kontrol modülüne doğru programlanmamış olması, diğer bir neden ise hava emiş sisteminin önemli parçası olan Kütlesel akış ölçerden kaynaklanmaktadır. Birinci nedenin ortadan kaldırılması için programlama geliştirilmeli, ikinci nedenin ortadan kaldırılması için ise debimetre voltaj

değerlerinin olması gereken katalog değerleriyle karşılaştırılması şayet farklılık varsa değişim yoluna gidilmelidir[37].

2.2. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Hidrojenin, motorlarda kullanımı ile ilgili araştırmalar ve çalışmalar 1900' lü yılların başlarında başlanmıştır[15]. Günümüzde yakıt seçiminde ölçüt olarak alınan ulaştırma yakıtı olma özelliği, çok yönlü kullanıma uygunluk, kullanım verimi, çevresel uygunluk, emniyet ve maliyet açısından yapılan değerlendirmeler hidrojen lehine sonuç vermektedir[16]. Egzoz emisyon değerlerinin düşük olması, petrole olan bağımlılığı azaltması hidrojenin uzun yıllar önceden tespit edilmiş olan avantajlarıdır[17]. Bu önemli özelliklerinin yanında hidrojeni önemli bir alternatif yapan kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.2 Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[18].

Kimyasal denklemi	H ₂
Yoğunluk (kg/m ³)	0.0838
Yoğunluk (kg/m ³) sıvı	70.8
Isıl değeri (MJ/kg)	119.90(Hu) 141.90 (Hu)
(MJ/m ³)	10.05 (Hu) 11.89(Hu)
Kritik nokta Değerleri	Değeri
Sıcaklık(⁰ K)	32.94
Basınç (bar)	12.84
Yoğunluk(kg/m ³)	31.40
Stokiometrik Karışım hava/ yakıt (hacimsel)	29.53
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	0.447
Tutuşma sınırları % (hacimsel),	4.0 – 75.0
Hava fazlalık katsayısı	0.15 – 4.35
Laminar alev hızı (m/s)	2.91
Kaynama noktası (K)	20.36
Donma noktası (K)	14
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (K)	858

Atomik sembolü “H” olan hidrojenin atom ağırlığı 1,00797, atom sayısı 1 olan en basit ve en hafif elementtir. Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafifliği sebebi ile atmosfere yükselip orada serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur[19]. Kokusuz, renksiz ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen, hava ya da oksijen içerisinde kolayca parlar, patlayarak yanar ve su oluşturur. Çok kolay tepkimeye girdiğinden başka elementlerle birleşmiş halde bulunur. Bir litresi 0 °C ve 1 atmosfer basınç altında 0,0838 gram gelir. Havada hacimsel olarak %0,00005 kadar saf halde hidrojen vardır[18]. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Yanma sonucunda ise sadece su buharı meydana gelir. Aynı ağırlıktaki benzine göre sıvı hidrojenin enerjisi 2,75 kat daha fazladır.

Hidrojen çok amaçlı bir yakıttır. Hava ya da oksijen ile birlikte yakılarak ısıtma amaçlı olarak kullanılabilir. Motor ya da gaz türbiniyle bir jeneratörü tahrik ederek veya yakıt pili olarak kullanılmasıyla yüksek bir verim ile elektrik üretilebilir. Taşıtlarda; basınç altında, sıvı halde ve metal hidrid şeklinde depo edilerek motor yakıtı olarak yararlanılır. Kimya endüstrisinde ham madde olarak kullanılır[20].

Hidrojen sahip olduğu birim enerji başına üretilmesi en ucuz sentetik yakıttır. Sentetik yakıt sisteminde 1 GJ' lük enerji 18,65\$' a mal olurken, solar enerji ile üretilen hidrojen 13,02\$' a mal olmaktadır[21]. Hidrojenin yakıt olarak kullanımında, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkması nedeni ile çevreye zararı yoktur[18]. Ayrıca çevreyi hemen hemen hiç kirletmez ve sentetik yakıtlar (metanol, amonyak vb.) içerisinde en temiz olanıdır[22].

Hidrojeni geleneksel olmayan birincil enerji kaynakları ile karşılaştığımızda, şu farklı üstünlükleri görürüz; kolay taşınabilir, tükenmezdir, yenilenebilir, depolanması mümkündür, ekonomik şekilde üretilebilir, en az kirlilik oluşturmaz, birincil enerji kaynaklarına bağımlı değildir, üretiminde en uygun bileşik çok bol olan sudur, hidrojenin yüksek alevlenme hızı ve geniş tutuşma aralığı, hafifliği ve yakıt olarak ideal özellikleri nedeniyle hidrojen taşıtlar için iyi bir yakıttır[23].

2.2.2. Yakıt olarak hidrojen kullanılan motorlarda karışımın oluşturulması ve motor performansına etkisi

Yakıt besleme sistemleri açısından hidrojen motorları 4 kategoriye ayrılmaktadır. Karbürasyon, emme manifolduna püskürtme, emme supabının arkasına püskürtme ve doğrudan silindir içine püskürtmedir[24].

Hidrojen ile hava karışımı, sırasıyla dahili ve harici olarak adlandırabileceğimiz yöntemlerle motorun yanma odası içerisinde veya motorun emme manifoldunda hazırlanmaktadır. Harici karışım hazırlama yönteminde, basit bir gaz karıştırıcı içerisinde düşük basınçlarda hava ile karıştırılması veya hidrojenin yine düşük basınçlarda motorun emme manifolduna sürekli veya kesikli olarak gönderilmesi mümkündür. Kesikli olarak yakıt gönderme durumunda, dizel ilkesi ile çalışan motorlardaki gibi yüke göre karışım ayarı yapılabilir. Bu durumda karbüratördeki gaz kelebeği ortadan kalkacağı için motorun kısılma kayıpları da kaldırılacak ve hacimsel verim dolayısıyla motorun maksimum gücü artacaktır[25].

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması konusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda benzine göre tasarlanmış olan motorlar kullanılmaktadır ve bu motorlar hidrojen kullanıma imkan sağlayacak şekilde modifiye edilmişlerdir. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılmasına ilişkin yapılan ilk incelemelerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir[26].

Bazı küçük değişikliklerle benzin motorları hidrojen ile çalışır duruma getirilebilirler. Isıl verimleri benzin motorununkine yakındır. Stokiyometrik çalışma şartlarında hidrojen motorunda yüksek miktarda NO_x oluşur. Fakat silindirlere gönderilen karışım fakirleştirilerek NO_x oluşumu azaltılabilir. Benzin motorundan hidrojen motoruna çevrilmiş motorda, stokiyometrik hidrojen-hava karışımında %20 güç kaybı meydana gelir. Karbüratörlü motorlarda emme manifoldundaki alev tepmesi önemli bir problemdir.

Hidrojen motorunun bu dezavantajları, onun benzin motoru ile rekabet etme şansını azaltmaktadır. Fakat günümüze kadar yapılan çalışmalar ile bu problemler çözümlenerek,

hidrojenin motor verimine ve hava kirliliğinin azaltılmasına olan katkıları görülmüştür. Hidrojenin sıkıştırma oranı yüksek olan motorlarda kullanılması ile de sebep olduğu güç kaybı azaltılabilir. Ayrıca aşırı doldurma uygulanarak ilave güç sağlanabilir. Sıkıştırma oranının artırılması ve fakir karışım ile hidrojen motorunun ısıl veriminde, benzinli motora göre %25' lik bir artış sağlanabilir. Fakir karışım ile alev tepmesi önemli miktarda azaltılır.

Akaryakıt motorlarında görülen buhar tıkaçı, soğuk yüzeylerde yoğuşma, yeterince buharlaşmama gibi sorunlar hidrojen motorlarında yoktur. Hidrojen motorları 20,13 °K' de (-253°C) ilk harekete geçerken bile sorun çıkarmaz[26].

2.2.3. Yakıt olarak hidrojen kullanılan motorlarda yanma performansı

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına rağmen, hidrojen-hava karışımlarının tutuşturulabilmesi için gerekli enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması, hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün yanmasını sağlar ve yanma sonucunda daha az kirlenici oluşur. Benzin motorları ise stokiyometrik orana daha yakın oranlarda ya da zengin karışım oranlarında çalıştırılmak zorunda olduklarından egzoz gazlarında önemli miktarda azot oksit (NO_x), karbonmonoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon (HC)' lar oluşur. Hidrojen motorları, maksimum yanma sıcaklığını azaltacak biçimde fakir karışım ile çalıştırılabilirler. Böylece daha az NO_x oluşurken, HC ve CO emisyonları oluşmaz. Alev hızının yüksek olması ise Otto motorlarında ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak, ısıl verimi artırır. Geniş tutuşma aralığı sayesinde, gaz keleşine gerek kalmadığından, karışımın silindirlere kısılmadan gönderilmesi sonucu pompalama kayıpları azaltılmış olur[17].

Hidrojenin yüksek sıkıştırma oranlarında, fakir karışım ile yanabilmesi yakıt tüketimini azalttığı gibi, yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığı da azaltır. Yanma sonucu partikül madde oluşmadığından bujiler kirlenmez. Alev parlaklığının düşük olması, diğer karbon esaslı yakıtlara göre radyasyon yolu ile olan ısı kaybını azaltacağından daha yüksek verim sağlar[27].

Hidrojenin alev hızının yüksek olması, buji kıvılcımından sonra karışımın başka noktalardan tutuşma (detenasyon) ihtimalini azaltır. Bu durum sıkıştırma oranının artırılmasını sağlayacağından motorun gücü de artar[17].

2.2.4. Yakıt olarak hidrojen kullanılan motorlarda egzoz emisyonları

Benzin motoruna hidrojen takviyesi ile yanmamış hidrokarbon emisyonları azaltılarak ısı verim iyileştirilir. Hidrojen takviyesi yapılan Otto motorlarında küçük bir ön yanma odası mevcuttur. Yanma odası bujinin yerine yerleştirilmiştir. Bu ön yanma odası içinde hidrojen enjektörü ile buji vardır. Esas yakıt ise (benzin, metanol, propan vs.) emme portlarındaki enjektörlerden püskürtülerek silindirlere gönderilir. Hidrojen takviyesi ile esas yanma odası içinde yakılan hidrokarbon esaslı yakıtların çok fakir karışım oranlarında düzgün bir şekilde yakılması sağlanır. Böylece ısı verim artırılarak, azot oksit emisyonları önemli derecede azaltılır[28].

Hidrojenin hava ile yanmasının sonucu da, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO₂, HC' ler mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeni ile oluşan HC' ler egzoz gazları arasında bulunacaktır. Ayrıca yüksek yanma sıcaklıkları nedeniyle havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler oluşacaktır[25].

