

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LPG KONTROL PARAMETRELERİYLE PERFORMANS
VE EMİSYON DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Erdem HATİPOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Programı

Danışman

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Ekim, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LPG KONTROL PARAMETRELERİYLE PERFORMANS VE EMİSYON
DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Erdem HATİPOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 15.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özgen AKALIN

İstanbul Teknik Üniversitesi



Danışmanım Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan LPG Kontrol Parametreleriyle Performans ve Emisyon Değişimlerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Erdem HATİPOĞLU

İmza



TEŞEKKÜR

Bu tezin yazılması süresince hiçbir desteğini esirgemeyen annem Nalan, babam Ergün, kardeşim Hatice HATİPOĞLU'na, anneannem Gülhayat ve büyükbabam Enver ÇAVUŞOĞLU'na, laboratuvar çalışmaları sırasında en az benim kadar emek veren Ahmet GÜNEY'e ve son olarak gece gündüz, hafta içi hafta sonu demeden bu çalışma ile ilgilenen danışmanım Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ'e sonsuz teşekkürlerimle...

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	7
2 İçten Yanmalı Motorlar	8
2.1 İçten Yanmalı Motorlar Hakkında Genel Bilgiler	8
2.2 Otto Çevrimi.....	8
2.2.1 Emme Süreci	11
2.2.2 Sıkıştırma Süreci.....	11
2.2.3 Genişleme Süreci	11
2.2.4 Egzoz Süreci.....	12
3 LPG	14
3.1 LPG'nin Özellikleri.....	14
3.1.1 LPG'nin Karakteristiği.....	165
3.1.2 Buhar Basıncı.....	16
3.1.3 Alt Isıl Değer	16

3.1.4Yoğunluk.....	16
3.1.5 Viskozite	17
3.1.6 LPG rengi.....	17
3.1.7 Diğer Fiziksel Özellikleri	17
3.1.8 Özgül Isı	17
3.2 LPG Dönüşüm Sistemleri	18
3.2.1 Birinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri	18
3.2.2 İkinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri	19
3.2.3 Üçüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri	21
3.2.4 Dördüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri	21
4 Çalışma	23
4.1 Deney Düzeneği Ekipmanları ve Düzeneğin Kurulumu	23
4.2 Deneyin Yapılışı ve Sonuçlar.....	27
5 Sonuç ve Öneriler	34
Kaynakça.....	35
Tezden Üretilmiş Yayınlar	37

SİMGE LİSTESİ

C	Özgöl Isı
CH ₄	Metan
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Bütan
C _{6,9} H _{14,6}	Benzin
cc	Santimetre Küp
CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO	Karbon Monoksit
CO ₂	Karbon Dioksit
C _v	Özgöl Isı(Sabit Hacimde)
C _p	Özgöl Isı (Sabit Basınçta)
cm ²	Santimetre Kare
d	Devir
dk	Dakika
ft	Fit
gr	Gram
HC	Hidrokarbon
Kj	Kilo Joule
Kg	Kilogram
km	Kilometre
l	Litre
m	Metre
m ³	Metreküp
mbar	Milibar
Mj	Mega Joule
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
N	Newton
NO _x	Azot Oksitler
NO ₂	Azot Dioksit
THC	Toplam Hidrokarbon
P	Basınç
Po	Atmosfer Basıncı
V	Hacim
V _h	Silindir Ölü Hacim
V _H	Silindir Strok Hacmi
W	Watt
° C	Derece Celcius
° F	Derece Fahrenheit
Δ	Delta

KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
Btu	İngiliz ısı birimi
RON	Araştırma Oktan Sayısı
MON	Motor Oktan Sayısı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
ECU	Elektronik Kontrol Ünitesi
PPM	Milyondaki Partikül Sayısı
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Silindir Basınç Hacim Grafiği	9
Şekil 3.1	Birinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemi	19
Şekil 3.2	İkinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemi	20
Şekil 3.3	Üçüncü Nesil LPG Dönüşüm Sist.....	21
Şekil 3.4	Dördüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemi	22
Şekil 4.1	Deney Düzeneği Şeması.....	24
Şekil 4.2	Deney Düzeneği	25
Şekil 4.3	Dinamometre Kontrol Yazılımı	26
Şekil 4.4	LPG Map Haritası	26
Şekil 4.5	OBD Kontrol Programı	27
Şekil 4.6	Torque Pro Programı ve Alınan Verilerin Ekran Görüntüsü	28
Şekil 4.7	Regülatör sıcaklığı-güç değişimi	28
Şekil 4.8	Regülatör sıcaklığı-özellik yakıt tüketimi	29
Şekil 4.9	Regülatör sıcaklığı-lambda değişimi	30
Şekil 4.10	Lambda değişimi	31
Şekil 4.11	Güç değişimi	31
Şekil 4.12	Özellik yakıt tüketimi	32
Şekil 4.13	Karbon emisyonları	33

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Propan-Bütan-Benzin Kimyasal Özellikleri	15
Tablo 3.2 Propan-Bütan Cp/Cv değerleri	18
Tablo 4.1 Deney Motoru Özellikleri	23
Tablo 4.2 AVL Dicom 4000 Emisyon Cihazı Özellikleri	24



LPG Kontrol Parametreleriyle Performans Ve Emisyon Değişimlerinin İncelenmesi

Erdem HATİPOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan Lpg'nin performans ve emisyon üzerine etkileri, bu yakıtın benzine göre tercih edilmesindeki en önemli kısıtlardan olmaktadır.

Bu çalışmada Lpg map ayarının performans ve Karbon emisyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, 4 silindirli bir motor ile saha testleri yapılmış ve gerçek şarttaki veriler toplanmıştır. Daha sonra aynı motor ile deney düzeği hazırlanmıştır. Bu düzenek vasıtasıyla farklı Lpg map ayarlarının performans ve Karbon emisyonu üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lpg, performans, yakıt tüketimi, emisyon

Investigation of Performance and Emission Changes with LPG Control Parameters

Erdem HATİPOĞLU

Department of Mechanical Engineering

Master Science Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

The one of the most important criteria for choosing LPG which is used as an alternative fuel in internal combustion engines, compared to gasoline is performance and emissions.

In this study, the effects of Lpg map setting on performance and carbon emission were investigated. For this purpose, field tests were performed with a 4-cylinder engine and the datas in the actual condition was collected. Then, with the same engine, the test set up was prepared. Through this set up, the effects of different Lpg map settings on performance and carbon emission were investigated.

Key Words: Lpg, performance, fuel consumption, emission

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde, başta taşımacılık olmak üzere, elektrik üretimi ve ısınma ihtiyaçlarının karşılaması gibi birçok alanda ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlarla karşılanmaktadır. 2004 senesi verilerine göre, toplam petrol rezervlerinin yaklaşık $1,54 \times 10^{11} \text{ m}^3$ olduğu ve bu rezervlerin ortalama 50 yıl sonra tükeneyeceği düşünülmektedir[1].

Tüketilen petrolün 1/3'ü 185 kW'dan daha küçük güç kapasiteli otomobil motorlarında harcanmaktadır ve bu motorlar egzoz emisyonları nedeniyle çevre kirliliğinin temel nedenini oluşturmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, taşıtlarda kullanılabilecek alternatif yakıt tipleri konusunda araştırmalar yapılmasını gerektirmiştir[2].

İçten yanmalı motorlarda benzin, motorin gibi geleneksel yakıtlar kullanılmaktadır. Alternatif yakıtlar ise geleneksel yakıtların yerine kullanılan yakıtlara denilmektedir. Motorlarda kullanılan alternatif yakıtlara örnek vermek gerekirse; sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG), sıkıştırılmış doğalgaz (CNG), alkol içeren yakıtlar (Metanol, etanol ve diğer alkollerin saf veya %70'den az olmayan karışımları), elektrik, hidrojen, biyolojik maddelerden üretilen alkol olmayan yakıtlar: ay çiçek yağı, soya yağı diğer bitkisel yağ esaslı yakıtlar sayılabilir [3].

1930'lu senelerde otomotiv sektöründeki petrole alternatif enerji kaynağı arayışları LPG'nin araçlarda yakıt olarak kullanımını gündeme getirmiştir. Özellikle kolay bulunması, ekonomik olması ve diğer yakıtlara oranla çevreyi daha az kirlletici özellikte olması nedeni ile dünyada birçok ülke otomobillerde LPG kullanımını özendirerek yaygınlaştırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde Hollanda, İtalya, Fransa, Belçika, Avusturya, Japonya, Amerika ve dünyanın pek çok ülkesinde LPG yakıt olarak otomobillerde yaygın olarak kullanılmaktadır. LPG, 1985 yılından sonra ülkemizde yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı otomobillerde yaygın bir şekilde alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır[4]. TÜİK verilerine göre ülkemizde 4.5 milyondan fazla LPG dönüşümü yapılmış araç bulunmaktadır[5].

1973 yılında dünya enerji üretiminin 46,2'si petrolden sağlanırken bu rakam 2014 yılında 31,3'e gerilemiştir. Buna ek olarak 1973'te rafinire edilen ham petrolün yalnızca %5,8'i LPG iken 2014 yılında %9,2'ye ulaşmıştır[6].

Türkiye'de, 1986 senesinde doğalgazın ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanılmaya başlamasından sonra motorlu taşıtlarda da doğalgaz kullanımı gündeme gelmiştir. Türkiye de özellikle, 1996 yılından itibaren hızla artan ve genellikle ticari araç sahiplerinin yöneldiği ve alternatif yakıt olarak seçilen LPG kullanımı gündeme gelmiştir. Bu yakıtın seçilmesinin en önemli nedeni günümüzdeki fiyatların benzine kıyasla oldukça düşük olmasıdır. LPG yakıtının egzoz emisyonlarının düşük olmasının seçimde bir kriter olarak etkin rol oynadığı görüşü çok kuvvetli değildir[7].

LPG'nin araçlarda alternatif yakıt olarak seçilmesindeki diğer bir önemli bir etken ise çok detaylı ve karmaşık modifikasyonlara gerek duymayan içten yanmalı motora uygulanabilmesidir. Daha önemlisi LPG yüksek oktan sayısı ve düşük egzoz emisyonlarıyla diğer yakıtlara göre etkili bir alternatif yakıttır[8]. Petder'in 2017 yılında yayınlanan raporuna göre ülkemizde tüketilen 95+97 oktan benzin toplamı 3 milyon metreküp mertebesinde iken Lpg tüketimi 5,6 milyon metreküp mertebesinde[9].

J.A Yamin ve diğerkleri yaptıkları çalışmada, motor tasarımı ve çalışma parametrelerinin ısı kayıpları üzerine etkilerini ortaya koymuşlardır. Sıkıştırma oranını, valf alanını ve hava fazlalık katsayısını arttırmanın ısı kayıplarını azalttığını ancak vuruntu konusuna dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak ise ısı kaybı yüzdesini arttırmanın, tepe basınç ve sıcaklık değerini düşürdüğünden motor gücünü azalttığını belirlemişlerdir [10].

Gümüş M. çalışmasında benzin ve LPG enjeksiyon sistemine sahip benzinli bir motorda LPG kullanım oranının motor performansı, emisyonlar ve yakıt ekonomisi üzerine etkisi incelemiştir. Deneyler tüm LPG kullanım oranlarında egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi açısından benzine göre olumlu sonuçlar vermiştir. Motor performansı açısından ise yalnız %25 LPG kullanım oranında olumlu sonuçlar elde edilmiştir[11].

