

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

LPG SİSTEMİ ELEKTRONİK KONTROL
ÜNİTESİ(ECU) TASARIMI

Erol BAĞCI

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN

Yozgat 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

LPG SİSTEMİ ELEKTRONİK KONTROL
ÜNİTESİ(ECU) TASARIMI

Erol BAĞCI

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN

Yozgat 2019



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

TEZ ONAY FORMU

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70111714008 numaralı öğrencisi Erol BAĞCI'nın hazırladığı "LPG Sistemi Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) Tasarımı" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 11/12/2019 Çarşamba günü saat 14:00'de yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Halit ÖZTEKİN

Jüri Üyesi (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAZ

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 16/01/2020 tarih ve 3 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

16/01/2020

Prof. Dr. Mustafa SACMACI
Müdür



LPG SİSTEMİ ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ(ECU) TASARIMI

Erol BAĞCI

Yozgat Bozok Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

2019; Sayfa:64

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN

ÖZET

LPG elektronik kontrol ünitesi(ECU), motorun değişik yük ve yol şartlarına göre sensörlerin ve veri sinyallerinin otomatik diyagnostiğini yapar, en iyi karışım miktarını hazırlamak ve bu hazırlanan karışımı en doğru zamanda emme manifolduna iletmek için enjektörleri kontrol eder. LPG yakıt miktarının hazırlanması için LPG basınç sensörü, LPG ısı sensörü, motor devir sensörü ve benzin enjektörlerinden alınan sinyaller LPG elektronik kontrol ünitesine iletilir.

Bu çalışmada mevcut bir LPG sisteminin bileşenleri incelendi. Sistemin çalışma aşamaları dikkate alınarak, LPG sistemine ait elektronik kontrol ünitesinin işlevsel özellikleri tahlil edildi ve analiz edilen veriler ışığında yeni bir kontrol ünitesi tasarlandı. Tasarlanan yeni LPG elektronik kontrol ünitesinin 4 silindirli, buji ateşlemeli bir motor üzerine yerleştirilmiş 4 adet LPG yakıt enjektörünü ne şekilde

kontrol ettiği gerçek yol Şartlarında test edilerek gözlemlendi. Test aracının performansı, yakıt ekonomisi ve aracın tasarlanan LPG elektronik kontrol ünitesiyle olan uyumu farklı yol, sıcaklık ve hız koŐullarında gözlemlenerek ürünün uygunluğu kontrol edildi.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tezin amacı ve konusu, ikinci bölümde literatür özeti, üçüncü bölümde konuyla ilgili genel bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde içten yanmalı benzinli motora sahip araçlarda kullanılan motor çeŐitlerine göre LPG sistemlerinin nasıl çeŐitlendiđi ve hangi teknolojik geliŐmelerle Őekillendiđi konularına yer verildi. Aynı zamanda bir LPG sistemini oluşturan elemanlar üzerinde duruldu. BeŐinci bölümde LPG elektronik kontrol ünitesinin tasarımında göz önünde bulundurulan parametreler, tasarım için gerekli olan verilerin test aracından alınması ve ünitenin tasarım aşamaları konuları yer almaktadır. Son bölümde ise sonuç ve yorumlara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LPG sistemlerinin sınıflandırılması, LPG elektronik kontrol ünitesi, LPG enjeksiyonu, Enjeksiyonlu Motorlarda LPG Yakıt Sistemleri.

LPG SYSTEM ELECTRONIC CONTROL UNIT (ECU) DESIGN

Erol BAĞCI

**Yozgat Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering
Master of Science Thesis**

2019; Page:64

Thesis Supervisor: Dr. Cemil ALTIN

ABSTRACT

The LPG electronic control unit (ECU) performs automatic diagnostics of sensors and data signals according to the different load and road conditions of the engine, controls the injectors to prepare the best mix quantity and deliver the prepared mix to the intake manifold at the right time. In order to prepare the amount of LPG fuel, the signals received from LPG pressure sensor, LPG heat sensor, engine speed sensor and gasoline injectors are transmitted to LPG electronic control unit.

In this study, components of an existing LPG system were examined. Taking into consideration the operational stages of the system, the functional characteristics of the electronic control unit of the LPG system were analyzed and a new control unit was designed in the light of the analyzed data. The new LPG electronic control unit, designed to control 4 LPG fuel injectors installed on a 4-cylinder spark plug ignition engine, was tested under real road conditions. The performance of the test vehicle,

fuel economy and the compatibility of the vehicle with the designed LPG electronic control unit were observed in different road, temperature and speed conditions and the suitability of the product was checked.