Hidrojenin yanma ürünü su buharıdır ve sınırlı maksimum sıcaklıklardaki NO_x emisyonları ihmal edilebilir. Nitekim hidrojenle çalışan bir içten yanmalı motor, günümüz taşıt motorlarından çok daha az NO_x emisyonuna neden olmaktadır[29].

2.2.5. Hidrojenin depolanması

Hidrojenin kimyasal ve fiziksel özelliğinden kaynaklanan problemlerden dolayı depolanma sorunları ortaya çıkmaktadır. Hidrojenin depolanmasında üç ana yöntem vardır; yüksek basınçlı gaz şeklinde, kroyojenik (aşırı soğutulmuş) sıvı haldeki depolama; bu durumda hidrojen genellikle alçak basınçlıdır ve metal-hidrit şeklinde depolanmasıdır[44].

Hidrojenin yakıt tankının doldurulmasında bir gecikme söz konusudur. Hidrojen gazının depoya doldurulması bugünkü benzinli taşıtlardaki deponun dolum süresinden oldukça yavaştır. Örneğin 90 km' lik bir yol için gerekli hidrojen, bugünkü yöntemlerle ancak 10 dakikada doldurulmaktadır. Araştırmaların büyük bir kısmı bu sorun üzerine yoğunlaşmıştır[30].

2.3. Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Doğalgazın taşıtlarda benzin ve motorine düşük emisyonlu bir alternatif olarak yaygınlaşması özellikle son senelerde dikkat çekmektedir. Doğalgazın birçok ülkede zengin kaynaklarının olması, diğer birçok ülkede ise boru hatları ile yaygınlaştırılmasına rağmen taşıtlarda yakıt olarak kullanılması, diğer uygulamalarına göre biraz yavaş kalmıştır. Son senelerde ise gerek doğalgazın yaygınlaşması, gerekse ekonomik ve çevresel faktörlerin tercihi, taşıtlarda doğalgaz kullanımını bir alternatif olarak gündeme getirmiştir.

Ülkemizde de Ankara ve İstanbul 'da taşımacılıkta kullanılan belediye otobüslerinin egzoz gazlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için birtakım projeler geliştirilmekte ve doğalgaza dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanılmasına başlanmıştır[18].

2.3.1. Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.3 Doğal Gazın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[18].

	Doğalgaz
Kimyasal denklemi	CH ₄
C/H Oranı	0.25
Molekül Ağırlığı	16.04
Özgül Ağırlığı (g/cm ³) Sıvı:	0.424
Gaz:	0.78*10 ⁻³
Isıl değeri (MJ/kg), (MJ/l)	50.8, 20.8
Stokiyometrik Karışım hava/ yakıt (kütleli) hava/ yakıt (hacimsel), KJ/l	17.2 9.53, 3.4
Mol _{ürün} /mol _{reaktant}	1.00
Buharlaştırma ısı (MJ/kg)	0.509
Tutuşma sınırları % (hacimsel), hava fazlalık katsayısı	5.5 – 15.4 0.59 – 2.0
Laminar alev hızı (m/s)	0.37
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0.16
Kaynama noktası (°C)	-161.3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	632
Oktan sayısı ROS (Araştırma oktan sayısı)	130
MOS	105

Doğalgazın büyük bölümünü %90-96 CH₄ (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise %2.411 C₂H₆ (etan), %0.736 C₃H₈ (propan), %0.371 C₄H₁₀ (bütan), %0.776 N₂ (azot), %0.164 C₅H₁₂ (pentan) ve % 0.085 CO₂ (karbondioksit) oluşturmaktadır[52]. Doğalgazın, Otto motorlarında yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliği oktan sayısının yüksek oluşudur(saf metan için, RON=130)[53]. Ayrıca ısıl değerinin benzin ve alkole göre yüksek olması da bir avantaj sağlamaktadır. Doğalgaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazları emisyonu açısından yarar sağlanması da mümkün olmaktadır.

Ancak stokiyometrik karışım içindeki yakıtın hacimsel oranının yüksek oluşu (benzin için % 1.65, metan için %9.47) nedeniyle, motorun birim hacmindeki stokiyometrik karışımın ısı değeri benzine göre %10 mertebesinde daha az olmaktadır. Ayrıca laminer alev hızının da benzin-hava karışımına göre düşük olması, benzin motorlarında, performans açısından olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğalgazın motor performansı üzerindeki bu olumsuz etkisi, sahip olduğu yüksek oktan sayısı avantajlı kullanılarak motorun sıkıştırma oranının artırılması sonucunda giderilebilmektedir.

Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeniyle doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Yüksek performansa ve düşük emisyonlara sahip bir doğalgaz motorunun yapımı doğru sıkıştırma oranının tespiti ile sağlanmaktadır. Bu oran her motor için değişebilir. Sıkıştırma oranının artırılmasını motor vuruntusu sınırlamaktadır. Doğalgazın yüksek oktan sayısına sahip olması sıkıştırma oranının artırılabilmesini sağlamaktadır. Genel olarak benzin motorlu taşıtlarda sıkıştırma oran 8:1 ve oktan sayısı 90'dır. Fakat ortalama olarak doğalgaz motorunda sıkıştırma oranı 12:1 ve yakıtın oktan sayısı ROS 130, MOS 105'dir. Oktan sayısı yakıtın kalitesine göre daha da az olabilmektedir.

Yüksek oktan sayısı demek; vuruntunun ortadan kalkması, daha uzun buji ömrü, yağlama yağının daha fazla kullanımı ve soğuk havalarda iyi çalışma demektir. Doğalgaz motorlarında sıkıştırma oranının yüksek tutulması önemlidir. Sıkıştırma oranının artırılması daha fazla ısı verim sağlar. Termik verimin artması yakıt tüketiminde azalma demektir. Sıkıştırma oranında bir değişiklik yapılmadan doğalgazın benzin motorlarında kullanılması durumunda güçte %7' lik kayıp meydana gelecektir. Sıkıştırma oranını artırılması ile motorda benzin yerine doğalgaz yakılması sonucu oluşacak güç kayıplarının üstesinden gelinebilir.

Doğalgaz daha hafif moleküler yapıya sahiptir ve silindire giren havanın %10' u teşkil etmektedir. Hava miktarının azaltılması genellikle güç kaybına neden olurken sıkıştırma oranının arttırılması bu durumu azaltabilir. Ayrıca doğalgazın 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 motorlarının yüksek sıkıştırma oranlarında çalışması ve doğalgazın oktan sayısının yüksek olması nedeni ile sıkıştırma oranının yüksek tutulabilmesinden dolayı, eğer dizel motorlarında uygun değişiklikler yapılırsa, doğalgazın dizel motorlarında kullanılabilir. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir[18].

Doğal gazın korozyif özellikleri yoktur. Fakat bazen dünyada değişik bölgelerde elde edilen doğalgaz içerisinde nem olabilmekte; bu da motoru aşındırıcı etki göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO_x emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir[31].

2.3.2. Doğalgazın egzoz emisyonlarına etkileri

Motorlu taşıtlarda yakıt olarak doğal gazın kullanılmasıyla veya az miktarda devreye ilave edilmesiyle egzoz emisyonlarında azalmalar olmaktadır. Doğalgazın yakıt olarak motorlu taşıtlarda kullanımı, özellikle şehir trafiğinde seyreden, dizel motorlarında NO_x ve HC emisyonlarında azalmalar, benzin motorlarında da CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edecektir. Doğalgazın karbon oranının, diğer petrol yakıtlarına göre, düşük olması egzoz gazlarındaki karbondioksit oranının azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca doğalgaz kullanımı, benzinli taşıtların egzoz emisyonlarındaki zehirli kurşun türevlerini tamamen yok edecektir.

Doğalgazın yakıt olarak kullanılması ile daha iyi bir yanma ve yanma sonucu sıcaklıklarında azalma sağlanır. Bu da CO, HC ve NO_x emisyonlarında azalma olacağını göstermektedir[18].

2.4. Biyogazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

Biyogaz, organik atıkların anaerobik (havasız) ortamda çürütülerek üretilen bir gazdır. Binek araçlarda ve ticari araçlarda yakıt olarak kullanılabilir. Biyogazın yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde organik atıklar, tesislerde çeşitli üretim proseslerinden geçirilerek enerji elde edilmektedir[33]. Biyogaz kırsal kesimde rahatlıkla elde edilip, benzin, dizel, doğalgaz ve LPG yerine kullanılacak alternatif yakıttır. Ancak biyogazın muhteviyatında bulunan hidrojen sülfür su buharı ve karbondioksit' ten dolayı biyogazın motorda kullanımı zordur. Biyogazın partikül emisyonları, LPG, doğalgaz, dizel ve benzin gibi yakıtlardan daha düşüktür. Biyogazın motorda yakıt olarak kullanılması için, biyogaz içeriğindeki metan oranının %97 'ye çıkarılması Hidrojen sülfürün ise 17 ppm' e indirilmesi gerekir[33]. Bu içeriğe sahip bir metreküp biyogaz bir litre benzine denk enerjiye sahiptir. Vuruntu dayanımı 130 oktanın üstündedir ve bu değerle yukarıda bahsettiğimiz gaz yakıtlardan daha üstündür.

2.4.1. Biyogazın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tablo 2.4 Biyogaz Bileşimi[34].

Bileşenler	Hacim (%)
CH ₄ : Metan	40-80
CO ₂ : Karbondioksit	20-50
H ₂ S: Hidrojen sülfür	0.0005-0.0002
NH ₃ : Amonyak	0.0005-0.0001
N ₂ : Azot	0-3
H ₂ : Hidrojen	0-5

Biyogazın içeriğinde metan, karbondioksit, azot, hidrojen sülfür, su buharı ve amonyak bulunmaktadır[32].Biyogazın bileşenleri ve hacimce oranları tablo 2.4’ te görülmektedir.

2.5. Alternatif Yakıt Tiplerinin Karşılaştırılması

2.5.1. Bazı alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından karşılaştırılması

Tablo 2.5 Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması[18].