Sayın C. ve diğerkleri karbüratörden motora yakıt geçişini sınırlayan yakıt memeleri %10 oranında küçültölüp eksik kalan yakıt ihtiyacı karbüratör bileşim braketine konuşlandırılan LPG yakıt nozulu ile sağlamışlardır. Karbüratör ana yakıt memesi %10 oranında küçültölürken; motordan aynı devir ve yük şartlarında her iki yakıtla (benzin, benzin+LPG) çalışma durumunda, aynı gücün elde edilmesi için, LPG nozul çapı ve basıncı hesaplamışlardır. Sonuç olarak; çift yakıtlı çalışma ile özgül yakıt tüketiminde %4, CO'da %13, HC emisyonlarında %5 azalma olduğı sonucuna varmışlardır[12].

Cha-Lee M. ve diğerkleri; buji ateşlemeli, direkt püskürtmeli, düşük verimli benzin + LPG ve sadece benzin ile çalışan motorda düzenlenmiş ve düzenlenmemiş toksit emisyonlarını üzerine yaptıkları çalışmada THC, NOx ve partiküllerde çift yakıtlı motorun daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Çift yakıtlı motorda THC-NOx değerleri %48, partiköl sayısı %99 ve partiköl kütlesi %74 azalmıştır[13].

Boretta A. ve diğerklerinin yayınladıkları makaleye göre %100 LPG ile çalışan uzun mesafe yük taşımacılığında kullanılan Diesel kamyon motoru dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Motor küçük değişiklikler yapılarak buji ateşlemeli hale getirilmiş ve Diesel motoruna denk tork ve güç elde edilmiştir. Bu çalışmaya göre bu dönüşüm ile 1000km'de 300\$ yakıt tasarrufu sağlanmakta, bu sayede dönüşüm maliyeti kısa sürede geri kazanılmaktadır. NO_x, NO₂, CH₄, CO₂ emisyonlarında önemli düşüşler sağlanmaktadır. Bu da dönüştürölmüş sistemleri Diesel'e göre daha çevreci yapmaktadır. Düzenli bakım aralıkları artarak, daha düşük bakım maliyeti ve bakım zamanı sağlamaktadır[14].

Li L. ve diğerkleri LPG ile çalışan buji ateşlemeli küçük bir motorun yanma ve emisyon analizini yapmıştır. Bu çalışma için tek silindirli, 4 stroklu, su soğutmalı 125cc hacminde buji ateşlemeli motosiklet motoru LPG'ye uygun şekilde modifiye edilmiştir. LPG'li motorda benzinli motorun %95'i güç elde edilmiş yani önemli bir güç kaybı yaşanmamıştır. HC ve CO emisyonları büyük ölçüde düşerken NO_x emisyonunda yükselme görölmüştür. Emisyon değerkleri motosiklette yakıt olarak LPG kullanımının sıkı regölasyon değerklerine uygunluk için potansiyeli olduğunu göstermiştir[15].

Mizushima N. ve diğerkleri, %20 ve %100 Propan ihtiva eden LPG ile 4 stroklu motor üzerinde yaptıkları çalışmaları her iki karışımın da benzinli motora göre vuruntu bakımından daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Yanma hızları karşılaştırıldığında en hızlı olan %100 Propan ardından %20 Propan ve en son olarak da benzin gelmiştir[16].

Kaleemuddin S. ve diğerkleri tek silindirli motorda Diesel, Bio-Diesel, LPG ve CNG motor performansı ve egzoz emisyonlarını inceledikleri çalışmaları, B100 Bio-Diesel yakıtının HC emisyonlarının azaldığı ancak NO_x emisyonunun arttığını, var olan Diesel motorunun LPG ile ve CNG ile ayrı ayrı çift yakıtlı olarak sorunsuz

çalıştırabildiğini ve tam gaz performansının sıradan dizelere göre daha iyi olduğunu, %15 daha fazla soğutmaya ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuşlardır[17].

Shivaprasad K.V. ve diğerleri silindirli 4 stroklu motorun saf hidrojen ve LPG ile rölantideki yanma ve emisyon analizini incelemişlerdir. Testler LPG için buharlaşma basıncında ve iki aşamalı olarak silindir basıncından atmosferik basınca düşürülen sıkıştırılmış hidrojen gazı ile gerçekleştirildi. Karşılaştırma için motor öncelikle benzin ardından saf hidrojen son olarak LPG ile çalıştırıldı. Benzine oranla silindir içi basınçlarında hidrojenle %13 artış, LPG’de %4,5 düşüş gözlemlendi. Hidrojenin yanma süresi diğerlerine oranla çok kısaydı[18].

Liguang L. ve diğerleri elektronik kontrol edilen LPG enjeksiyon sistemini küçük hacimli bir motora uyguladılar. Elektronik sistemde hava-yakıt oranı optimize edilerek mekanik sistemdeki aynı HC emisyonu için CO ve NOx emisyonlarında önemli ölçüde azalma sağlandı. Elektronik sistem ile HC emisyonu neredeyse tüm çalışma şartları için 300 ppm değerinin altında, 3000 devir/dk motor devrinde ise 200 ppm değerinin altında elde edildi. NOx emisyonları mekanik sisteme göre 2000 ppm azalarak 2600 ppm değerinin altında kaldı. Son olarak CO emisyonlarında %40’a varan bir azalma ile %3,5 değeri ölçüldü. Bu araştırma LPG kullanılarak çok düşük emisyonlu motosiklet geliştirme şansı olduğunu ortaya koydu[19].

Çınar C. ve diğerleri çalışmalarında Benzinli ve LPG’li motorda farklı valf açıklıkları için performans ve egzoz emisyon değerlerini incelediler. Deney 1700-3200 rpm motor hızında, tam açık gaz keleşinde ve $\lambda=1$ değerlerinde gerçekleştirildi. 7mm valf için LPG’li kullanımda tork ve güç azaldı, özgül yakıt tüketimi arttı. 2600 devir ve LPG’li çalışma şartında tork %8 azaldı, özgül yakıt tüketimi %7 arttı. HC ve CO emisyonlarında düşüş gözlemlendi ancak NOx emisyonu arttı. 8 mm valf ve LPG’li çalışmada ise tork, özgül yakıt tüketimi, HC ve CO emisyonlarında iyileşme gözlemlendi. Düşük motor hızlarında, valf açıklığı artışıyla motor performansı ve egzoz emisyonlarında kötüleşme olduğu görüldü[20].

Suyabodha A. çalışmasında buji ateşlemeli motorda 95 oktan benzin ile LPG kullanımındaki enerji tüketimini gerçek yol şartlarında incelemiş ve şu sonuçları elde etmiştir. Sabit hızda enerji tüketim oranı LPG'de benzine göre daha az olmuştur ancak LPG tüketimi benzine göre daha fazladır. LPG hava ile daha iyi karışabilmektedir ve bu sebeple yanma daha iyi gerçekleşmektedir. Daha yüksek ısı değere sahip olan benzin ani ivmelenmelerde daha iyi sonuçlar vermiştir[21].

Ceviz A. ve diğerleri çalışmalarında buji ateşlemeli motorlardaki LPG sıcaklığının değişimini incelediler. Buna göre LPG sıcaklığının motor performansında ve NO emisyonlarında etkili bir parametre olduğu sonucuna vardılar. Çalışmaya göre, LPG basınç regülatörü çıkışındaki sıcaklık 30-40 0C bandında olmalıdır[22].

Sulaiman M. ve diğerleri tek silindirli buji ateşlemeli motorda LPG kullanımını incelediler. Deney sırasında açık gaz keleşi pozisyonunda %0 ile %100 arasında değişen yük değerlerinde inceleme yaptılar. LPG kullanımının motor performansında bir miktar düşüşe sebep olduğu ancak tüketim miktarlarının LPG tarafında daha az olduğunu ortaya koydular[23].

1.2 Tezin Amacı

İçten yanmalı motorlarda LPG kullanımı halen gelişmeye açık ve gelişmekte olan alanlardan birisidir. LPG ile işletilen araçların büyük çoğunluğu fabrika çıkışlı olarak değil, sonradan LPG'li sisteme dönüştürölerek kullanılan araçlardır. Bu da sonradan ayarlandığı için LPG başlangıç parametrenin önemi bir kat daha arttırmaktadır. LPG başlangıç parametre ayarı doğrudan motor performansına ve egzoz emisyonlarına etki etmektedir.

Bu tezin amacı, LPG başlangıç parametreleri ayarının performans ve karbon emisyonu üzerinde meydana getirdiğı değişimi ortaya koymaktır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada içten yanmalı buji ateşlemeli bir motor LPG ile çalıştırılacaktır. Çalışma esnasında motor başlangıç parametreleri değiştirilecektir. Literatürde başlangıç parametrelerinin performans, egzoz emisyonu ve sarfiyat üzerine yapılan çalışma sayısı yok denecek seviyededir.

Çalışma ile elde edilmesi beklenen durumlar aşağıda sıralanmıştır.

- Motor performans değerlerinde değişiklik
- Karbon emisyonlarında değişiklik
- Yakıt sarfiyatında değişiklik

2.1 İçten Yanmalı Motorlar Hakkında Genel Bilgiler

İçten yanmalı pistonlu motorlar, yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu sıcaklık ve basınçları yükselen yanma gazlarının genişlemesiyle yapılan işi piston, biyel ve krank mili mekanizmasıyla mekanik işe dönüştürmektedir. Gaz türbinlerini, jet, Otto, Diesel ve Wankel motorlarını bu grup motorlara örnek olarak gösterebiliriz. Bu motorlarda çalışma maddesi olarak direkt basıncı ve sıcaklığı yükselmiş olan yanma ürünleri kullanılmaktadır.

Günümüzde pistonlu içten yanmalı motorlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu motorlarda yanma sonucu elde edilmiş yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlar piston yüzeyine etki eder ve onu harekete geçirir. Bu grupta olan Otto ve Diesel motorlarında piston hareketi doğrusaldır ve krank-biyel mekanizması yardımı ile dönme hareketi elde edilir. Termik motorlar arasında en fazla uygulama alanı bulan içten yanmalı pistonlu motorlardır. Bunun sebebiyse bu motorların toplam verimi daha yüksektir. Örneğin; Diesel motorunun toplam verimi: 0.40-0.50; buhar makinesinin toplam verimi: 0.16, buhar türbini toplam verimi: 0.28, Gaz türbini toplam verimi: 0.35 mertebelerindedir.

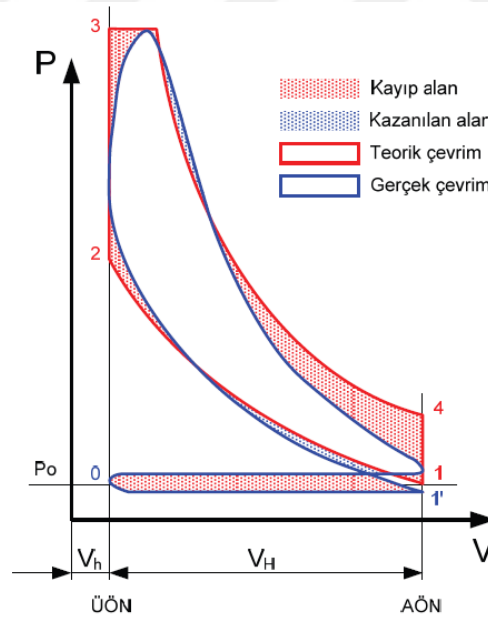
Buji ateşlemeli motorlar, 4-stroklı ve 2-stroklı olarak iki gruba ayrılabilirler. Aynı zamanda benzin motoru olarak da adlandırılmaktadır. Dört stroklı motorların kullanım alanı çok daha geniştir. Dört stroklı motorlar özellikle karayolu taşıtlarında tercih edilmektedir.