This thesis consists of six chapters. In the first part, the aim and the subject of the thesis, in the second part, the summary of the literature, in the third part, general information about the subject is given. In the fourth chapter, how the LPG systems are diversified according to the types of engines used in vehicles with internal combustion gasoline engines and which technological developments have been shaped and the elements that make up a LPG system have been emphasized. In the fifth section, the parameters considered in the design of the LPG electronic control unit, obtaining the data required for the design from the test vehicle and the design stages of the unit are given. In the last section, results and comments are given.

Keywords: Classification of LPG systems, LPG electronic control unit, LPG injection, LPG Fuel Systems in Injection Engines.

TEŐEKKÖR

Tez alıőmam sırasında, yoğun iş temposu arasında değerli vakitlerini ayırarak kıymetli bilgi birikimi ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN'a, araştırma aşamasında, yön tayininde ve tamamlanmasında olumlu ve yapıcı eleőtirileriyle bana ıőık tutan değerli arkadaşlarım Uğur Dereli ve Mustafa ALTUNOK'a sonsuz teőekkör ederim.

Tezimin başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen kıymetli eőim Emine BAğCI'ya, bana sabır gösteren sevgili oğullarım Ömer Eymen ve Alp Eren'e, hayatım boyunca destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan başta annem ve babam olmak üzere bütün aileme sonsuz teőekkör ederim.

Erol BAğCI

Yozgat

2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA LPG KULLANIMI.....	14
3.1.İçten Yanmalı Motorlar.....	14
3.2.Benzinli Motorlarla İlgili Teknik İfadeler.....	14
3.3.Otto Çevrimi	17
3.4.İçten Yanmalı Motorun Parçaları.....	20
3.5.Taşıtlarda Bulunan Sistemler	21
3.6.Alternatif Yakıt Olarak LPG	21
3.7.İçten Yanmalı Motorlarda LPG Kullanımı	26
3.8.LPG Sistemi Parçaları ve Görevleri.....	30
4. MOTOR İŞLETİM SİSTEMLERİ	37
4.1.Pwm (Pulse Width Modulation) - Darbe Genişlik Modülasyonu.....	38
4.2.Elektronik Kontrol Üniteleri Arasında Haberleşme.....	39
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	42
6. TASARIM.....	43
7.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	60

ÖZGEÇMİŞ..... 64



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1 Türkiye’de LPG içeriği	22
Tablo 2 Farklı Ülkelerde LPG İçindeki Propan ve Bütan Oranları	23
Tablo 3 Propan, Bütan ve Benzin Değerleri Karşılaştırması	23
Tablo 4 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Direk Zehirleyici Etkileri)	24
Tablo 5 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Küresel Isınmaya Etkileri).....	25
Tablo 6 Alternatif Yakıtlı Araçların Performanslarının Karşılaştırmalı	25