	BENZİN	HİDROJEN	DOĞAL GAZ
Kimyasal Denklemi	(C ₈ H ₁₈)	H ₂	CH ₄
C/H Oranı	0.556	0	0.25
Moleküler Ağırlığı	91.4	2.02	16.04
Özgül Ağırlığı			
sıvı (kg/dm ³)	0.73	0.07	0.424
Gaz (kg/dm ³)		0.84*10 ⁻⁴	0.78*10 ⁻³
Isıl Değeri			
(MJ/kg)	43.4	119.93	50.8
(MJ/l)	31.8	8.41	20.8
Stokiyometrik karışım için			
Hava/yakıt(kütlesel)	14.7	34.32	17.2
Hava/yakıt(hacimsel)	45.79	2.38	9.53
(kJ/l)	3.78	3.20	3.4
Mol _{ürünler} /mol _{reaktantlar}	1.04	0.85	1.00
Buharlaşma ısısı(mj/kg)	0.272 ^a	0.447	0.509
Tutuşma sınırları % hacim	0.272	0.447	0.509
λ	1.3-7.6	4.1-74	5.5-15.4
	0.29-1.67	0.15-4.35	0.59-2.0
Laminar alev hızı (m/s)	0.37	2.91	0.37
Adyabatik alev sıcaklığı °C	1993	2110	1954
Difüzyon katsayısı (m ² /s)	0.08	0.61	0.16
Kaynama noktası (°C)	32-221	-252.35	-161.3
Donma noktası (°C)	-56	-259	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257	574-591	632
Oktan Sayıları	ROS MOS	91-100 82-94	130 105

Tutuşma sınırları bir yakıtın içten yanmalı motorlarda kullanımında önem teşkil etmektedir. Tutuşma sınırları sayesinde bir yakıtın fakir karışımlarda ve zengin karışımlarda motorda kolaylıkla yanıp yanamayacağı sonucuna varılabilir. Yukarıdaki verilere göre hidrojen gazının farklı hava yakıt karışım oranları için tutuşma sınırlarının çok geniş olduğu ve bunun da hidrojenin motorlarda kullanılması durumunda yarar sağlayacak önemli bir özellik olduğu sonucuna varılabilir.

Benzin motorlarında iyi bir yanma ve yanma sonu basıncı elde edebilmek için karışımın sıkıştırılması ve sıkıştırıldıktan sonra ateşlenmesi gerekir. Sıkıştırılma anında meydana gelen ısı, yakıt ve havayı daha iyi karıştırarak yanmanın düzgün ve kolay olmasını sağlar. Vuruntu nedeniyle Benzin motorlarında sıkıştırma oranı istenildiği kadar arttırılamaz. Doğal gazın vuruntu direnci çok yüksek olduğu için, daha yüksek verim ve performans için doğal gaz ile çalışan motorlarda sıkıştırma oranı benzin motoruna göre daha fazla arttırılabilir. Tblo 2.5 de farklı yakıtların özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Laminar alev hızının yüksek olması benzin motorlarında performans açısından güç ve verim değerlerindeki bir miktar azalmaya neden olur. Hidrojenin laminar alev hızı diğer alternatif yakıtlara göre daha yüksektir[35].

2.5.2. Bazı alternatif yakıtların performansları yönünden karşılaştırılması

Tablo 2.6 Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları[18]

	BENZİN	HİDROJEN	LPG	DOĞALGAZ
Hızlanma 0-100 km/h, saniye	12	18	11	12
Yakıt Tüketimi, litre/100 km	6.9	21.4	7.6	29.4

Yukarıdaki tabloda ABD’de kullanılan alternatif yakıtlara sahip örnek taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin alternatif olarak kullanılabilen yakıtlar arasında LPG en iyi durumdadır.

Tabloda taşıtların menzilleri kriter alınarak da karşılaştırmak mümkündür. Bütün taşıtların 57 litre hacminde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve 1 depo yakıt ile taşıtların ne kadar menzile sahip oldukları belirtilmiştir[18].

2.5.3. Alternatif yakıtların egzoz emisyonu yönünden karşılaştırılması

Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile çok az miktarda oluşan HC' lar egzoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler(NO_x) yüksektir. Hidrojen yakıtlı motorlarda egzoz gazları içerisinde hava kirliliğini etkileyecek tek ürün olarak bulunan NO_x ' lerin miktarı, yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, oksijen konsantrasyonunun ve yanma süresinin kısaltılması sonucu düşürülebilmektedir.

Doğalgazın yakıt olarak motorlu taşıtlarda kullanımı, özellikle şehir trafiğinde seyreden, dizel motorlarında NO_x ve HC emisyonlarında, benzin motorlarında da CO ve HC emisyonlarında azalmalar temin edecektir. Doğalgazın karbon oranının, diğer petrol yakıtlarına göre, düşük olması egzoz gazlarındaki karbondioksit oranının azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca doğalgaz kullanımıyla, benzinli taşıtlardan yayılan zehirli kurşun türevlerinin atmosfere yayılımının önüne geçecektir. Benzin motorlarında ve dizel motorlarında doğalgaz kullanılması durumunda doğal gazın daha fakir karışım aralığında çalışabilmesi nedeniyle yanma sonu sıcaklığı düşmektedir. Bu da NO_x emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Doğal gaz, alternatif yakıtlar içerisinde egzoz emisyonları en düşük yakıttır.

LPG benzine nazaran üniform bir hava – yakıt karışımı sağlayabilmesi ile yanmanın stokiyometrik orana yaklaşması sonucunda egzoz emisyonları oldukça düşüktür.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

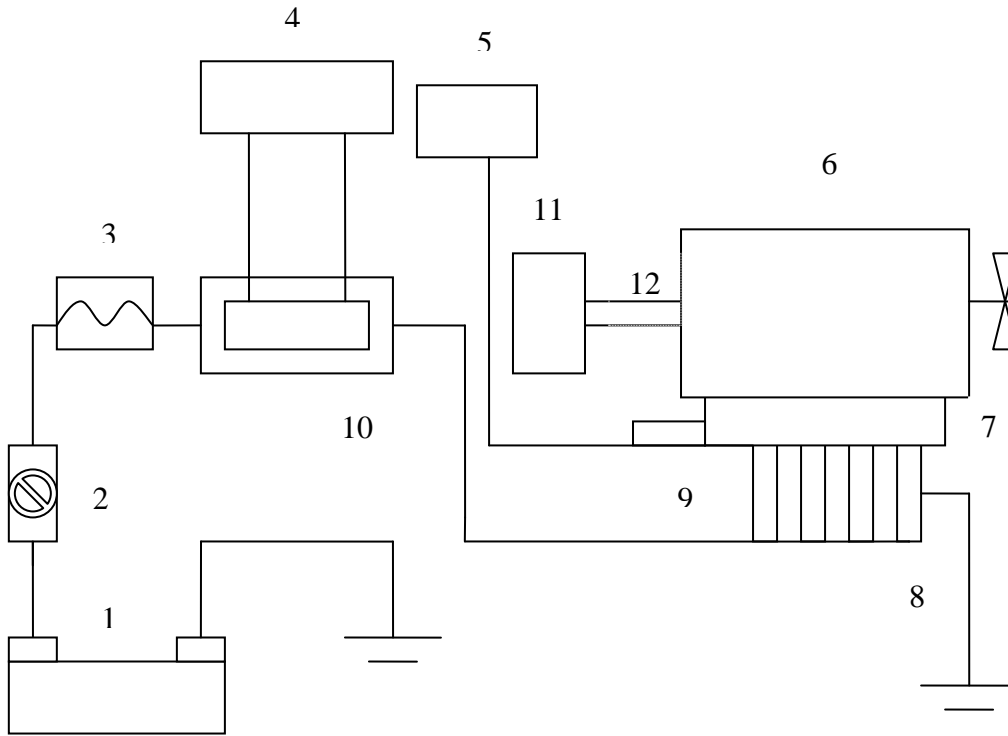
LPG montajı yapılmış buji ateşlemeli motorlarda soğuk hava şartlarında ilk harekete geçişte güçlükler yaşanmakta bunu azaltmak ve emilen hava ve gaz karışımlarını ısıtmak için çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Bu sebeple silindirlere yakın noktalardan delinerek içlerine sızdırmaz şekilde yerleştirilen ısıtıcılar kullanılmıştır. Isıtıcılar termokupl vasıtasıyla kumanda edilmiştir. Motor LPG ile ilk harekete geçirilerek emme manifoldu ısıtılmadan ve manifold sıcaklığı 60 °C olacak şekilde ayarlandığında, rölantide çalıştırılarak HC emisyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır ve Sakarya il merkezindeki LPG istasyonlarında satışa sunulan otopazlar tam yük konumunda 1000 d/d ile 3800 d/d aralığında 1000 d/d' dan itibaren 400 d/d artırılarak motor performans parametreleri açısından her durum için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

3.1. Deney Düzeneği

Motor deneyleri Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 3,1 de deney düzeneğinin gerçek görünüşü, Şekil 3,2' de ise emme manifoldu ısıtma düzeneğinin şematik görünüşü yer almaktadır.



Şekil 3,1 Deney düzeneğinin görünüşü



Şekil 3,2 Emme Manifoldu Isıtma Düzeneğinin Şematik Görünüşü

1. Batarya 2. Kontrol Anahtarı 3. Sigorta 4. DC Dijital Ampermetre 5. Dijital Sıcaklık Göstergesi
6. Deney Motoru 7. Emme Manifoldu 8. Isıtıcılar 9. Termokupl 10. Şönt 11. Dinamometre 12. Şaft

3.1.1. Deney motoru

Deneyleerde dört silindirli, dört stroklu, çok nokta enjeksiyonlu, doğal emişli, su soğutmalı Renault marka bir buji ateşlemeli motor kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan deney motorunun özellikleri sırasıyla Tablo 3.1’ de verilmiştir. Deneyleerde kullanılan motor şekil 3.3’ te görölmektedir.