2.2 Otto Çevrimi

Otto çevrimine göre çalışan motorlar aynı zamanda kıvılcım ateşlemeli veya benzin motoru olarak da adlandırılmaktadır. Motorda yanma, yakıt-hava karışımının, ateşleme sistemi tarafından tutuşturulmasıyla başlar. Ateşleme sisteminde her silindir için kısa süreli yüksek gerilim üretilmekte ve kam milinden hareket alan bir

dağıtım makarası ile veya elektronik olarak yüksek gerilim ateşleme sırası gelen silindirin bujisine gönderilmektedir. Motorun yağlanması kam milinden veya krank milinden hareketini alan dişli yağ pompası ile sağlanmaktadır. Yağlama yağı alt karterde toplanmakta ve yağlama pompası tarafından buradan emilmektedir.

İçten yanmalı bir motordaki silindirin içinde gerçekleşen çevrim çok karmaşık bir olaydır. Öncelikle, hava veya hava-yakıt karışımı silindire alınır. Bu anda silindir içinde az da olsa önceki çevrimin artık gazları da vardır. Bu karışım daha sonra sıkıştırılır ve yakılır. CO₂, H₂O, SO₂ ve N₂ yanma sonucu ortaya çıkan egzoz ürünlerinin başlıcaları olmakla beraber diğer düşük yüzdeli bileşikleri de içerir. Genişleme strokun'dan sonra egzoz supabı açılarak karışım dışarı atılır. Gerçek çevrim bileşimleri değiştiği için incelenmesi oldukça zordur. Bu komplike çevrimleri daha anlaşılır ve yorumlanabilir hale getirmek için gerçek motor çevriminde bazı kabuller yapılmaktadır. Bu kabullerle ideal bir standart-hava çevrimi haline basitleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Silindir Basınç Hacim Grafiği

Gerçek motor çevrimi standart hava (teorik) çevriminden farklı olarak emme, sıkıştırma, tutuşma ve yanma, genişleme ve egzoz olmak üzere beş süreçten oluşan açık çevrimdir. Bu sebeple gerçek motor çevrim iş alanının ile standart hava (teorik)

çevrim iş alanı arasında bir fark meydana gelmektedir. Teorik çevrimden farklı olarak piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya hareket ederken silindir içerisinde oluşan eksi basıncın etkisiyle dış ortamdan silindire taze dolgu emilir. Piston hızının yüksek ve emme supabı dolgu geçiş alanının dar olması nedeni ile ve emme sisteminde oluşan basınç kayıpları, emme basıncını dış ortam basıncının altına düşürür. Aynı şekilde egzoz supabı kesit alanı ve egzoz sistemin direncin etkisi ile yanmış gazların dış ortama atılması daha yüksek basınçta olur.

Yüksek basınç ve sıcaklıktaki artık gazların bir bölümü silindirde kalır ve emilmekte olan taze dolgu ile karışması sonucunda taze dolgunun ısınmasına neden olurlar. Artan taze dolgu sıcaklığı sonucunda kütsel olarak silindirlere girebilen taze dolgu miktarı azalır.

Sıkıştırma ve genişleme süreçleri, çevrimin tersinir olmaması ve gaz ile silindir cidarları arasında çevrim boyunca oluşan karşılıklı ısı transferi sonucunda izentropik olarak gerçekleşmemektedirler. Sıkıştırma sürecinin ilk kısmında cidarlardan gaza doğru olan ısı iletimi ve genişleme sürecinin ilk kısmında devam etmekte olan yanmanın etkisi ile çevrim iş alanında mavi ile taranmış olan alan kadar bir iş kazancı meydana gelmektedir. Devamında ise sıkıştırma sürecinde ısı iletimi gazdan cidara doğru olacak şekilde yön değiştirmesi ile üst ölü noktadan önce yanmanın başlamış olması ve genişleme sürecin başlarındaki yanma yoğunluğun azalması ve yüksek sıcaklıktaki gazlardan silindir cidarlarına doğru olan ısı iletimin etkisinin artması ile çevrim iş alanında kırmızı ile taranmış alan kadar iş kaybı meydana gelir.

Standart hava çevriminde yanma yerine sabit basınçta ve sabit hacimde gerçekleşebilen ısı sokumu kullanılarak sisteme ısı verilmektedir. Gerçek motorlarda ise sistemin ısı artışı yanma sonucunda meydana gelmektedir. Yanmanın sabit basınçta ve sabit basınçta tam olarak gerçekleşememesi sonucunda faydalı iş alanında kayıplar meydana gelmektedir.

Standart hava çevrimi sistemden sabit hacimde ısı çekerek tamamlanır. Gerçek motor çevriminde ise çekilmesi sıcak yanmış gazların dış ortama atılması ile gerçekleşir. Bu gazların sabit hacimde ve sonsuz hızda dış ortama atılması imkansız olduğundan faydalı iş alanında bir kayıp oluşur.

2.2.1 Emme Süreci

Dört stroklu motorlarda birinci strok emme strokudur ve bu strokta silindire taze dolgu dolar. Emme sürecin büyük bir kısmı bu strokta gerçekleşir. Emme süreci 220 – 280 derece krank açısı kadar bir sürede tamamlanırken emme stroku ise 180 derece krank açısıdır. Anlaşılacağı gibi emme süreci emme stroğundan daha uzundur, çünkü emme süreci egzoz stroğunun sonlarında emme supabın açılması ile başlar ve sıkıştırma stroğu başlarında emme supabın kapanması ile sona erer.

Emme süreci termik, hidro mekanik ve motor konstrüksiyonu gibi faktörlere bağlıdır. Motorun diğer parametrelerin aynı kalmak şartı ile silindir içerisinde bulunan taze dolgu yanabilecek yakıt miktarını ve bunun sonucunda silindirden elde edilecek olan işi belirlemiş olur. Motor gücünü artırmak ve motor ağırlıklarını azaltmak için bu iş mümkün olan en büyük değerde olmalıdır. Bunu sağlamak için silindirlere mümkün olan maksimum miktardaki taze dolguyu emilmelidir.

2.2.2 Sıkıştırma Süreci

İçten yanmalı pistonlu motorlarda gerçek sıkıştırma süreci emme supabının kapanmasından(emme supabı alt ölü noktadan sonra bir gecikme ile kapanır) yanmanın başlamasına kadar (yanma üst ölü noktadan önce bir avansla başlar) geçen süre olarak tanımlanır. Bu tanıma göre derece krank mili açısı olarak sıkıştırma süreci, sıkıştırma stroğundan daha küçüktür.

İçten yanmalı motorlarda yapılan bu ön sıkıştırma sonucunda; iş çevrimin sınır sıcaklıklar arasındaki fark artar, gerçek şartlarda maksimum genişleme sağlanır, yakıt-hava karışımının yanabilmesi için en uygun şartlar oluşturulur ve bunların sonucunda da ısı enerjisinin faydalı işe dönüştürülmesi yüksek bir verimle gerçekleşir.

2.2.3 Genişleme Süreci

Genişleme sürecinde yanma sonucunda meydana gelen ısı enerjisi mekanik işe dönüşür. Genişleme başlangıcı olarak maksimum basınca ulaşıldığı an kabul edilir. İdeal çevrimde genişleme prosesinin adyabatik olduğu kabul edilir. Genişleme süreci sıkıştırma sürecine göre daha komplikedir, çünkü bu süreçte yoğun yanma ve

gazdan cidara doru olan ısı iletimi aynı anda ve mertebe olarak sürekli değişerek devam etmektedir. Yüksek gaz basıncı sebebiyle gaz kaçakları daha fazladır. Bu olayların etkisi ile genişleme sonucu basınç ve sıcaklıkta olması gereken değişimler daha farklı olarak gerçekleşir. Yanma prosesi maksimum sıcaklığa ve basınca ulaştıktan sonra da devam eder. İş gazının sıcaklığı, silindir cidarlarının sıcaklıklarından daha yüksektir ve bu nedenle genişleme süreci boyunca gazdan cidara doğru ısı akışı olur. Fakat bu ısı akışı, sıcaklık farkının ve ısı transfer alanının sürekli değişiminin sonucunda her an farklıdır. Genişlemenin başında gaz ve cidar sıcaklıklar arasındaki fark en yüksektir buna karşı ısı transfer alanı en düşük seviyededir. Daha sonra ısı transfer alanı artar iken gaz ve cidar arasındaki sıcaklık farkı düşer, anlaşılacağı gibi oldukça karmaşık bir ısı transferi söz konusudur. Genişleme başında gaz basınçları da en yüksek mertebede olması nedeni ile gaz kaçakları da en fazladır bu da genişleme sonucu oluşması gereken basınç ve sıcaklıkları önemli oranda etkiler.

Anlaşılacağı gibi, genişleme sürecinde yanmanın devam etmiş olması, gaz ve cidar arasında sürekli ve değişken ısı transferin olması ve gaz kaçakları gibi olaylar genişlemenin adyabatik olarak gerçekleşmesini engellemektedirler.

2.2.4 Egzoz Süreci

Dört stroklu motorlarda egzoz süreci, genişleme stokun sonlarına doğru egzoz supabının avansla açılması ile başlar ve emme stroğunun başlarında egzoz supabının gecikme ile kapanması ile biter. Egzoz gazların dış ortama akış nedenlerine bağlı olarak egzoz sürecini üç periyoda ayırmamız mümkündür. Birinci dönem egzoz supabının avansla açılması ile başlar ve pistonun alt ölü noktaya gelmesi ile biter. Bu periyotta egzoz gazları silindir iç basıncı ve egzoz sistemi basıncı arasında oluşan basınç farkının etkisi ile dış ortama akarlar. Silindir iç basıncının, egzoz sistemi basıncına oranı kritik basınç oranından büyük olması halinde, yanmış gazların akışı da kritik hız değerlerin üstünde değerler gösterir.

İkinci dönem alt ölü noktada başlar ve üst ölü noktaya kadar devam eder. Bu periyotta egzoz gazları pistonun yapmış olduğu süpürme etkisi ile dış ortama atılırlar.

Üçüncü dönem üst ölü noktada başlar ve egzoz supabının kapanması ile sona erer. Bu periyotta ΔP sıfırdan büyük olduğunda, gaz akışı, gazların atalet kuvvetlerinin etkisi ile olur.