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 İçten Yanmalı Motora Ait Silindir Kesiti	14
Şekil 2 Otto Çevriminde Silindir-Piston Durumları	17
Şekil 3 Otto Çevriminde P-V grafiği	17
Şekil 4 Otto Çevriminde Emme Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği.....	18
Şekil 5 Otto Çevriminde Sıkıştırma Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği.....	19
Şekil 6 Otto Çevriminde İş Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği	19
Şekil 7 Otto Çevriminde Egzoz Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği	20
Şekil 8 İçten Yanmalı Bir Motorun İç Yapısı	20
Şekil 9 Karbüratörlü ve Enjeksiyonlu Motorlar İçin Mikserli LPG Sistemi	27
Şekil 10 Sıralı LPG Sisteminin Elemanlarının Yerleşimi.....	28
Şekil 11 Direk Enjeksiyonlu Motorlar İçin Sıvı LPG Sistemi.....	29
Şekil 12 LPG Komütatör Anahtarları	30
Şekil 13 LPG Gaz Kesicisi.....	31
Şekil 14 LPG Benzin Kesicisi.....	31
Şekil 15 LPG Regülatörü	32
Şekil 16 LPG Şamandırası (Multivalf)	32
Şekil 17 ECU	33
Şekil 18 ECU Elektronik Kartı	33
Şekil 19 Gaz Isı Sensörü ve Regülatöre Bağlantısı.....	34
Şekil 20 MAP Sensörü	34
Şekil 21 LPG Enjektörü Ve Araç Üzerinde Montajı	35
Şekil 22 LPG Gaz Filtresi ve Filtre Kabı	35
Şekil 23 Silindirik ve Trodial LPG Tankı	36
Şekil 24 Gaz Dolum Ucu ve Araç Üzerindeki Konumu	36
Şekil 25 Farklı Duty Cycle lar İçin Ortalama Gerilim Değerleri.....	38
Şekil 26 Haberleşme Ağı	39
Şekil 27 CANBUS Ağ Yapısı	40
Şekil 28 Test Aracının Görünümü	42
Şekil 29 ECU Yapısı	44
Şekil 30 Enjektörlere Gelen Sinyalin Tespiti.....	46
Şekil 31 Enjektör Ölçümlerinin Yapılması	46
Şekil 32 Gözlemlenen Devir Voltaj Değerleri	47
Şekil 33 Enjektörden Alınan Sinyal	48
Şekil 34 Benzin ve LPG Enjektörlerinin Yeri ve Alınan PWM Sinyali	50
Şekil 35 Tasarlanan Devre	51
Şekil 36 Besleme Ünitesi	52
Şekil 37 Giriş Bölümü.....	52
Şekil 38 Mikrodenetleyici ve osilatörü	53
Şekil 39 Çıkış Bölümü	53
Şekil 40 Röle Bağlantısı.....	54
Şekil 41 ARES Baskı Devre Programına Aktarılan Devre Şeması	54
Şekil 42 Baskı Devre Çizimi.....	55
Şekil 43 Kart Üzerine Elemanları Yerleşimi	56
Şekil 44 Tasarlanan Kontrol Kartı	57

Şekil 45 Tasarlanan Kartın Baskı Devre Görünümü.....	58
--	----

KISALTMALAR LİSTESİ

LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
PWM	: Darbe genişlik modülasyonu
M85	: %85 oranında metanol, %15 benzin içeren yakıt karışımı
E85	: %85 etanol %15 benzin içeren yakıt karışımı
H ₂	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
NO _x	: Azot Oksit
CO	: Karbonmonoksit
ppm	: Parts Per Million (Milyondaki Parçacık Sayısı)
ULEV	: Aşırı Düşük Kirletici Emisyon Değerlerine
SI	: Standart Enjeksiyonlu
CO ₂	: Karbondioksit
A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
Ü.Ö.N	: Üst Ölü Nokta
V _{mak} ,V _{aön}	: Silindir Hacmi
V _{min} ,V _{üön}	: Yanma Odası Hacmi
r	: Sıkıştırma Oranı
H _v	: Volumetrik Verim
δ ₁	: Silindirde Oluşan Dolgu Ağırlığı(Gaz Yoğunluğu)
δ ₂	: Atmosfer Şartlarında Dolgu Ağırlığı
H _m	: Mekanik Verim
We	: Krank Miline Geçen Mekanik(Efektif) İş
W _I	: İndike İş
H _c	: Yanma Verimi
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı

P	:	Basınç
V	:	Hacim
C ₄ H ₁₀	:	Bütan
C ₃ H ₈	:	Propan
C ₃ H ₁₈	:	Benzin
H ₂ O	:	Su
O ₂	:	Oksijen
N ₂	:	Azot
<i>h /y</i>	:	Hava/Yakıt Ağırlık Oranı
ECE-R 67	:	LPG Kullanan Motorlu Taşıtların Özel Ekipmanlarının Onay
PVC	:	Polivinilklorür
MAP	:	Mutlak Basınç
Mg	:	Magnezyum
MCU	:	Microişlemci