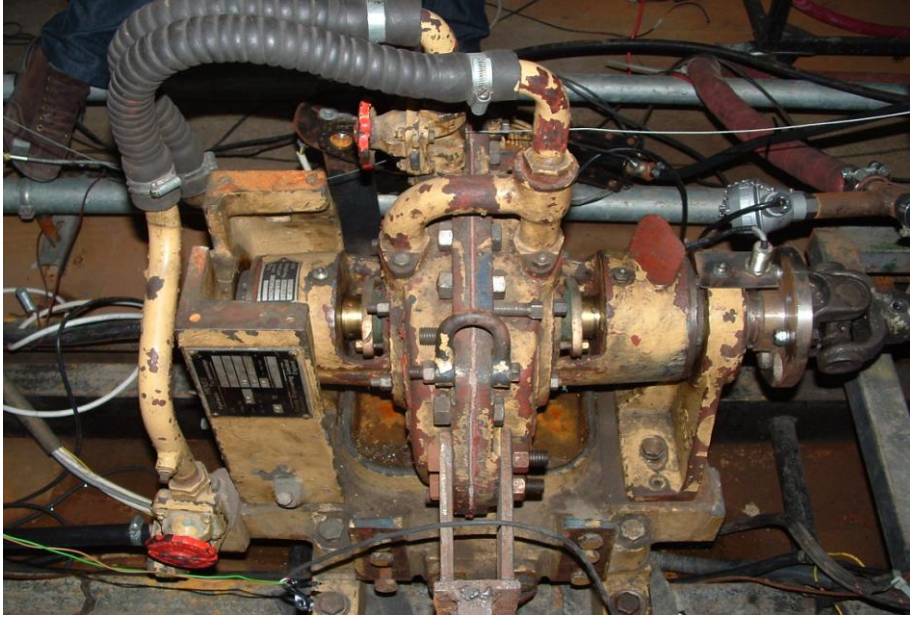
şekil 3.3. Deney motorunun görünüşü

Tablo 3.1 Deney Motorunun Teknik Özellikleri [43]

Marka	Renault
Silindir hacmi (cm ³)	1598
Çap x Strok (mm)	79,5x80,5
Silindir adedi	4
Sıkıştırma oranı	9,5/1
Subap adedi	8
Maksimum güç (kW/bg)	64/90
Maksimum güç devri (d/d)	5500
Maksimum tork (Nm)	128
Maksimum tork devri	3000

3.1.2. Motor tarafından üretilen gücün tespiti

Deneyle sırasında motora bağı şafta akışkan sürtünmesinden yararlanılarak şaftın dönüş yönünün tersine güç uygulayan sabit sönümleme dinamometresi kullanılmıştır. Kullanılan dinamometre Şekil 3.4' te, görülmektedir.



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü

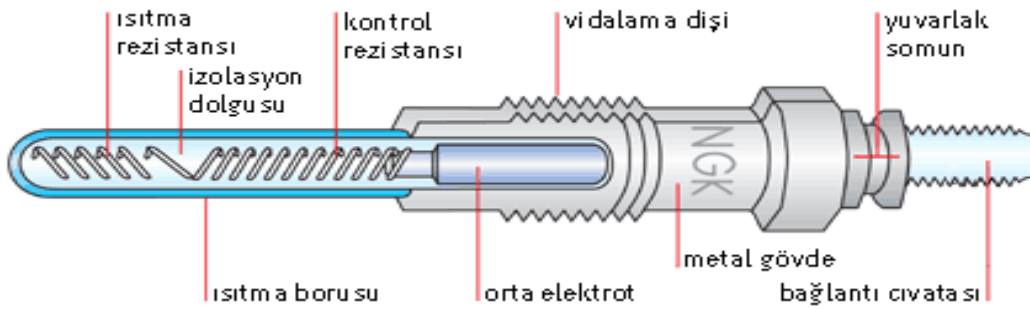
Motorların performans karakteristiklerinin tespiti için motorun yüklenerek çıkış milinden iş alınması gerekmektedir. Yükleme sistemleri “ fren “ adını almakta olup motorun çıkış miline uygulanan kuvvete yük adı verilir. Motorun yüklenmesi sırasında, motorun çıkış miline iletilen güce eşdeğerde bir karşı yük uygulanarak motor frenlemeye çalışılır. Bu frenleme sırasında motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş veya güç bulunabilir. Frenleme momenti direkt olarak ölçülemediği için bu momente tekabül eden kuvvet ölçülerek moment kolu uzunluğu ile çarpılır.

3.2. Kızdırma Bujileri

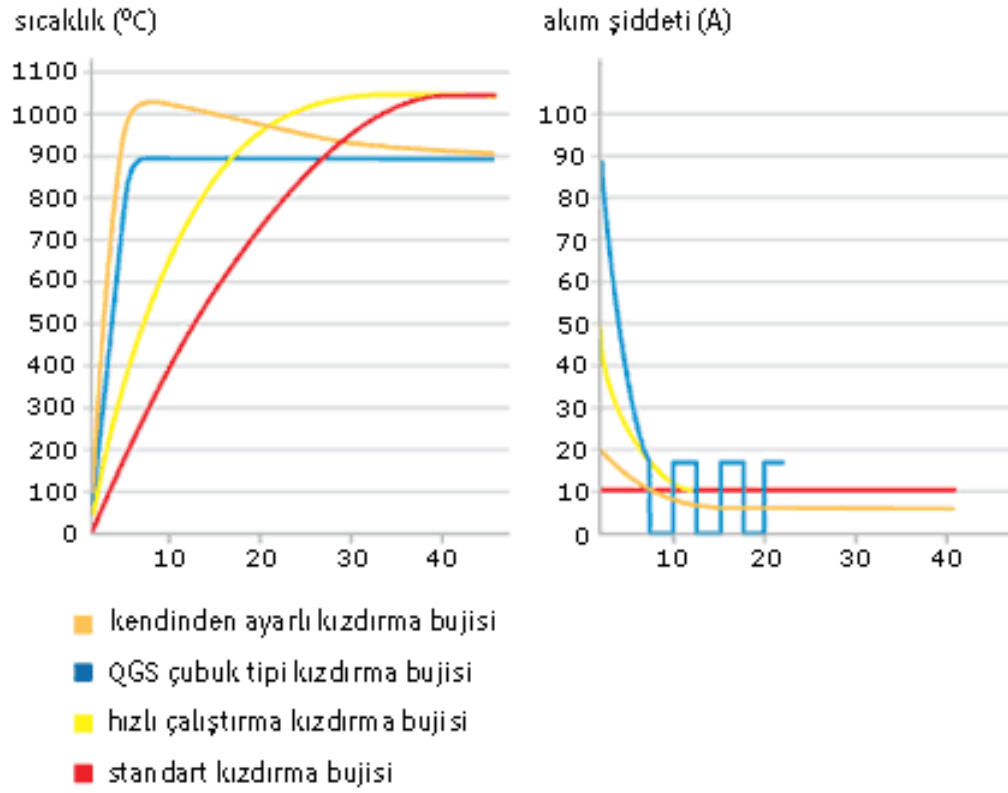
Kızdırma bujileri motor soğukken veya soğuk hava şartlarında motorun çalışması için gerekli sıcaklığa ulaşılmasında motora ek ısı sağlar ve üzerinden ısı iletimi

sağlanır. Kızdırma bujisi bu süreçte prensip olarak su ısıtıcısı gibi çalışır, elektrik bir kızdırma rezistansından geçirilir. Isıtma ve kontrol rezistansları, yüksek sıcaklığa dayanıklı hafif metal alaşımından meydana gelen bir kızdırma çubuğunun içine yerleşiktir. Ortak bir rezistans elemanı teşkil ederler. Isıtma rezistansı kızdırma çubuğunun ön kısmı ile birlikte ısıtma bölgesini oluşturur, kontrol rezistansı ise akım taşıyıcı bağlantı civatasına sabitlenmiştir. Rezistans ile çubuğun arasına yalıtkan toz (magnezyum oksit) konmuştur[44].

Kızdırma çubuğu ısıtma rezistansına, yanma sırasında oluşan karbona karşı belirli ölçüde koruma sağlar. Karbon tortu yapmadığından kısa devre meydana gelmez. Şekil 3.5.'te klasik çubuk tip kızdırma bujisi görülmektedir.



Şekil 3.5. Klasik çubuk kızdırma bujisinin yapısı [44]



Şekil 3.6. Kızdırma bujilerinin zamana bağlı sıcaklık ve akım grafikleri [44]



Şekil 3.7 Kızdırma bujileri emme manifoldu bağlantısı

3.3. Deneysel Çalışma

Deneylere ilk olarak LPG ile çalışan bir buji ateşlemeli motorda soğuk ilk hareket HC emisyonunun tespiti için emme manifoldunu ısıtmadan motoru rölantide 120 saniye çalıştırılarak ölçülmüş daha sonra emme manifoldu 60⁰C ısıtılmış ve 120 saniyelik çalışma sonucunda HC emisyonu ölçülerek standart durum ile karşılaştırılmıştır.

Deneylerin ikinci aşamasında ise Sakarya ili merkezinde satışa sunulan 10 farklı marka otogazın tam yük şartlarında farklılıklarının tespiti içinde 1000 d/d ile 3800 d/d arasında 400 d/d aralıkta 8 farklı devirde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneyler gaz kelebeği tam açık konumda iken 1000, 1400, 1800, 2200, 2600, 3000, 3400 ve 3800 d/d gerçekleştirilmiştir. Ölçüme başlamadan önce motor önce 10 dk. rölantide, daha sonra 2/3 yükte yarım saat çalıştırılarak rejim sıcaklığına getirilmiştir. Frenleme yükü, motor devri ve yakıt sarfiyatı ölçümüne geçilmeden önce motorun kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Motor kararlı hale geldikten sonra ölçüm gerçekleştirilmiştir. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı 70 ⁰C de sabit tutulmuştur. Su debisi rotometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Yakıt sarfiyatı ± 1 g hassasiyetindeki yük hücresi bağlantılı elektronik ölçüm düzeneği ile yapılmıştır.

3.4. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Buji ateşlemeli motorlarda, krank mili devrine bağlı olarak ölçülen güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerine motor karakteristikleri denilir. Değişik yük ve devirlerde bu değerlerde meydana gelen değişimler eğrilerle gösterilir. Bu değişimleri gösteren eğriye karakteristik eğri adı verilir. Bu eğriler motorun gerçek hizmet şartlarındaki performansı hakkında önemli bilgiler verir. Motor performansının tespiti amacı ile yapılan deneysel çalışmalarda doğrudan bulunamayan değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneylerinde ölçülen büyüklükler genellikle döndürme momenti, devir sayısı, yakıt debisi, emme havası debisi, ortam sıcaklığıdır. Bu büyüklükler vasıtasıyla hesaplanan en önemli

performans karakteristikleri ise efektif güç, döndürme momenti ve özgül yakıt sarfiyatıdır[26].

3.4.1. Döndürme momenti ve efektif güç

Değişik uygulamalarla belirlenebilen döndürme momenti ve efektif güç bu çalışmada elektrikli bir dinamometre ile ölçülmüştür. Motor döndürme momenti ve güç hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

Motor tarafından oluşturulan döndürme momenti;

$$M_d = F.l \text{ (Nm)} \quad (3.1)$$

Motor tarafından üretilen güç ve dolayısıyla dinamometre vasıtasıyla yutulan güç açısal hız ile döndürme momentinin çarpımına eşittir;

$$P_e = \omega_n \cdot M_d = \frac{2\pi \cdot F \cdot l \cdot n}{1000} \text{ (kW)} \quad (3.2)$$

Burada;

M_d = Döndürme momenti (Nm),

F = Fren terazi kuvveti (N),

l = Moment kolu uzunluğu (m),

P_e = Efektif güç(kW),

n = Motor devri (devir/s)[41].