3.1 LPG'nin Özellikleri

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), ham petrol arıtımının ürünü veya ham petrolden ayrıştırılarak elde edilir. Bu nedenle benzin ve fueloil gibi petrol ürünleri ile yakından ilişkilidirler. Bunlar, molekülleri çeşitli kombinasyonlarda karbon ve hidrojen atomlarından oluşan hidrokarbon bileşikleridir. LPG normalde propan (C_3H_8) ve bütan (C_4H_{10}) karışımları olarak pazarlanmaktadır. Oranları, uygun iklim koşullarına uyacak şekilde (tanımlanan sınırlar dahilinde) buhar basıncını kontrol edecek şekilde değiştirilir. LPG normal sıcaklıklarda gaz olmasına rağmen nispeten düşük basınç uygulayarak sıvılaştırılabilir ve bu nedenle basınçlı kaplarda normal sıcaklıklarda sıvı halde depolanabilirler. Basınç serbest bırakıldığında yine gaz haline gelirler. LPG aynı zamanda atmosfer basıncında soğutma ile sıvılaştırılabilir, ancak bu yöntem büyük gemilerde taşınması için uygundur. Standart oda sıcaklığında ve basıncında propan gaz hacminin sıvı hacme oranı yaklaşık 270: 1'dir ve bütan için bu rakam 230: 1'dir. Bu nedenle, yüksek kalorili gazların büyük miktarları, oldukça kompakt saklama kaplarından tedarik edilebilir. Bu, LPG'yi yüksek kaliteli bir gaz yakıt için talebin bulunduğu her yerde cazip hale getirir ve LPG uygulamaları yerel, otomotiv, ticari ve endüstriyel pazarlarda bulunur.

Tablo 3.1 Propan-Bütan-Benzin Kimyasal Özellikleri

ÖZELLİKLER	PROPAN	BÜTAN	BENZİN
Kimyasal formül	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _{6,9} H _{14,6}
Sıvı fazın özgül ısısı (kJ/kg ⁰ C)	1366	1276	----
37,8 °C buhar basıncı (bar)	12,1	2,6	0,5-0,9
R.O.N (Araştırma oktan sayısı)	111	103	96-98
M.O.N (Motor oktan sayısı)	97	89	85-87
Buharlaştırma gizli ısısı (kJ/kg)	426	385	300
Buhar basıncı (200 °C, kg/cm ²)	20,18	1,2	0,49-0,81
Buhar basıncı (500 °C, kg/cm ²)	20,18	4,85	----
Teorik eşdeğerlik katsayısı	1,38	1,22	1
Parlama noktası (°C)	-105	-60	200
İzafi yoğunluk (hava=1)	1,55	2,09	----
Tutuşma noktası (havada °C)	493-546	482-538	----
Alev sıcaklığı (havada °C)	1980	2008	1977
Alt ısı değeri (Mj/l)	23,4	26,5	32,3
Alt ısı değeri (Mj/kg)	46,1	45,5	44,0
Kaynama sıcaklığı (°C)	-42	-0,5	30-225
Normal koşullardaki fiziksel hali	Gaz	Gaz	Sıvı
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	15,1/1	15,0/1	16,1/1
Stokiyometrik karışımın kimyasal	3450	3490	3580
Donma noktası (°C)	-187,8	-138,8	----

3.1.1 LPG'nin Karakteristiği

Gaz halindeki LPG yüksek yoğunluk, yüksek kalorifik değer ve yüksek saflık özelliklerine sahiptir, çünkü tamamen hidrokarbonlardan oluşur ve ihtiva ettiği kükürt miktarı neredeyse sıfırdır. Havagazına göre, alev hızı daha yavaştır ve havayla karışımlardaki daha düşük alevlenme sınırları vardır. Bu etmenler brülörlerin ve LPG cihazlarının tasarımını etkiler ancak belirli bir zorluk oluşturmazlar.

Ağırlık bazında propanın ve bütanın buharlaştırılmasının gizli ısıları benzerdir - sırasıyla 15 ° C'de 358 ve 372 kJ / kg'dir - ve her yakıtın kalorifik değerinin yaklaşık % 0.75'ine eşdeğerdir. Buharlaştırma için gerekli olan ısı sadece yapay bir ısı

kaynağı (buharlaştırıcı gibi) kullanılmadığı sürece sıvının kendisi veya kabın duvarları boyunca iletimi ile sağlanabilir. Depolama kabındaki gaz dolduğunda, sıvı ile temas eden duvarın yüzey alanı giderek azaltılır. Bunun sonucunda, sıcaklığın çevredeki atmosferden emilebileceği oran da azalır ve bu gazın evrimleşebileceği oranda bir sınır oluşturur. LPG'nin kaynama noktası ne kadar düşük olursa (ve bu nedenle buhar basıncı o kadar yüksek olur) belli bir sıcaklıkta potansiyel emisyonu artar ve belirli bir çıkış basıncı için tolere edilebilen depolama tankı duvarı boyunca sıcaklık farkı o kadar yüksek olur.

3.1.2 Buhar Basıncı

Buhar basıncı bir sıvının belirli bir sıcaklıkta sıvının kendi buharıyla dengede kaldığı basınç olarak tanımlanır. Oda sıcaklığında gazın maruz kaldığı basıncı belirlediğinden LPG'nin en önemli özelliklerinden biridir ve bu nedenle depolama tanklarının taşıma gereksinimlerini ve tasarım çalışma basınçlarını etkiler.

Sıvının kaynama noktası, buhar basıncının uygulanan basınca eşit olduğu sıcaklıktır; dolayısıyla belirli bir sıcaklıkta bir sıvının buhar basıncı ne kadar yüksek olursa, kaynama noktası o kadar düşük olur. Ticari propan ve ticari bütan arasındaki ana fark, buhar basıncında yatmaktadır. Ticari propan daha yüksek buhar basıncına sahiptir ve dolayısıyla belirli bir sıcaklıkta daha düşük kaynama noktasına sahiptir; bu nedenle doğal buharlaştırmanın kullanıldığı yüksek oranlar için propan tercih edilir.

3.1.3 Alt Isıl Değer

Bu, bir gazın birim hacminin (veya birim kütle) standart bir sıcaklık ve basınçta yakıldığında açığa çıkan ısı miktarı olarak tanımlanır. Genellikle 60 ° F ve 30 Hg'da Btu / ft (yani standart kübik ayak başına) cinsinden ifade edilir veya 15 ° C ve 1016 mbar'da KJ / m 'cinsinden ifade edilir; yanma prosesinde üretilen su buharının gizli ısını içerir.

3.1.4 Yoğunluk

Bir sıvının yoğunluğu ağırlığının aynı sıcaklıktaki eşit su hacmine oranı olarak tanımlanır. Sıvı propan ve sıvı bütan yoğunluğu, suyun yaklaşık yarısı kadardır ve

belirli bir depolama kabında taşınabilen ürünün azami ağırlığına dayanılarak yapılan hesaplamalara göre daha büyük hacimler hesaba katılmalıdır. Bir gazın yoğunluğu, aynı sıcaklık ve basınçtaki ağırlığının eşit bir hacimdeki ağırlığa oranıdır.

3.1.5 Viskozite

Hem bütan hem de propan düşük viskoziteye sahiptir. Bu contalar ve diğer bağlantıların değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. LPG'nin suyun ve çoğu diğer petrol ürünlerinin güvenli bir şekilde tutulacağı sistemlerden sızıntı yapması muhtemeldir. Ayrıca zayıf yağlama özellikleri vardır.

3.1.6 LPG Rengi

LPG herhangi bir noktadan sızdığında ortaya çıkan bulut beyazdır, ancak bu ürünün rengi değildir. Daha önce de açıklandığı gibi buharlaşan LPG ile havadan yoğunlaştırılmış soğutulmuş su buharıdır.

3.1.7 Diğer Fiziksel Özellikleri

Sıvılaştırılmış petrol gazı anestetik özelliklere sahiptir, ancak toksik değildir. Yani zehirli bir gaz değildir ancak boğulmaya neden olabilirler. Havadan ağır olmaları sebebiyle havanın yerini almaya meyillidir ve kaçak halinde büyük miktarlarda birikebilirler. Çevredeki herhangi birinin solunumunu etkilemek için yeterli oksijen eksikliğine neden olabilirler. Bu tür birikimler genellikle kolay farkedilmez, çünkü LPG'ler renksizdir. Bu nedenle bazı özel uygulamalar haricinde bir sızıntı oluştuğu anda LPG'nin fark edilebilmesi için LPG'ye farklı bir koku verilmelidir. İngiliz Standart Şartnamesi BS 4250: 1987 Bölüm 1 ve 2'ye göre havanın beşte biri konsantrasyonlarında algılanmasını gerekir.

LPG, su ile kirlenmemelidir. En belirgin tehlike depolama kaplarının su ile korozyona uğramasıdır. Propan, buhar basıncının daha büyük olması nedeniyle ve bir regülatörden geçerken daha yüksek basınç düşüşü nedeniyle, bütan yerine hidrat oluşumu için daha büyük bir potansiyel sağlar. Bu nedenle, propan kalite özellikleri genellikle nem içeriğini belirleyen bir test içerirken, bütan sadece serbest suya ihtiyaç duyar.

3.1.8 Özgöl Isı

Özgöl ısı bir maddenin 1 kg'nın sıcaklığını 1 K arttırmak için gereken ısı olarak tanımlanır. C notasyonu ile gösterilir ve birimi(J/K.kg)'dir. Sabit hacimde gerçekleşen proses için C_v , sabit basınçta gerçekleşen proses için C_p ile gösterilir. Aşağıdaki tabloda farklı sıcaklıklar için C_p/C_v tablosu gösterilmektedir.

Tablo 3.2 Propan-Bütan C_p/C_v değerleri

	Propan C_p/C_v	Bütan C_p/C_v
-50 °C	1,16	1,11
-40 °C	1,16	1,11
-30 °C	1,15	1,11
-20 °C	1,15	1,11
-10 °C	1,14	1,10
0 °C	1,14	1,10
10 °C	1,13	1,10
20 °C	1,13	1,09
30 °C	1,13	1,09
40 °C	1,12	1,09
50 °C	1,12	1,09

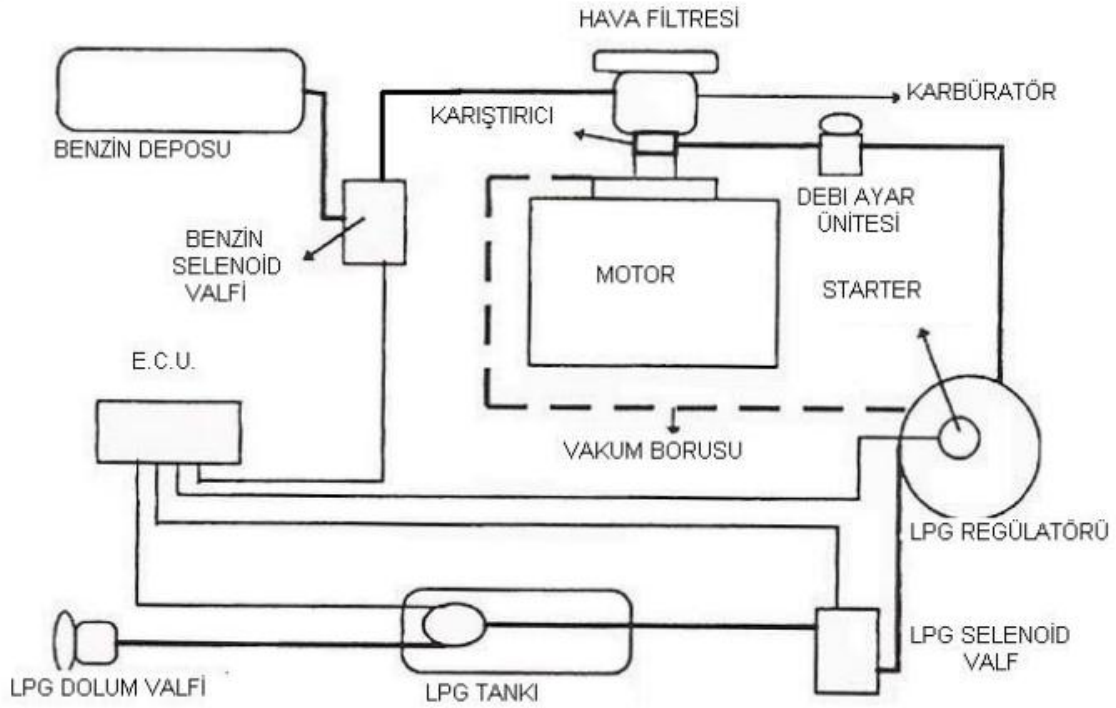
3.2 LPG Dönüşüm Sistemleri

Benzinli motorların aynı zamanda LPG ile çalışmalarını sağlayan dönüşüm sistemleri dört grupta toplanmıştır.