1. GİRİŞ

Zararlı emisyonları azaltmak adına motorlarda kullanılan alternatif bir yakıt olan likit petrol gazı(LPG) 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 olarak 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 hem de bağımsız araştırmacılar motor performansı, egzoz emisyonları ve LPG sistemi verimliliği açısından çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Enerji ihtiyacı, enerji ihtiyacındaki artışa paralel olarak artan maliyetler ve enerji kullanımının ortaya çıkardığı çevre kirliliği gibi ciddi meseleler araştırmacıları daha verimli enerji sistemleri tasarlamaları yönünde motive etmektedir. Bu çalışmaların kapsamı içinde otomotiv sanayi oldukça önemli bir yere sahiptir. Otomotiv pazarında her geçen gün artan rekabet, araç üreticilerinin daha verimli araçlar üretmeleri gereğini ortaya koymakta bununla birlikte söz konusu iyileştirmelerin, teknolojinin gelişmesine paralel olarak gelecekte de devam edeceği öngörülmektedir. Araç motorlarında kullanılabilen yakıt tiplerinin farklı bir takım yapısal özelliklere ve tek bir yakıt tipini kullanmak üzere optimize edilmiş motor yönetim sistemine sahip olmaları nedeniyle, alternatif bir yakıt tipinin kullanılabilmesi için orijinal yakıt sistemi üzerinde gerçekleştirilen dönüşüm işlemi sonrasında, verimli çalışma şartlarının elde edilmesine yönelik kullanılacak alternatif yakıt tipine özgü bir takım optimizasyon işlemlerinin motor yönetim sistemi üzerinde yeniden yapılması gerekmektedir. Alternatif yakıt türü olarak ülkemizde en yaygın biçimde kullanılan ve benzine nazaran bir takım üstünlüklere sahip LPG'nin araç motorlarına uyarlanması sırasında maalesef bahsi geçen optimizasyon işlemleri önemli ölçüde göz ardı edilmekte bu durumda ise LPG'nin dezavantajları ön plana çıkararak verimsiz kullanımlar söz konusu olmaktadır. Oysa LPG'nin avantajlarını ön plana çıkararak dezavantajlarını olabildiğince bertaraf edebilen LPG'ye özgü yeni motor kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ile daha verimli kullanımlar söz konusu olabilir.[1]

Şehirlerde kalabalık yaşamın içerisinde kullanılan motorlu taşıtlar toplum sağlığını olumsuz etkilediğinden ve fosil yakıtların gün geçtikçe azalması alternatif yakıt arayışını hızlandırmıştır. Bunlardan etilalkol, metilalkol, hidrojen, biyogaz, biyodizel, doğalgaz, CNG ve Likit Petrol Gazı gibi çeşitli yakıtların incelenmesi önem kazanmıştır. Bunlardan en önemlisi doğada çok bulunmasından dolayı Likit Petrol gazıdır.[2]

Günümüzde ulaşım ve taşımacılık sektöründe içten yanmalı motorlar yaygın olarak kullanılmakta ve sektörün temel girdisi olan enerjinin büyük bir bölümü fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Yeni bir tür olduğu için henüz çok kullanılmayan elektrikli araçların ilerleyen yıllarda çok daha fazla yaygınlaşacağı öngörülse de şu an için maliyet, performans ve menzil sorunları nedeniyle yaygınlaşmamış ve fosil kaynaklı yakıtlara olan bağımlılığı azaltacak düzeye ulaşmamıştır.

Türkiye istatistik kurumu verilerine göre 2019 verilerinden anlaşılıyor ki trafikteki araçların yaklaşık %38 i LPG'li, %37'si dizel, %24ü benzinli ve %1 diğer araçlardan oluşmaktadır.[3]

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan zararlı emisyonların çevre ve insan sağlığına etkisi yüksek oranlara varması dünya genelinde sıkı emisyon standartlarının uygulanmasına sebebiyet vermiştir. Ayrıca dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin yüksek tüketimi neticesinde azalması ve bunun sonucunda maliyetlerin artması, petrol kökenli yakıtlara alternatif olabilecek çevre dostu ve ekonomik yakıt arayışlarını hızlandırmıştır.[4]

Egzoz emisyon değerlerinin yüksek olması nedeniyle gelişmiş ülkelerin son yıllarda dizel yakıtlı araçlara kademeli olarak kısıtlama getiren yasalar çıkarması, dizel yakıtlı araçların üretim, satın alma, bakım maliyetlerinin yüksek oluşu ve ülkelerin vergi politikalarından kaynaklı dizel ve benzin litre fiyatları arasındaki makasın daralması benzinli içten yanmalı motorları ön plana çıkarmıştır.

LPG (Likit Petrol Gazı) ham petrolün rafinerilerde damıtılması esnasında veya petrol yataklarının üzerinde bulunan doğal gazın ayrıştırılması ile elde edilen ve basınç altında sıvılaştırılan, renksiz, kokusuz, havadan ağır ve yanıcı bir gazdır. Herhangi bir gaz kaçağı olduğunda anlaşılabilmesi için kokulaştırma işlemi yapılır.

Bir lt LPG gaz haline geldiğinde ortalama 250 lt gaza dönüşür. LPG havadan ağır bir gazdır.