3.4.2. Özgül yakıt sarfiyatı

Birim zamanda birim güç başına harcanan yakıt miktarına özgül yakıt sarfiyatı denir. Laboratuar şartlarında bir motorun yakıt sarfiyatını deney tesisatında hacimsel olarak ölçmek mümkündür. Belli çalışma şartlarında motorun Δt (s) zaman aralığında tükettiği yakıtın hacmi ΔV (cm³) olsun. Yakıtın yoğunluğu ρ_y (g/cm³) ise, Özgül yakıt sarfiyatı, b_e :

$$b_e = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e} \quad (3.3)$$

olarak bulunur. Bu denklemde;

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

\dot{m}_y = Kütleli debi (g/s),

ρ_y = Yakıt yoğunluğu (g/cm³),

ΔV = Tüketilen yakıt hacmi (cm³),

Δt = Yakıt tüketme süresi (s)[41].

3.4.3. Efektif verim

Efektif verim, motor milinden alınan işin silindire verilen enerjiye oranı şeklinde tarif edilir ve iş veya güç oranları cinsinden yazılırsa;

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e / t}{Q_T / t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (3.4)$$

eşitliği ile ifade edilir. (3.4) ifadesinden m_y çekilip b_e (g/kW.h) ve H_u (kJ/kg) alındığında,

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^6}{b_e \cdot H_u} \quad (3.5)$$

ifadesi elde edilir[5].

3.5. Emisyon Ölçümü

Emisyon ölçümü için MRU 1600 L marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO₂ ve HC gazlarının egzozdaki miktarlarını yüzde(%) ve ppm (milyonda bir) olarak vermektedir. Ayrıca motor devri ve ortam sıcaklığı da ölçülebilmektedir. Deneylerden önce, gaz analiz cihazı kalibre edilerek bakımı yapılmıştır.

3.6. Maliyet Hesaplamaları Eşitlikleri

3.6.1. Bir saatte katedilen yolun bulunması

Lastik ebadı, motor devri ve güç aktarma organları tahvil oranı verilen aracın saatte katettiği yolun bulunması için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır ve tüm sürtünmeler ihmal edilmiştir.

$$\zeta_o = i_{4v} * i_d \quad (3.6)$$

$$V_{araç} = \frac{n_m * 60 * \pi * R}{\zeta_o} \quad (\text{km/h}) \quad (3.7)$$

$V_{araç}$ = Araç hızı (km/h),

n_m = Motor devri (d/d),

R = Lastik çapı (m),

ζ_o = Çıkış oranı,

i_{4v} = Şanzıman dördüncü vites çevrim oranı,

i_d = Diferansiyel çevrim oranı.

3.6.2. Bir saatte tüketilen lpg miktarının bulunması

Efektif güç, özgül yakıt sarfiyatı ve yoğunluk değerleri kullanılarak aracın saatte tükettiği lpg' nin bulunması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\dot{Y}_{LPG} = \frac{be * Pe}{\rho_{lpg} * 1000} \quad (\text{L/h}), \quad (3.8)$$

\dot{Y}_{lpg} = Saatte litre başına tüketilen yakıt miktarı (L/h),

be = Özgül yakıt sarfiyatı (kg/kWh),

Pe = Efektif güç (kW),

ρ_{lpg} = Lpg' nin yoğunluğu (kg/L)

3.6.3. Bir kilometre için harcanan yakıt miktarının bulunması

Bir saatte katedilen yol ile bir saatte tüketilen lpg miktarının hesaplanmasıyla ortaya çıkan eşitliklerden yararlanılarak bir litre otogaz ile kaç kilometre yol katedilebileceği aşağıdaki formülle bulunabilmektedir.

$$X_{yol} = \frac{\dot{Y}_{lpg}}{V_{araç}}$$

$$X_{yol} = \frac{be * Pe * 10^{-3} * C_o}{\rho_{lpg} * n_m * 60 * R} \text{ (km/L)}, \quad (3.9)$$

X_{yol} = Kilometre başına harcanan yakıt miktarı (km/L)

\dot{Y}_{lpg} = Bir saatte tüketilen LPG miktarı (L/h)

$V_{araç}$ = Araç hızı (km/h),

3.6.4. Litre başına alınan yolun bulunması

$$\psi = \frac{1}{X_{yol}} \text{ (L/km)}, \quad (3.10)$$

Ψ = Litre başına alınan yol (L/km),

X_{yol} = Kilometre başına harcanan yakıt miktarı (km/L).

3.6.5. Otogaz maliyet analizi

Kilometre başına harcanan yakıt miktarı ve birim fiyat baz alınarak otogaz kullanım maliyetleri her marka için aşağıdaki formülle bulunabilmektedir.

$$M_{maliyet} = O_{lböf} * \Psi \text{ (TL/km)} \quad (3.11)$$

$M_{maliyet}$ = Harcanan yakıt miktarı ve birim fiyatına bağlı maliyet (TL/km),

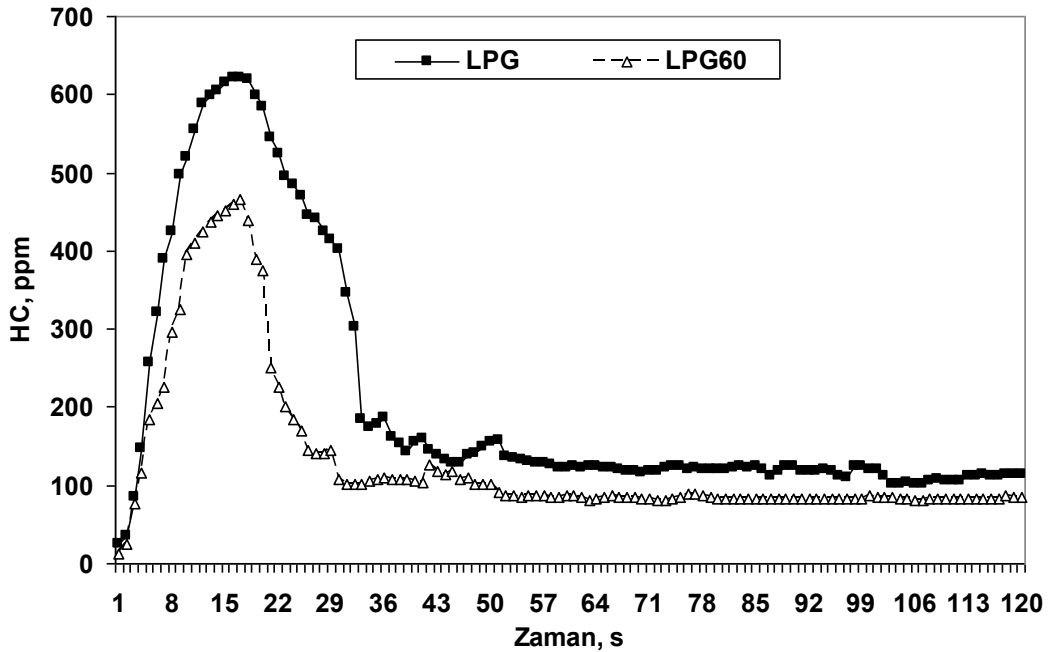
$O_{lböf}$ = Litre başına ödenen fiyat (TL/L),

Ψ = Litre başına alınan yol (L/km).

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Soğuk İlk Hareket HC Emisyonları

LPG ile çalışan bir buji ateşlemeli motorda ilk hareket esnasında 120 saniyelik periyotta standart durum ile emme manifoldunu 60 °C ısıtma sonrasındaki soğuk ilk harekette salınan HC emisyonunun değişim miktarı şekil 4.1.' de görülmektedir. İlk çalışma anından itibaren emme manifoldu ısıtılan motorun emisyon değeri standart motora göre daha düşük seviyelerdedir. Şekil incelediğinde maksimumun HC emisyon değerlerinde ısıtma durumunda standart motora göre % 25 azalma görülmektedir. HC emisyonundaki azalmanın nedeni silindire alınan hava ile gazın ön ısıtma ile homojen bir karışım oluşturmasına katkıda bulunulması ve ayrıca soğuk ilk harekette standart durumun aksine ısıtılmış dolgu alınmasının, yanma verimini arttırmasıdır.

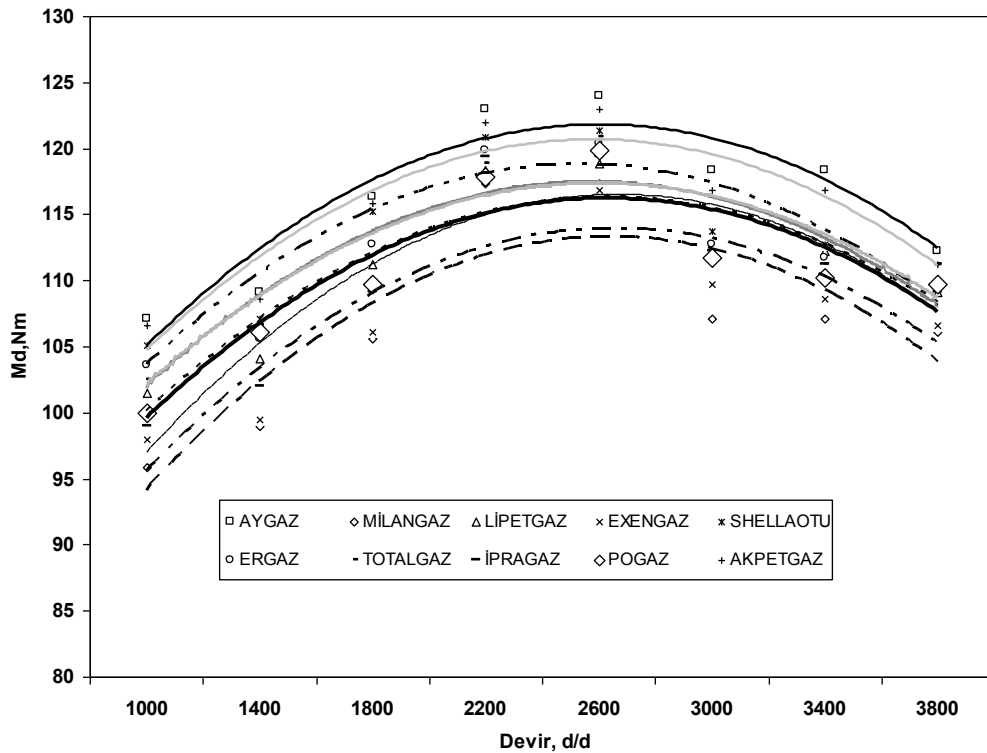


Şekil 4.1. Standart ve Emem manifoldu ısıtılmış motorda soğuk ilk hareket HC emisyonundaki değişimi