3.2.1 Birinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri

Birinci nesil LPG dönüşüm sistemleri en basit sistemlerdir. Bu sistemlerde açık devreli LPG ekipmanı kullanılmaktadır. Yakıt tankından sıvı halde alınan yakıt, bir regülatöre ve buharlaştırıcı ile emme manifoldunda yer alan gaz karıştırıcısına gönderilerek hava ile karıştıktan sonra silindirlere gönderilmektedir. Karbüratörlü buji ateşlemeli motorlarda bu sistem kullanılmaktadır. Birinci nesil LPG sistemleri

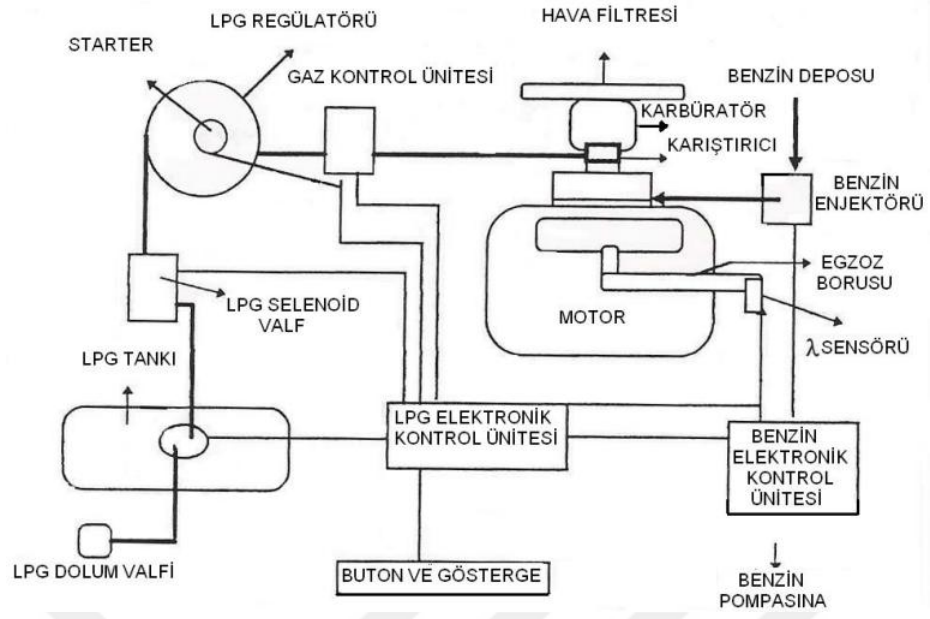
regülatörün diyaframı ayarlamak için aldığı sinyale göre vakumlu veya elektronik olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 3.1 Birinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemi

3.2.2 İkinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri

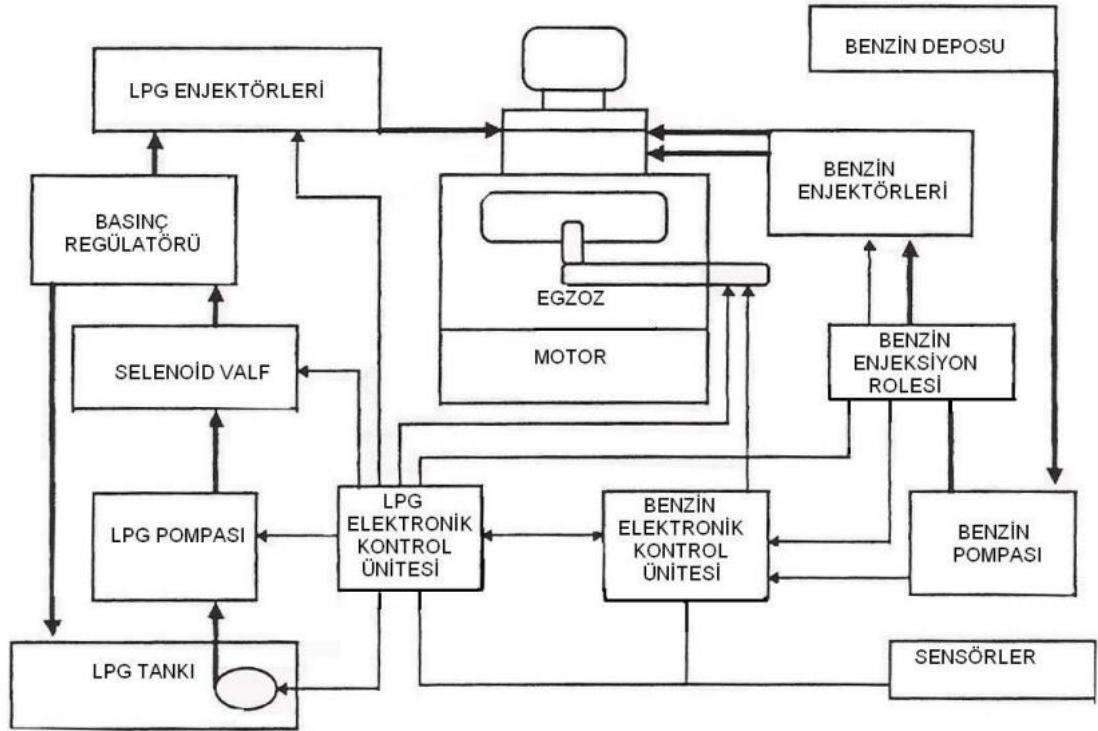
İkinci nesil LPG sistemleri kapalı devreli LPG donanımı kullanırlar. Kapalı devre sistemlerinde egzoz gazı içinde bulunan oksijen miktarı ölçülerek, elektronik kontrol ünitesi yardımıyla yakıt miktarı regülatöre uygun şekilde düzeltilmektedir. Böylece hava fazlalık katsayısı stokiometrik değerde tutulabilmekte ve egzoz sisteminde katalitik konvertör yardımıyla düşürülen emisyon şartları sağlanabilmektedir. LPG dönüşümü yapılmamış halinde yakıt enjeksiyon sistemi bulunan taşıtlara uygulanan bu dönüşüm sisteminde ek olarak lambda sensörü, devir sayısı, gaz keleşği konumu, motor sıcaklığı gibi motor parametreleri için sinyalleri değerlendiren bir elektronik kontrol ünitesi ve gaz debisini değıştiren debi ayar valfi bulunmaktadır.



Şekil 3.2 İkinci Nesil LPG Dönüşüm Sistemi

3.2.3 Üçüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri

İlk iki nesi sistemlere göre çok daha karmaşık bir sistemdir. LPG enjeksiyonu Elektronik kontrol ünitesinin (ECU) gelen sinyallere göre belirlenir. Elektronik kontrol ünitesi basınç, sıcaklık değerlerine göre sisteme daha önce yüklenmiş tablolardan gerekli sinyalleri üretir.

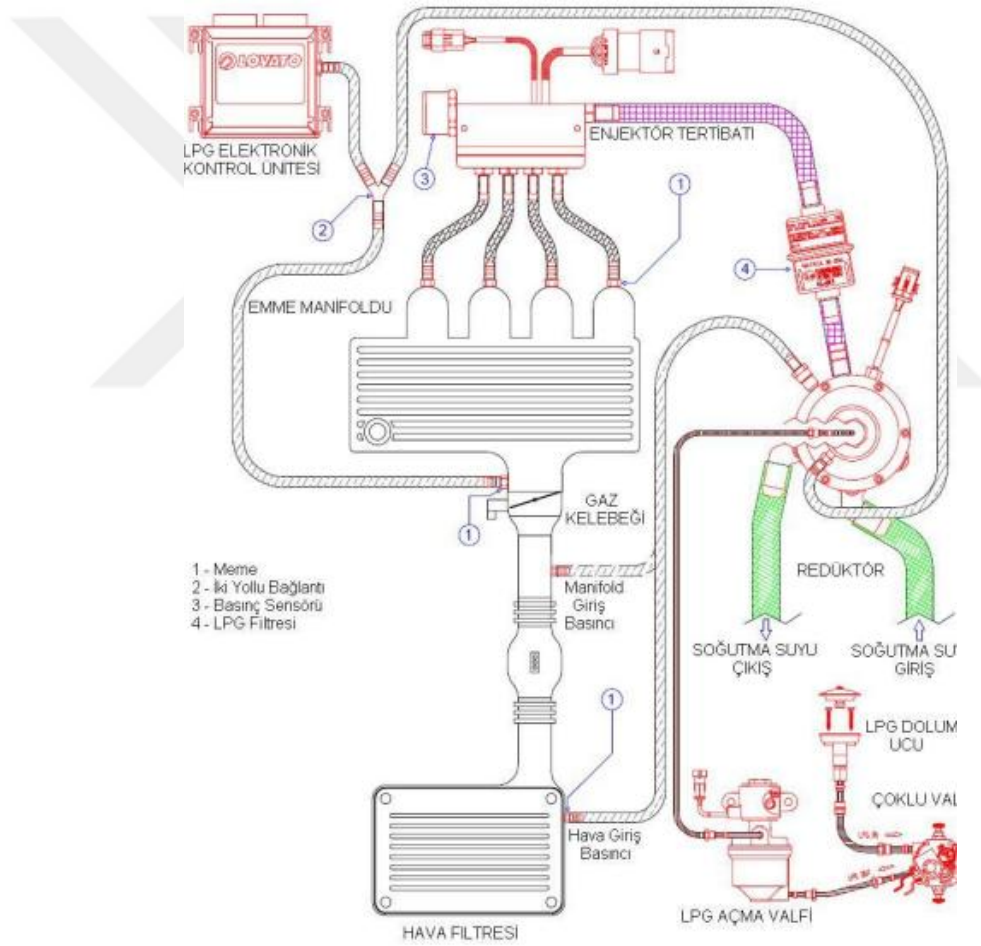


Şekil 3.3 Üçüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemi

3.2.4 Dördüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemleri

Sıvı propan enjeksiyon (LPi) sistemi petrol enjeksiyon sistemine benzer olarak çalışır. Sıvılaştırılmış yakıt LPi sistemine pompalanır ve enjektörlere gönderilir. Sistem entegre pompaya bağlı yakıt deposu içermektedir. Pompa, yakıt sistemindeki basıncı artırır ve sıvılaştırılmış LPG'yi basınç regülatörü ünitesine pompalar. Basınç regülatörü, sistemdeki basıncı düzenler ve benzinden LPG'ye geçiş gerçekleştiğinde açılan bir valfe sahiptir. Yakıt, emme manifolduna monte edilen enjektörlere ulaşır.