Özellikle kolay bulunması, ekonomik olması ve diğer yakıtlara oranla çevreyi daha az kirletici nitelikte olması nedeni ile dünyada birçok ülke LPG'nin otomobil motorlarında kullanımını özendirerek yaygınlaştırmıştır.

LPG'nin avantajları ve dezavantajları hususuna tezin ilerleyen bölümlerinde detaylı olarak değinilmiştir.

LPG sistemleri genellikle, motor üzerinde değişiklik yapmadan, set halinde montajı yapılarak otomobillere takılmaktadır. Benzinli araçlar gerekli ekipmanın takılmasıyla LPG ile de çalışır hale getirilebilir.

Sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinde kontrol ünitesi tarafından hava yakıt karışımının ideal şekilde sağlanabilmesi için, sistem üzerinde bulunan mekanik ve elektromekanik elemanların çalışma karakteristiklerinin ve motor çalışma koşullarına göre değişiminin bilinmesi gerekmektedir. Sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinin en önemli elemanlardan birisi elektromekanik bir eleman olan enjektörlerdir.

Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan LPG dönüşüm kitleri motor teknolojilerinde meydana gelen ilerlemelere paralel olarak gelişim göstermiştir. Hali hazırda kullanılmakta olan LPG kitlerini 4 ana başlık altında sınıflandırmak mümkündür. Bunlar; yakıt miktarının mekanik olarak kontrol edildiği karbüratörlü araçlara uygulanan ve klasik olarak adlandırılan 1 nesil kitler, tek noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanan elektronik kontrollü 2. nesil kitler, çok noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanan elektronik kontrollü 3. nesil kitler ve yine çok noktadan enjeksiyonlu motorlarda kullanılan ancak silindir içine direkt püskürtme yapabilme kabiliyetine sahip elektronik kontrollü 4. nesil kitlerdir.[1]

Benzinli araçların LPG dönüşümü sonrası söz konusu yakıtların farklı bir takım özelliklerini baz alan kontrol stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Benzine göre farklı bir yakıt olan LPG'nin, benzinli araçlarda sadece bu iki yakıtın ısı değerlerindeki farklılığa dayanan bir miktar hesaplaması ile kullanılması sağlıklı ve verimli bir uygulama değildir. Çünkü ısı değer haricinde, yakıtların farklılıklarını ortaya koyan oktan sayısı, difüzyon katsayısı ve alev hızı gibi kullanma performansını etkileyebilen birinci derecede önemli diğer yakıt parametreleri de vardır. Sonradan dönüşüm yapılan motorlarda sıkıştırma oranını değişken kılabilmek halen mümkün olan bir uygulama değildir. Bu nedenle sıkıştırma oranı ile en ilişkili parametre olan oktan sayısını dikkate alan bir optimizasyon maalesef yapılamamaktadır. Ancak difüzyon katsayısı ve alev hızları benzinden farklı olan yakıtların benzin yerine kullanılması halinde mevcut motorda yapısal herhangi bir değişikliğe gitmeden optimizasyon yapabilmek mümkündür. Bu bakımdan en önemli parametre de ateşleme avans açısıdır.[1]

Bu çalışmadaki temel yaklaşım, bir motorun püskürtme ve ateşlemesini kontrol etmek üzere bağımsız bir elektronik kontrol ünitesi tasarlayarak, başta LPG olmak üzere kullanılacak herhangi bir alternatif yakıt için optimum kullanım şartlarını ortaya koymaktır. Böylece LPG dönüşümü yapılmış içten yanmalı motorun çeşitli çalışma noktalarına ait güç, özgül yakıt sarfıyatı (verim) ve emisyon değerlerini optimize etmek mümkündür. Söz konusu hedefe ulaşmak için motorun mevcut tüm kontrol unsurlarının devre dışı bırakılması sonrasında ateşleme ve yakıt püskürtme fonksiyonları, bu tez kapsamında geliştirilen elektronik kontrol ünitesi(ECU) vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Böylece halen kullanılmakta olan LPG püskürtme sistemlerinden daha uygun maliyetlerle bir enjeksiyon sistemi tasarlanmıştır. Yapılan deneylerde motor performans haritası devir-yük (veya ortalama efektif basınç) düzleminde belirli sıklıkta taranmış ve geliştirilen kontrol ünitesi motorun benzinli çalışmasındaki değerlerinin dışına çıkarılarak güç, verim ve emisyon bağlamında bir performans optimizasyonu aranmıştır.