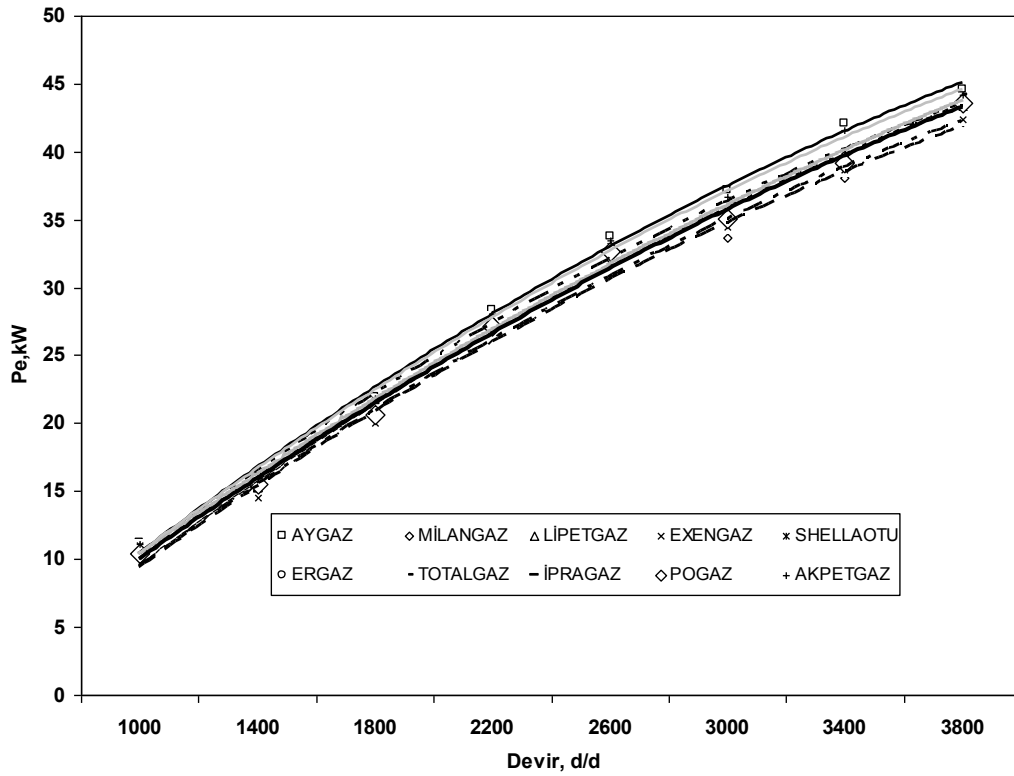
4.2. Döndürme Momenti ve Efektif Güç

Deneilerin ikinci aşamasında Sakarya il merkezinde satışa sunulan 10 farklı marka otogazın tam yük şartlarında motor performans parametrelerine etkisi incelenmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3' te farklı otogazların devire bağlı olarak döndürme momenti ve efektif güç değişimleri görülmektedir. Şekillere baktığımızda her devir aralığında AYGAZ otogazının döndürme momenti ve efektif güç değerleri diğer otogazlara göre yüksek çıkmıştır. Maksimum döndürme momenti AYGAZ yakıtı ile 2600 d/d' da 123,95 Nm olarak ölçülmüştür. Aynı devir için mininum moment değerini 117 Nm ile MİLANGAZ vermiştir.

Otogazlar arasındaki moment ve güç değişimlerine baktığımızda farklı marka otogazların yakıt içeriğinin birbirinden farklı oldukları anlaşılmaktadır. Bu sebeple motor momenti ve efektif güçte farklılıklar olmaktadır. Örnek olarak iki farklı gazı ele alalım. AYGAZ satmış olduğu yakıtta performansı artırıcı katkı maddeleri katarken MİLANGAZ ise yakıtta hiç bir katkı katmadan satışa sunmaktadır. Bu sebeple motordan alınan güç ve moment değerlerinde farklılıklar olmaktadır.



Şekil 4.2. Farklı otogazların devire bağlı olarak moment değişimleri

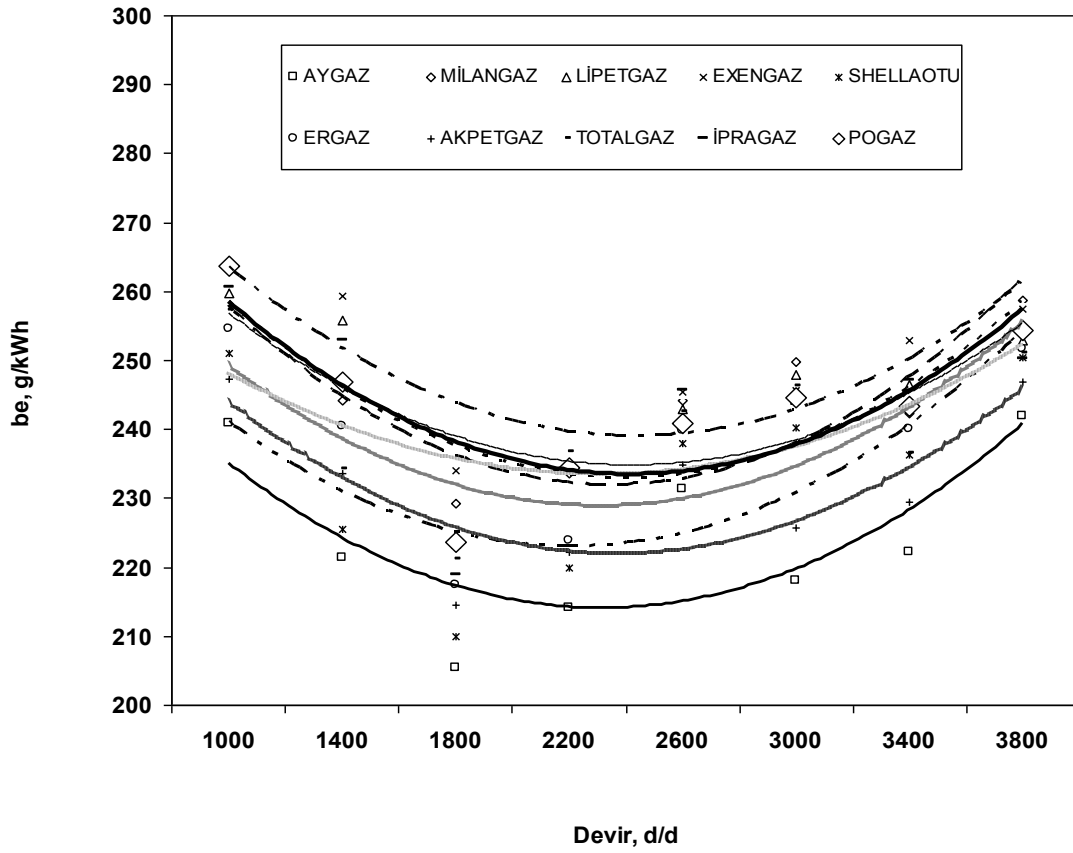


Şekil 4.3. Farklı otoğazların devire bağlı olarak efektif güç değişimleri

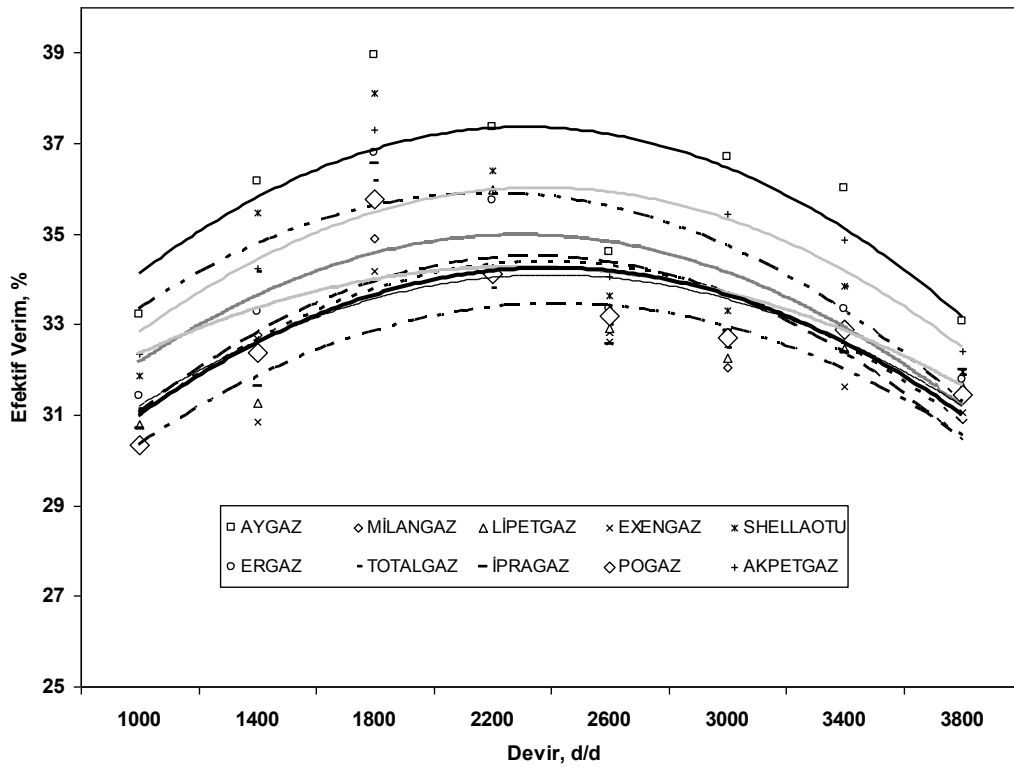
4.3. Özgül Yakıt Sarfıyatı ve Efektif Verim

Şekil 4.4 ve 4.5' te farklı otoğazların devire bağlı olarak özgül yakıt sarfıyatı ve efektif verim değişimleri görülmektedir. Şekil 4.5' e baktığımızda özgül yakıt sarfıyatında minimum değeri AYGAZ yakıtı için 1800 d/d'da 205.3 g/kWh çıkarken aynı devir için maksimum yakıt sarfıyatı 234 g/kWh olarak EXEN gaz vermektedir.

Efektif verim değişimlerine baktığımızda ise maksimum değer AYGAZ' da 1800 d/d % 38,9 çıkarken minimum efektif verim değerini ise aynı devirde % 34 olarak MİLANGAZ vermektedir.