Kullanılmayan LPG, dönüş hatları yardımı ile LPG tankına geri gönderilir. LPG enjektörleri, LPG düzenleme birimi (LPE) tarafından tahrik edilmektedir. Aracın ECU'sundan gelen benzinli enjektörler için sinyal, LPG enjektörü için alınır ve çevrilir. Sonuç olarak, motor yönetimi ve teşhis özellikleri için orijinal sinyaller bozulmadan kalır. Enjektörler, silindir kapağında uygun bir yere delik açarak motora monte edilir. LPG enjektörüne kadar yakıt sıvı halde taşınır ve yakıt ince sağlam bir hortum yardımıyla enjekte edilir. Hortumun uzunluğu, silindir hacminde merkezi bir enjeksiyon noktasını muhafaza etmek için silindir şekline göre ayarlanabilir.



Şekil 3.4 Dördüncü Nesil LPG Dönüşüm Sistemi

4.1 Deney Düzeneği Ekipmanları ve Düzeneğin Kurulumu

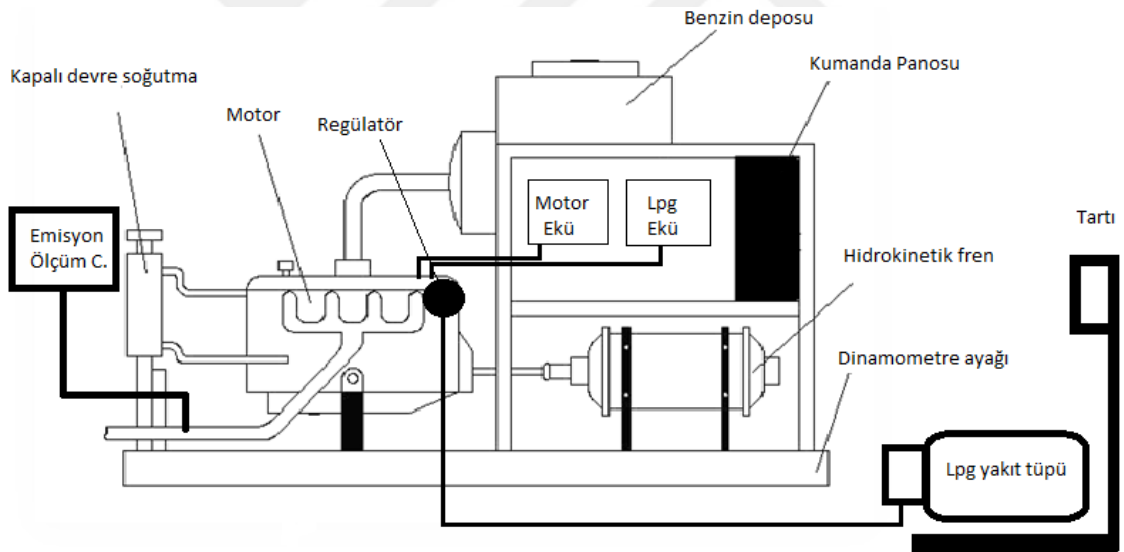
Deney Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş Kampüsü Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirildi. Deneyde özellikleri aşağıda verilen 1.3 Mitshubishi Colt motoru kullanıldı. LPG dönüşüm sistemi Landirengo marka kullanılmıştır. Cussons marka hidrokinetik dinamometre ile yüklenme işlemi yapıldı. Beckoff PLC ile Cussons dinamometre kontrolü yapıldı, motor hızı ve yük momenti ölçülüp motor gücü hesaplandı. AVL marka Dicom 4000 model egzoz gaz analiz cihazı ile egzoz verileri okunmuştur. Deneyin ilk kısmında elektrikli su ısıtıcısı LPG regülatörüne bağlanarak kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümü için termokupl ve Lutron Tm 946 4 kanal dijital termometre kullanıldı. ESİT PS marka terazi ile gravimetrik yöntem ile LPG tüketimi kütleli ölçülmüştür. ELM 327 OBD II cihazı ve Torque Pro uygulaması ile obd can hattı uzeinden ECU bağlantısı yapıldı ve Landi LSI NSI yazılımı ile LPG parametrelerinde değişiklik yapılmıştır. Deney düzeneğine ait fotoğraflar aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.1 Deney Motoru Özellikleri

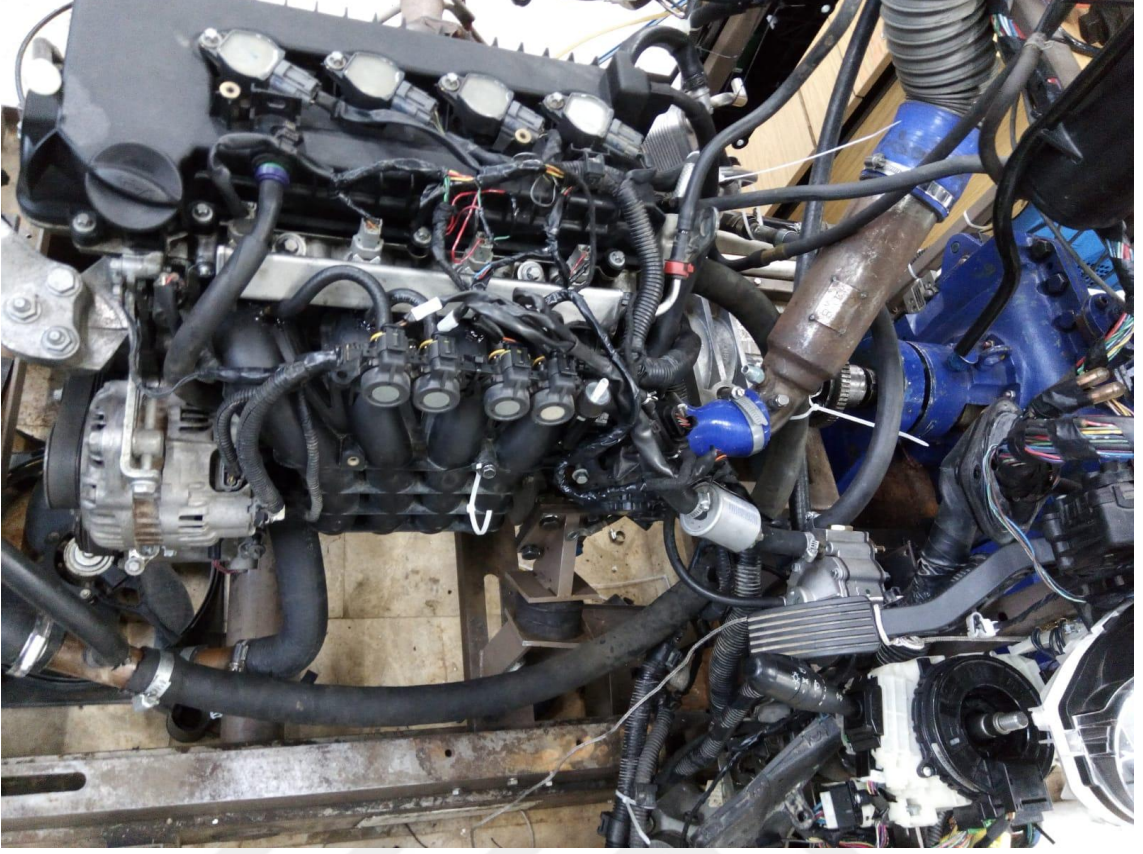
Marka	Mitsubishi
Model	Colt VI (Z30)
Hacim	1.332 cc
Silindir	4
Valf	16
Soğutma	Su
Strok Sayısı	4
Eksantrik	Üstten Çift
Max Güç	70 kW/ 6000 d/dk
Max Tork	125 N.m / 4000 d/dk
Silindir Çapı	75 mm
Silindir Stroğu	75.4 mm
Sıkıştırma Oranı	10.5

Tablo 4.2 AVL Dicom 4000 Emisyon Cihazı Özellikleri

Ölçüm Verisi	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	%0-10 Hacimce	%0.01 Hacimce
CO ₂	%0-20 Hacimce	%0.1 Hacimce
HC	0-20000 ppm	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm
O ₂	%0-25 Hacimce	%0.01 Hacimce
λ	0-9999	0.001
Motor Hızı	250-9990 rpm	10 rpm
Yağ Sıcaklığı	0-150 °C	1 °C



Şekil 4.1 Deney Düzeneği Şeması



Şekil 4.2 Deney Düzeneği



Şekil 4.3 Dinamometre Kontrol Yazılımı

F1 Gas change-over	t inj/rpm	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
F2 Lambda	2,00	122	122	122	122	122	122	124	125	126	127	128	128
F3 Emissions	2,50	128	128	128	128	128	128	130	131	132	133	134	134
F4 Gas level	3,00	132	132	132	132	132	132	134	135	136	137	138	138
F5 Pressure	3,50	138	138	138	138	138	138	140	141	142	143	144	144
F6 Temperature	4,50	138	138	138	138	138	138	140	141	142	143	144	144
F7 K insertion	6,00	136	136	136	136	136	136	138	139	140	141	142	142
F8 Injectors	8,00	128	128	128	128	128	128	130	131	132	133	134	134
F9 Gas/petrol	10,00	120	120	120	120	120	120	122	123	124	125	126	126
F10 Adaptivity	12,00	116	116	116	116	116	116	118	119	120	121	122	122
F11 - Esc Exit	14,00	116	116	116	116	116	116	118	119	120	121	122	122
	16,00	114	114	114	114	114	114	116	116	118	119	120	120
	18,00	114	114	114	114	114	114	116	116	118	119	120	120