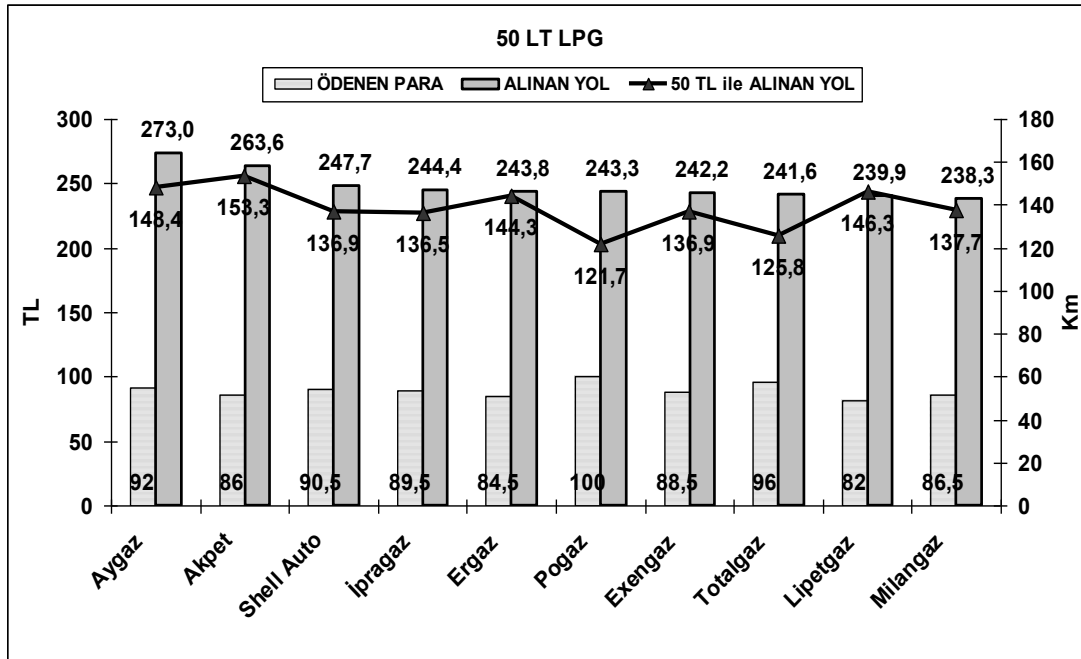
Şekil 4.4. Farklı otogazların devire bağlı olarak özgül yakıt sarfıyatı değişimleri



Şekil 4.5. Farklı otogazların devire bağlı olarak efektif verim değişimleri

4.4. Maliyet Analizi

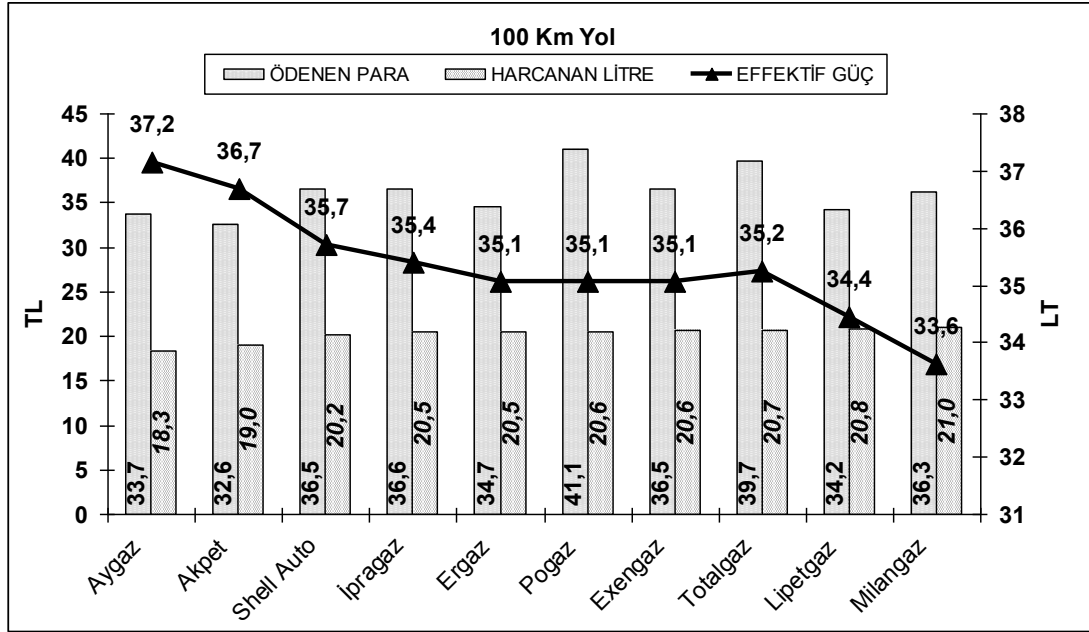
Sakarya il merkezinde satışa sunulan 10 farklı otogazdan 50 litre alındığında katedilebilecek yol ve bunun için ödenen tutar aşağıdaki grafikte verilmiştir. Maliyet hesaplamalarında her markanın 20.09.2010 ila 29.09.2010 tarihleri arasındaki pompa fiyatları baz alınmıştır ve motor tam yükte çalıştırıldığından değerler yüksek çıkmıştır. Şekil 4.6' da görüldüğü gibi AYGAZ' dan alınan 50 litrelik otogazla 273 km yol katedilip bunun karşılığında ödenen bedel 92 TL olurken, MİLANGAZ' la 238 km yol katedilip bunun karşılığında ödenen bedel ise 86.5 TL' dir. Burada ilk etapta MİLANGAZ, ödenen TL cinsinden bakıldığında daha karlı gibi gözüksede katedilen yol açısından bakıldığında AYGAZ' ın MİLANGAZ' dan aynı miktar yakıtla yaklaşık 35 km daha fazla yol katedilebildiği ortaya çıkmıştır. Alınan yolu TL cinsinden ödediğimiz bedel ile karşılaştırdığımızda 50 TL ile en fazla yolun AKPET' in otogazı ile alındığı görülmektedir.



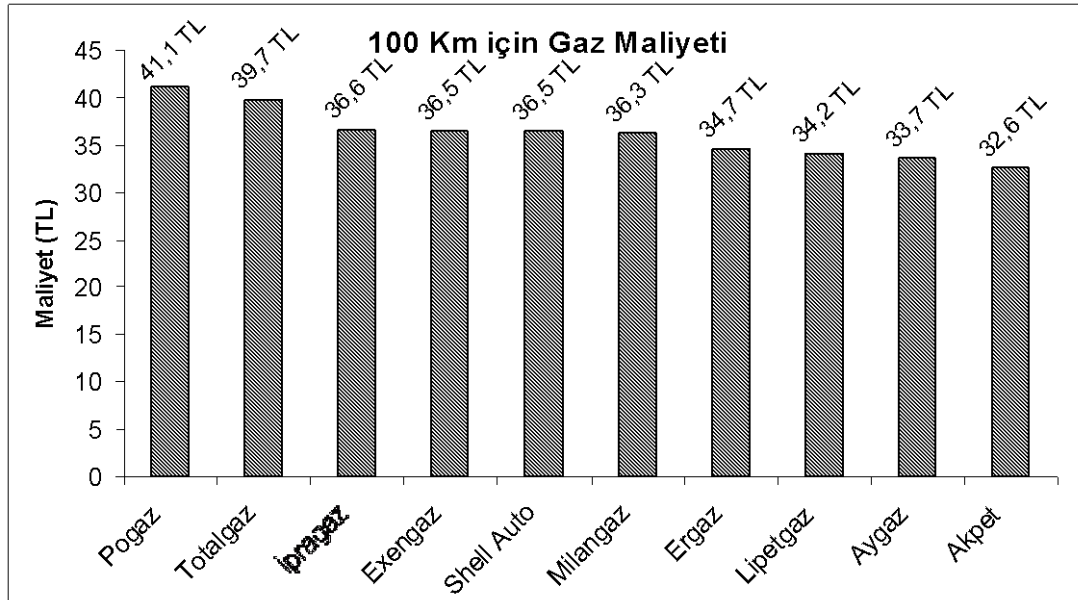
Şekil 4.6. Farklı marka otogazların 3000 d/d ile 50 Litre harcanarak alınan yol ve maliyetlerdeki değişimleri

Şekil 4.7'de 100 km yol için farklı marka otogazların litre ve TL cinsinden değerleri görülmektedir. Şekli incelediğimizde 100 km yolu en düşük maliyetle katetmek için

AKPET' in otogazını kullanmamız gerektiği sonucuna varılmaktadır. Fakat motordan aldığımız güç ise AYGAZ' a göre daha düşük olmaktadır.



Şekil 4.7. Farklı marka otogazlarla 3000 d/d ile 100 Km yol katedebilmek için harcanan yakıt miktarları ve maliyetlerindeki değişim



Şekil 4.8. 100 km' lik mesafe için otogazların maliyetlerine göre sıralanışı

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, soğuk ilk hareket HC emisyonlarını azaltmak amacıyla emme manifolduna yerleştirilmiş kızdırma bujileri vasıtasıyla ön ısıtma yapılarak HC emisyonundaki değişim incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, su soğutmalı, Renault marka, sıralı sistem LPG ile çalışan bir buji ateşlemeli motorda gerçekleştirilmiştir. Motor ilk önce LPG ile ilk harekete geçirilerek rölantide emisyon değeri ölçülmüş, daha sonra emme manifold sıcaklığı 60 °C olacak şekilde ayarlanarak HC emisyonu ölçülerek karşılaştırılmıştır. Daha sonra Sakarya il merkezindeki LPG istasyonların da satışa sunulan oto gazların tam yük konumunda 1000 d/d ile 3800 d/d aralığında 1000 d/d' dan itibaren 400 d/d artırılarak motor performans parametreleri açısından her durum için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

LPG' ile çalışan motorda soğuk ilk hareket HC emisyonlarına bakıldığında emme manifoldu ısıtılmasının rölantide 120 saniyelik periyotta HC emisyonunda pik noktalarda standart motora göre % 25 oranında azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda, tam yük şartlarında, motor performans ve emisyon karakteristikleri açısından oto gazların farklı özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Deneylerde baz alınan tüm devirler için motor özgül yakıt sarfiyatı yönünden 10 farklı marka oto gaz karşılaştırıldığında minimum sarfiyatın AYGAZ' la maksimum yakıt sarfiyatının EXENGAZ' la olduğu tespit edilmiştir. AYGAZ EXENGAZ' dan %10 daha düşük yakıt sarfiyatı sağlamıştır. Döndürme momenti yönünden karşılaştırma yapıldığında, maksimum moment 2600 d/d' da AYGAZ' la 123.95 Nm olarak elde edilmiştir ve en düşük moment ise aynı devirde 117 Nm ile MİLANGAZ' da oluşmuştur. Buradan AYGAZ' la MİLANGAZ' dan %6 daha yüksek moment değerine ulaşıldığı görülmüştür. Efektif güçte ise 3800 d/d' da 44,63 kw ile en yüksek değere AYGAZ ile ulaşılırken en düşük değer ise aynı devirde

42,20 kw ile MİLİNGAZ' la elde edilmiştir. AYGAZ' la MİLİNGAZ' a nazaran % 6 daha yüksek efektif güç elde edilmiştir.