Modify map refs. End calibration Calibration mod. Switch

K factor Times Tip IN

K factor 1.00

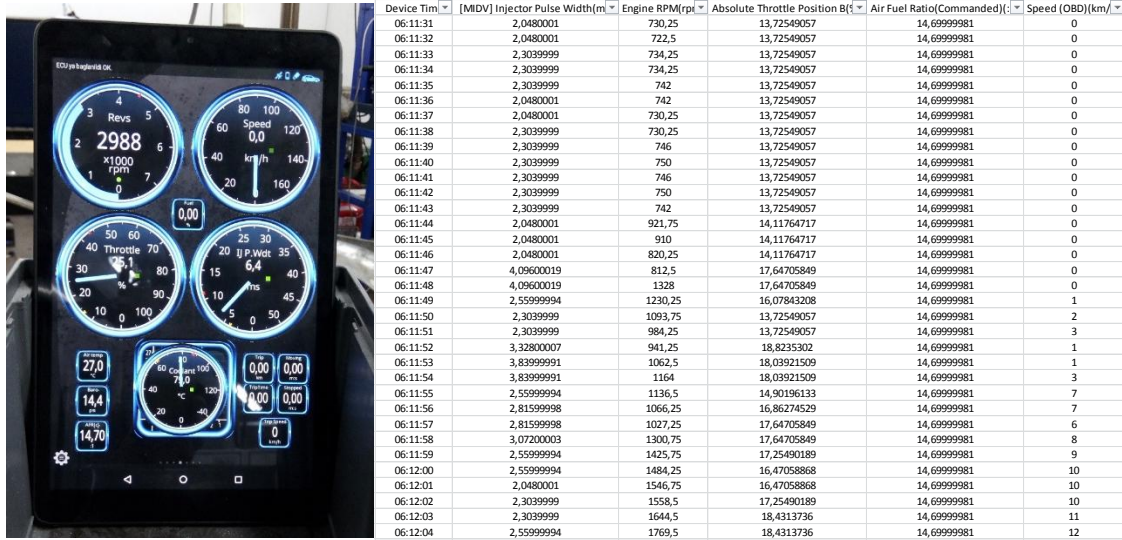
Şekil 4.4 LPG Map Haritası



Şekil 4.5 OBD Kontrol Programı

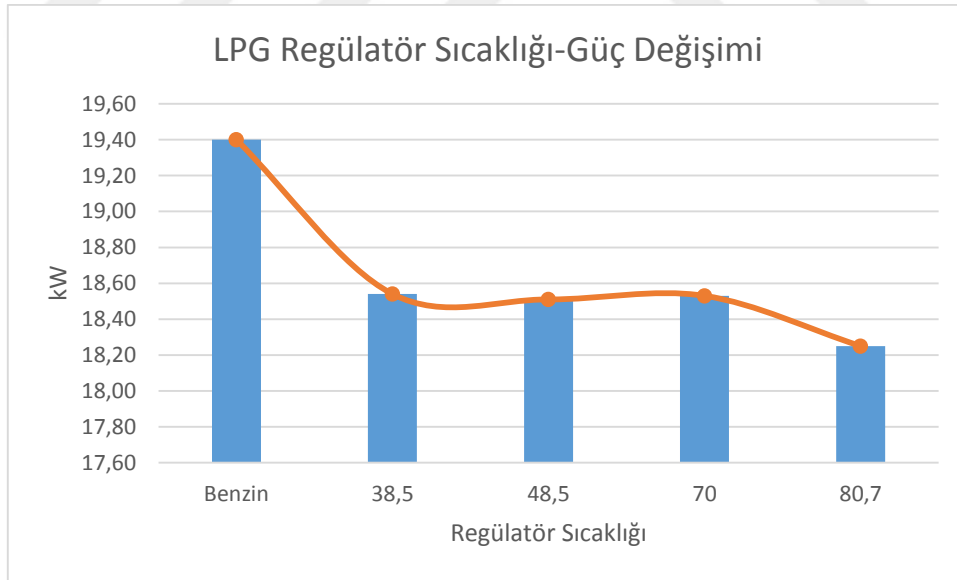
4.2 Deneyin Yapılışı ve Sonuçlar

Deneyin yapılacağı verileri elde etme amacıyla araç 100 km/h hızıyla giderken Torque Pro programı vasıtasıyla devir ve gaz pedalı konumu okunmuştur. Bu şartların 3000 d/dk ve %25,1 gaz açıklığı olduğu görülmüştür. Yol verisinde elde edilen sonuçlar ışığında, aynı motor dinamometre ortamında koşturulmuş ve LPG yazılımı ile Şekil 4.4'te görülen MAP çizelgesinde değişiklikler yapılmış ve bu değişikliklerin etkisi gözlenmiştir.



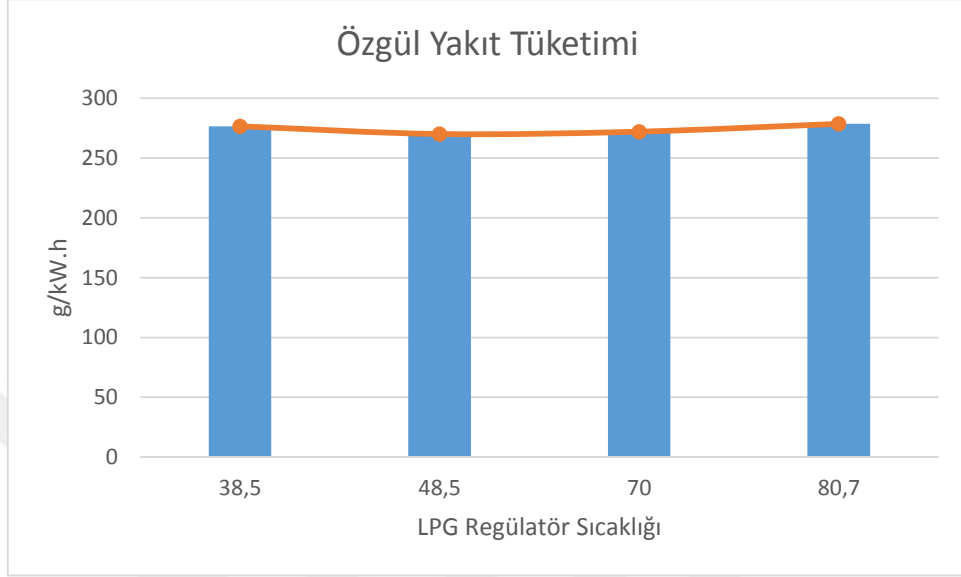
Şekil 4.6 Torque Pro programı ve alınan verilerin ekran görüntüsü

Deneyin ilk kısmında su ısıtıcı LPG regülatörüne bağlanarak, regülatör su sıcaklığı istenilen seviyede tutulmuştur. Şekil 4.7’de 80,7 °C, 70 °C, 48,5 °C, 38,5 °C regülatör sıcaklıklarındaki motor gücü ve benzinli çalışma durumu motor gücü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi motor güçlerinde sırasıyla %6, %4,5 , %4,5, %4,5 oranında azalma görülmüştür.



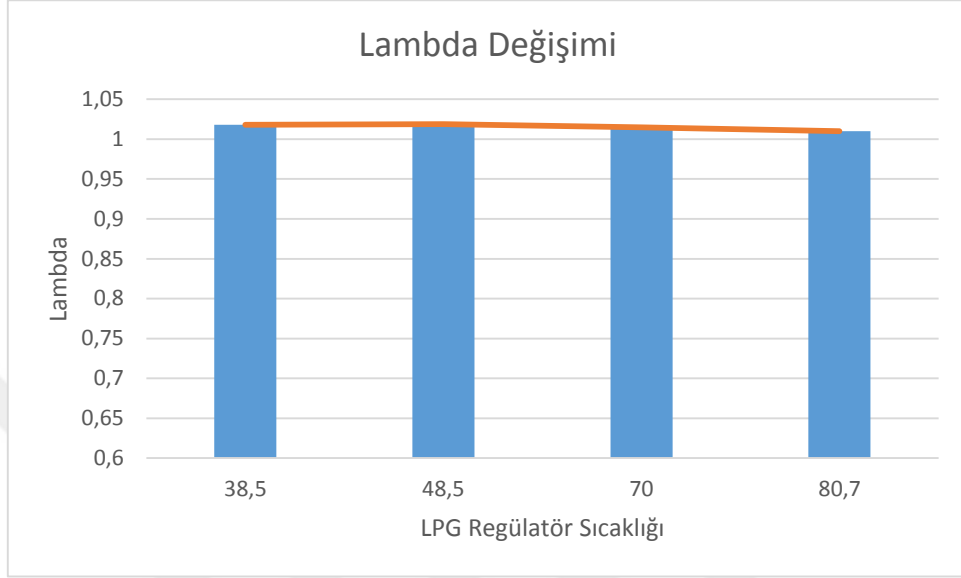
Şekil 4.7 Regülatör sıcaklığı-güç değişimi

Özgöl yakıt tüketiminin hesaplanmasında 100 gr LPG tüketiminde geçen süre ölçülmüş ve o şarttaki güç değerleri okunarak özgöl yakıt tüketimi bulunmuştur. Şekil 4.8’de özgöl yakıt tüketimi gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde LPG regülatör sıcaklığının özgöl yakıt tüketimine etkisi olmadığı söylenebilir.



Şekil 4.8 Regülatör sıcaklığı-ölgöl yakıt tüketimi

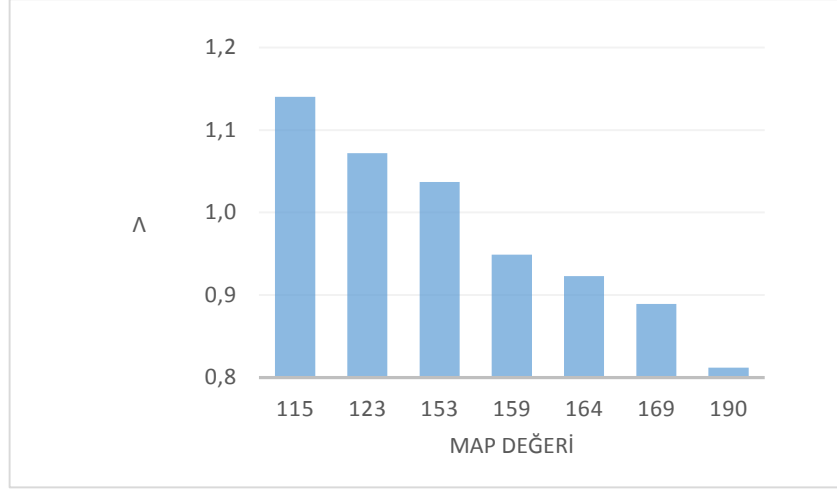
Lambda değişim grafiğini gösteren şekil 4.9’a baktığımızda regülatör sıcaklık değişiminin Lambda üzerinde anlamlı ve yorumlanabilir bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



şekil 4.9 Regülatör sıcaklığı-lambda değişimi

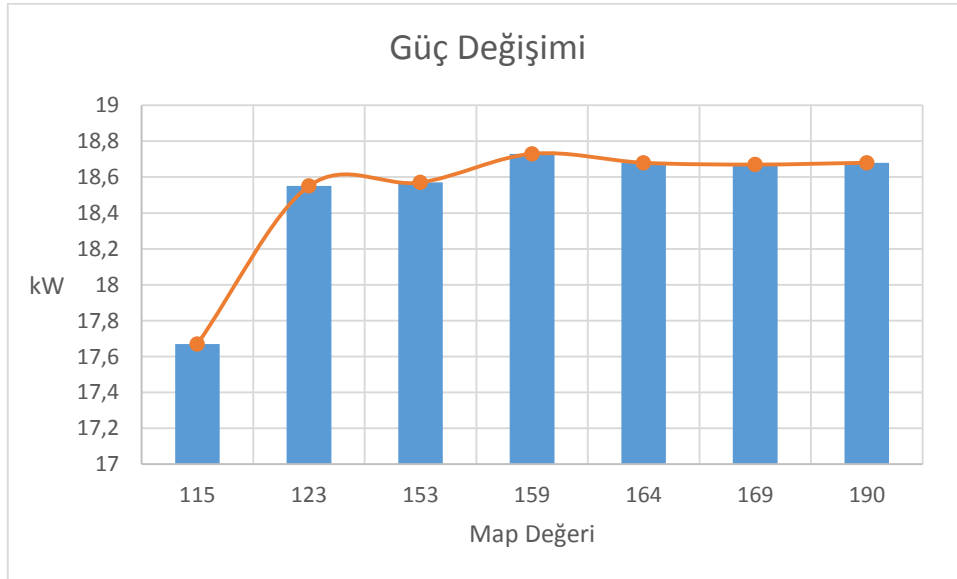
Yazılımdaki MAP tablosunda 3000 devir çalışma şartında 115, 123, 153, 159, 164, 169, 190 değerleri denk gelecek şekilde değiştirilmiştir.

Bu değişiklik neticesinde, lambda değerlerinin değişimi şekil 4.10’daki gibi gözlenmiştir. Basınç değerinin, lambdanın “1” çevresinde olduğu değerlerde hassasiyetinin çok daha fazla olduğu görülmektedir. Buna göre kalibrasyon yaparken map değerinin 1 birim değiştirilmesinin lambda üzerinde %1,55’lik etkisi olduğu görülmektedir.



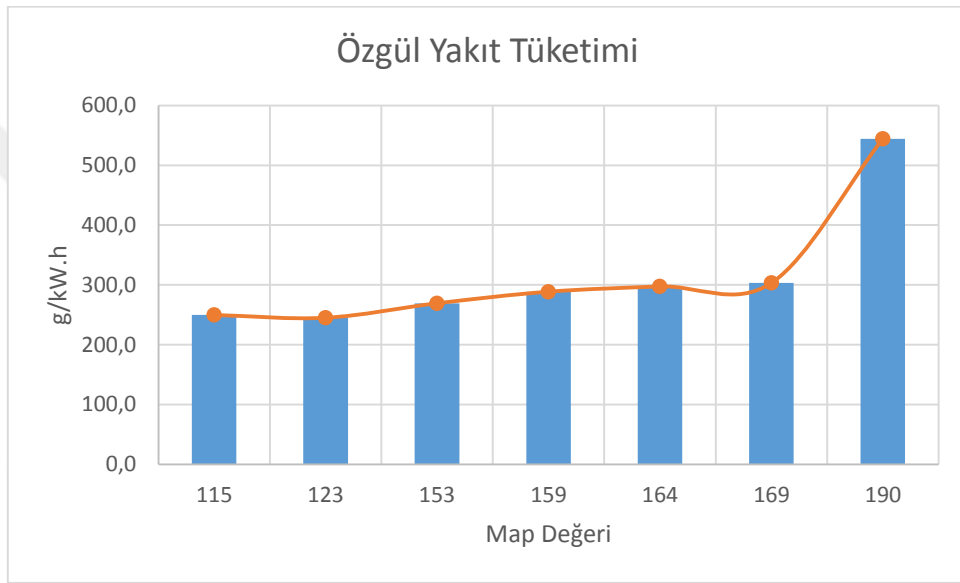
Şekil 4.10 Lambda değişimi

Referans deneylerde motor benzinle çalıştırıldığında 3000 d/dk ve 25,1 gaz açıklığında 19,4 kW güç üretmiştir. Tüm deneysel çalışmada motor, benzin ile ısıtılmış, devamında LPG ile çalıştırılmış ve güç ölçümü yapılmıştır, güç değişimi Şekil 4.11'deki gibi gözlenmiştir. En yüksek güç 159 map değerinde 18,73 kW olarak elde edilmiştir. Bu değer için benzine göre %3,45'lik bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Diğer map değerleri için; 115'te %8,92; 123'te 4,38; 153'te 4,28; 164'te 3,71; 169'da %3,76 ve 190'da %3,71 düşüş meydana gelmiştir.



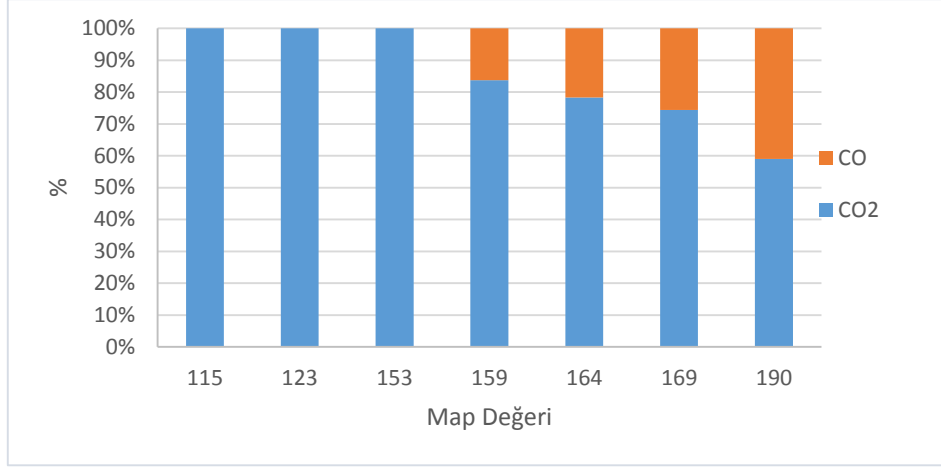
Şekil 4.11 Güç değişimi

En düşük özgül yakıt tüketimi 245 g/kW.h değeri 123 map değerinde elde edilmiştir. 153'te %9,9, 159'da %17,8, 164'te %21,4, 169'da %23,7, 190'da %122,2 artış meydana gelmiştir. Zengin karışım şartında map değerindeki yüzdesel değişimin özgül yakıt tüketimine de aynı oranda etki ettiği görülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Özgül yakıt tüketimi

Şekil 4.13'de map harita değerlerine göre karbondioksit ve karbonmonoksit emisyonları gösterilmiştir. Fakir karışım bölgelerinde yani hava fazlalığının yüksek olduğu değerlerde beklendiği gibi tam yanma gerçekleşmiş ve karbon monoksit emisyonu oluşmamıştır. Zengin karışım bölgelerinde ise, silindire gönderilen yakıt tam olarak yakılamamış ve karbon monoksit olarak atılmıştır. Toplam karbon emisyonuna bakıldığında ise map değerindeki artışa bağlı olarak, karbon emisyonunda da artış olmaktadır.



Şekil 4.13 Karbon emisyonları

Bu çalışmada LPG map haritasının performans ve emisyon üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Motor 3000 d/dk ve %25,1 gaz açıklığında çalıştırılmış ve manifold basınç değerleri çizelgesinin değiştirilmesinin etkileri incelenmiştir.

- Map değerinin artması lambda üzerinde doğrudan etki etmiş ve map değerinin artmasıyla lambda değeri azalmıştır.
- Map değeri doğru ayarlandığında benzene göre performans düşüşü %3 mertebelerine kadar azaltılmıştır.
- En yüksek performans karışımın zengin ancak lambda'nın 1'e yakın olduğu bölgelerde alınmıştır.
- Performans ve yakıt tüketimi açısından optimum değer lambda'nın birden çok az büyük olduğu bölgelerde oluşmuştur
- Map değerinin zengin karışım bölgesinde yüzde olarak değişimi aynı oranda özgül yakıt tüketimine etki etmiştir.
- Tüm bu sonuçlar göstermektedir ki, map haritasındaki çok küçük değişiklikler yakıt tüketiminde ve performansta önemli farklar doğurabilmektedir. Bundan yola çıkarak, map ayarı yapılırken rölanti devrinde değil, yol şartında ayar yapılması önem arz etmektedir.
- Map haritası ayarıyla kullanıcı isteğine göre düşük performans düşük yakıt tüketimi, performans ve yakıt tüketiminin optimum olduğu koşul, yüksek performans ve yüksek yakıt tüketimi olan durumların oluşturulabileceği, buna ek olarak sürüş modları oluşturulabileceği ve sürüş sırasında bu modlar arasında geçiş yapılabileceği görülmüştür.

- [1] IEA, "World Crude Oil and Natural Gas Reserves", *International Energy Annual*, 2004.
- [2] C. Sayın, "Çift Yakıtlı (Benzin + Sıvılaştırılmış petrol gazı) Bir Benzin Motorunun İdeal Emisyon Ürünleri", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 12, no. 2, pp. 199-205, 2005.
- [3] N. Dinler, "Alternatif Yakıt Olarak Lpg Kullanan İki Motorun Performansının Deneysel İncelenmesi", *MMO, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu*, 2003, pp 23-27.
- [4] TMMOB, "Makina Mühendisleri Odası LPG/CNG'ye Dönüştürülmüş Araçlarda Denetim Uygulamaları Oda Raporu", 2008.
- [5] "Haber Bültenleri" [Online], Available, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri>.
- [6] International Energy Agency, "Key World Energy Statistics" 2016.
- [7] MMO, *Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı*, 2. Baskı, Ankara 2000.
- [8] S. Polat, "An Experimental Study on Combustion, Performance and Exhaust Emissions in a HCCI Gasoline Engine Fueled With Diethyl Ether/Ethanol Fuel Blends, Fuel Process", *Fuel Processing Technology*, vol. 143, pp.140–150, 2016.
- [9] Petrol Sanayicileri Derneği, "2017 yılı Sektör Raporu", 2017.
- [10] J.A Yamin and O.O. Badran, "Analytical Study to Minimise the Heat Losses from a Propane Powered 4-stroke Spark Ignition Engine", *Renewable Energy*, vol. 27, 2002 pp. 463–478, 2002.
- [11] M. Gümüş, "Çift Yakıt Enjeksiyonlu Buji Ateşlemeli Bir Motorda Lpg Kullanım Oranının Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, vol. 24, no. 2, pp. 265-273, 2009.
- [12] C. Sayın, "Çift Yakıt (Benzin+Lpg) Kullanımının Motor Performansı Ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Deneysel Analizi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, vol. 20, no. 4, pp. 483-490, 2005.
- [13] M. Cha-Lee, "Comparative Study Of Regulated And Unregulated Toxic Emissions Characteristics From a Spark Ignition Direct Injection Light-Duty Vehicle Fueled With Gasoline and Liquid Phase Lpg (Liquefied Petroleum Gas)", *Energy*, vol. 44 , pp. 348-355, 2012.
- [14] A. Boretti, C. Grummisch, "100% LPG Long Haul Truck Conversion – Economy And Environmental Benefits", *SAE Technical Paper*, 2012-01-1983, 2012.
- [15] L. Li, Z. Wang and B. Deng, Y. Han, H. Wang, "Combustion and Emissions Characteristics of a Small Spark-Ignited LPG Engine", *SAE Technical Paper*, 2002-01-1738, 2002.

- [16] N. Mizushima and S. Sato, "Combustion Characteristics and Performance Increase of an LPG-SI Engine with Liquid Fuel Injection System", *SAE Technical Paper*, 2009-01-2785, 2009.
- [17] S. Kaleemuddin and G. Rao, "Study on Single Cylinder Engine for Performance and Exhaust Emission with Diesel, Bio Diesel, LPG and CNG", *SAE Technical Paper*, 2009-32-0048, 2009.
- [18] R. Chitragarp, K.V. Shivaprasad, N. Vighnesh, P. Bedar and G.N. Kumar , "An Experimental Study on Combustion and Emission Analysis of Four Cylinder 4-Stroke Gasoline Engine Using Pure Hydrogen and LPG at Idle Condition", *Energy Procedia*, vol. 90, pp.525 – 534, 2015.
- [19] L. Liguang and L. Zhimin, "Development of a Gas-Phase LPG Injection System for a Small SI Engine", *SAE Technical Paper*, 2003-01-3260, 2003.
- [20] C. Çınar and F. Şahin, "A comparison of performance and exhaust emissions with different valve lift profiles between gasoline and LPG fuels in a SI engine", *Applied Thermal Engineering*, vol. 107, pp. 1261–1268, 2016.
- [21] A. Suyabodha, "Comparison the Rate of Energy Consumption between Gasoline 95 and LPG in Spark Ignition Engine under Real Driving Conditions", *Energy Procedia*, vol. 118, pp. 164-171, 2017.
- [22] A. Ceviz and A. Kaleli, "Controlling LPG Temperature for SI Engine Applications", *Applied Thermal Engineering*, vol. 82, pp. 298-305, 2015.
- [23] M. Sulaiman and M. Ayob, "Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fueled by LPG", *Procedia Engineering*, vol. 53, pp. 579–585, 2013.

İletişim Bilgisi: hatipogluerdem@gmail.com

Konferans Bildirileri

- [1] A.T. Ergenç and E. Hatipoğlu, “Yakıt Olarak LPG Kullanılan Bir İçten Yanmalı Motorda Manifold Basınç Çizelgesinin Performans ve CO₂ Emisyonuna Etkileri”, 2. *International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia*. 2019