Efektif verim değişimlerine baktığımızda ise maksimum değer AYGAZ' da 1800 d/d' da % 38,9 çıkarken minimum efektif verim değerini ise aynı devirde % 34 olarak MİLİNGAZ vermektedir. AYGAZ' ın MİLİNGAZ' dan %4,9 oranında daha yüksek efektif verime sahip olduğu tespit edilmiştir.

Otogazları kullanım maliyetleri açısından incelediğimizde Sakarya il merkezinde satışa sunulan 10 farklı otogaz markası içinde 100 km yolu en düşük maliyetle katetmek için AKPET' in otogazını kullanmamız gerektiği sonucuna varılmaktadır. Fakat motordan aldığımız güç ise AYGAZ' a göre %1,4 daha düşük olmaktadır.

Deneyler esnasında motor soğukken emme manifoldu ısıtıldığında motorun ilk harekete geçme süresi emme manifoldu ısıtılmamış duruma göre daha kısa ve kolay olduğu görülmüş, ısıtmanın soğuk hava şartlarında belirli bir süre uygulanması durumunda motorun ilk harekete geçme süresinin daha kısa olacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] AYHAN, V., “ Farklı Oranlardaki Metanol-Benzin Karışımlarının Mgo-Zro₂ Bariyer Çemberli Motorda Performans Ve Emisyona Etkisi”, SAÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [2] AYDIN, F., ACAROĞLU, M. “Sıralı Gaz Fazı Lpg Enjeksiyon Sisteminde Taşıt Performansı Ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi.”, 10. Yanma Sempozyumu, s 250-256, 2008.
- [3] SALMAN, M. S., SÜMER, M., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına Etkileri”, Politeknik Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2, S. 27-35, 1999.
- [4] PARLAK, A., “Katalitik Konverterli Benzin Motorunda Soğuk İlk Hareket Emisyonlarının İncelenmesi ”, SAÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 1996.
- [5] SOLMAZ, Ö., KUŞ,RECAİ., IŞIK, H., “LPG’yi Yakıt Olarak Kullanan Motorların Soğukta İlk Hareketini Kolaylaştırmak İçin Tasarlanan Sistemin Deneysel Olarak Araştırılması”, 10. Yanma Sempozyumu, s 464-468, 2008.
- [6] ERKUŞ, B., SÜRME, ALİ, “ Benzin Motorunun Doğal Gaz Performans Optimizasyonu İçin Tasarlanan Test Sistemi” Mühendis ve Makine cilt: 49 sayı: 585 s.18-23.2003.
- [7] [www. Karenlpg.com.tr](http://www.Karenlpg.com.tr)
- [8] ÇETİNKAYA, S. “Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı”, SÜ, TEF, Üniversite Basımevi, Konya, 1998.
- [9] KAYA, M., “LPG Sektörü – Taşıtlarda LPG Dönüşüm Sistemleri ve Karşılaşılan Problemler”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
- [10] <http://web.ttnet.net.tr/users/grupgas/urun1.htm>
- [11] KUTLUK, S., “Benzin Motorunda LPG Kullanımı ve LPG’ nin Özellikleri”,s 26-30, 2003.
- [12] SALMAN, M.S., BATMAZ, I., "Sıvılaştırılmış Petrol Gazı Kullanan Taşıtlarda Performans ve Emisyonlar", GÜ.Tek. Eğit. Fak. Politeknik Dergisi Cilt 1, Sayı 1-2, Ankara,1998.

- [13] İÇİNGÜR, Y., SALMAN, M.S., BATMAZ, I., , "Taşıtlarda LPG Kullanımı", S.Ü.Tek.Eğt.Fak. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya, 1998.
- [14] HEYWOOD, J.H., "Internal Combustion Engine Fundamentals", s 567-620, Mc Graw-Hill International Editionals, 1988.
- [15] AL-HASAN, M., "Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission", Department of Mechanical Engineering, Amman College for Engineering Techonolgy, Al-Balga Apllied Universty, P. O. Box 340558, Marka 11134 Amman, Jordan, Elsevier Science Ltd., PII: S0196 – 8904(02)00166-8, 2002.
- [16] ÜLTANIR, M.Ö., "Temiz Enerji Olarak Hidrojen Yakıtı ve Teknolojisi", Türkiye 7. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt:3, Ankara, 1997.
- [17] VORST, W., D.V., FINEGOLD, J.G., "Automotive Hydrogen Engines, And Onboard Storage Methods", Hydrogen Energy Fundamentals, Miami Beach, Florida U.S.A, 1975.
- [18] ACAROĞLU, M., "Alternatif Enerji Kaynakları", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, Temmuz, 2003.
- [19] STOUT, B. A., "Energy Use and Management in Agriculture", Breton Publishers, Massachusetts, USA, 1984.
- [20] ANONYMOUS, "Bmft", Renewable Energy, Germany
- [21] ACAROĞLU, M., "Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Uygulamaları", Yüksek Lisans Ders Notları, Yayınlanmamış, Konya, 1998.
- [22] VEZİROĞLU, N., "Yeni Enerji Kaynaklarının Birleştiricisi: Hidrojen Enerji Sistemi", Doğa Bilim Dergisi, Atatürk Özel Sayısı, 1981.
- [23] ÖZER, Ü., "Fosil Yakıtlar Yerine Solar Hidrojen, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü", 1. Ulusal Yanma Sempozyumu, G.Ü., Ankara, 1991.
- [24] TEKİN, M., ÇEVİK, İ., "Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı", 5.Otomotiv Yan Sanayi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, MMO Yayınları, No:198, Bursa, 1997.
- [25] SORUŞBAY, C., ARSLAN, E., "Hidrojen Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı", Mühendis Ve Makine Dergisi, Cilt:29, Sayı: 339.
- [26] ÜLTANIR, M.Ö., "21.Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi", Yayın No. Tüsiad-T/98-12/239, İstanbul, Aralık 1998.
- [27] KONDO, T., LİO,S., HİRUMA, M., "A Study On The Mechanism Of Backfire İn External Mixture Formation Hydrogen Engines", SAE Paper No: 971704, 1997.

- [28] GLASSON, N., LUMSDEN, G., DINGLI, R., WATSON, H., "Development Of The Haji System For A Multi-Cylinder Spark Ignition Engine", SAE Paper No: 961104, 1996.
- [29] ÜLTANIR, M.Ö., "Hidrojen Enerjisi ve Türkiye'de Hidrojene Geçiş Sorunları", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliği, Cilt:1, İzmir, 1994.
- [30] UYAREL, A.Y., "Alternatif Yakıt Raporu: Hidrojenle Çalışan Miata", Teknik Gelişim Dergisi, Yıl:3, Sayı:10, 1995.
- [31] DELUCHI, M. A., JOHNSTON, R. A., and D SPERLING, D., "(1988a) Methanol vs. Natural Gas Vehicles: A Comparison of Resource Supply, Performance, Emissions, Fuel Storage, Safety, Costs, And Transitions. SAE, Technical Paper Series No: 881656, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania, United States of America.
- [32] ONURBAŞ, A., "Tarımda Kullanılan Sabit Patlamalı Motorlarda Çeşitli Gaz Yakıtların Kullanımını Sağlayacak Karıştırıcı Geliştirilmesi" A.Ü, F.B.E Doktora Tezi, S 5-7, 1990.
- [33] EYİDOĞAN, M., "Biyogazın Saflaştırılması Ve Motorlu Taşıt Yakıtı Olarak Kullanılması." Mühendis Ve Makine Dergisi, Cilt:49, Sayı: 584, s 18-24, 2008.
- [34] <http://sdb.meb.gov.tr>, Çevre Sağlığı Ders Notları, Biyogaz Kontrolü s 25-26, 2010.
- [35] YILDIRIM, A.M., "Buji Ateşlemeli Motorlarda HC Oluşumuna Neden Olan Mekanizmaların Tanıtımı ve Etkili Parametrelerin İncelenmesi", Yanma ve Hava Kirliliği Sempozyumu III, 1995.
- [36] Richordo, H., Internal combustion engines., İTÜ, İstanbul, 1961.
- [37] Teleflex LPG Dönüşüm Sistemleri Montajı Ve Arızacılığı Servis Eğitim Notları, 2009.
- [38] THOMPSON, N.D., WALLECE, J.S., "Effect of Engine Operating Variables and Piston and Ring Parameters on Crevice Hydrocarbon Emission", SAE 940480, 1994.
- [39] 2A Mühendislik Eğitim Yayınları "LPG" nin Otomobillerde Yakıt Olarak Kullanımı" s 1-36, 1999.
- [40] PARLAK, A., "Aşırı doldurmalı seramik kaplı bir dizel motorunda optimum püskürtme avansı ve sıkıştırma oranının deneysel olarak incelenmesi", SAÜ, FBE, Doktora Tezi, 2000.
- [41] BORAT, O., BALCI, M., SÜRME, A., "İçten Yanmalı Motorlar", Cilt 1, T.E.V. Yayını, Ankara, 1992.

- [42] www.aygaz.com.tr/tr-TR/Otogaz/
- [43] Lider Renault Özel Servis, K7M Arızacılık Katalođu Temel Servis Bilgileri s.54, 1998
- [44] http://www.ngk.de/Cubuk_tipi_kizdirma_bujileri.1893.0.html
- [45] <http://www.sistemotogaz.com.tr/dosyalar/sequent.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Ergin URGANCI 01.01.1980 de Tokat' ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tokat' ta tamamladı. 1997 yılında Tokat Endüstri Meslek Lisesi, Motor Bölümünden mezun oldu. 2000 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Çorum Meslek Yüksek Okulu Otomotiv bölümünü 2002 yılında bitirdi ve aynı yıl Anadolu Üniversitesi Kamu Yönetimi Bölümünü, 2003 yılında da Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünü kazandı, 2007 yılında Otomotiv Öğretmenliği ve 2009 yılında da Kamu Yönetimi bölümlerinden mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nin kordinatörlüğünde Leonardo Da Vinci projesi kapsamında yurt dışında da staj yapmaya hak kazandı. Stajını tamamlayıp Türkiye'ye döndüğü 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı ve halen Nissan Otomotiv Sakarya Yetkili Servisi Çelebi Motorlu Araçlar San.Tic.Ltd.Şti' de Servis Müdürü ve Uzman Teknisyen olarak görev yapmaktadır.