Bu tez çalışmasında hava yakıt karışımının ideal bir şekilde sağlanması amacıyla enjektör çalışma karakteristiğinde önemli olan parametrelerin ve bu parametrelerin etkisinin belirlenmesi temel amaçlardan biri olarak benimsenmiştir.

Bu araştırmada, otomobillerde alternatif yakıt kullanımı ile ilgili kapsamlı çalışma yapılmış ve LPG ECU'su çalışma ilkeleri üzerinde durulmuştur. Bu amaçla LPG sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ve darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile kontrol edilen örnek bir enjektörün, çalışma karakteristiğinin belirli parametrelere göre (darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, nüve açılma mesafesi, enjeksiyon süresi, sıcaklık ve fark basınç) incelenmesi amaçlanmıştır. Enjektörün çalışma karakteristiği belirlenerek, gaz yakıt sistemlerinden beklenenlerin sağlanabilmesi için konuyla ilgili literatür taraması yapılmıştır.

Bu çalışmada yeni nesil kapalı devre, çok noktalı ve sıralı gaz enjeksiyon sistemiyle çalışan, BRC marka LPG sistemi takılmış, benzinli 2011 model Toyota Corolla marka aracın LPG bileşenleri incelenerek, LPG elektronik kontrol ünitesinin(ECU) hangi protokollere göre çalıştığı, giriş-çıkış sinyalleri ve LPG enjektörlerinin enjeksiyon süreleri analiz edilmiştir. Çeşitli yol, hava ve hız durumuna göre enjeksiyon zamanı ve süresi değişimleri tespit edilmiş ve bu veriler ışığında yeni bir enjeksiyon sistemi tasarlanarak, gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen LPG ECU'su test aracına monte edilerek çalışma sırasında motor karakteristikleri ve performansı ile egzoz emisyonlarına etkilerine bakılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İçten yanmalı motor yakıtı olarak LPG, benzine nazaran birçok üstünlüğe sahiptir. Ancak halen Türkiye'deki mevcut uygulanma teknolojileri ile LPG'nin bu üstünlüklerinden olabilecek en üst düzeyde faydalanabilmek mümkün değildir. Ülkemizde bulunan benzinli araçların büyük bir çoğunluğunu karbüratörlü veya çok noktadan manifolda püskürtmeli yakıt besleme sistemlerine sahip araçlar teşkil etmektedirler. Karbüratörlü araçlarda ventürili veya bir başka ifade ile 1. nesil, çok noktadan manifolda püskürtmeli araçlarda ise sıralı enjeksiyonlu LPG kitleri kullanılmaktadır. 1. nesil LPG kitleri ilkel yapıda olup son derece verimsiz sistemlerdir. Sıralı enjeksiyon LPG kitleri ise sadece püskürtme işlemi üzerinde basit birkaç kalibrasyon yapılabilmesine olanak sağlarken, motorun verimli çalışmasında hayati önemi olan ateşleme avans açılarının optimizasyonu ile ilgili olarak sınırlı bir yeteneğe sahiptir. Çok sayıda ve birbirleri ile karmaşık etkileşimleri olan parametrelerle çalışan bir içten yanmalı motoru, farklı özellikleri olan bir başka yakıtla çalıştırırken yapılan sınırlı parametrik değişiklikler verimli çalışma için yeterli değildir. O bakımdan LPG püskürtmeli araçlarda elektronik kontrol ünite stratejisi tamamen LPG'ye özgü olacak şekilde belirlenmelidir. Bu değerlendirme doğalgaz veya diğer alternatif yakıt uygulamaları için de geçerlidir.[1]

Bu tez kapsamında LPG dönüşümü yapılan araçlarda meydana gelen verimsiz çalışma şartları araştırılmış ve bu şartların iyileştirilmesine yönelik yakıt püskürtme işlemlerinin optimize edildiği yeni bir elektronik kontrol ünitesi prototip olarak üretilmiştir. Bu çerçevede tezin literatür araştırması, LPG dönüşümü yapılmış içten yanmalı bir motorun performansının yakıt püskürtme parametrelerinin kontrolüyle optimize edilmesini kapsamaktadır. Ancak literatürde bahsi geçen kapsama uygun yapılmış araştırmaların sayısı oldukça azdır. İlişkili konulara genel bir bakış yapılırsa da bu tez kapsamındaki konular derinlemesine araştırılmıştır.

Farklı yakıt tiplerinde araçlarda kullanılan içten yanmalı motorların performans optimizasyonları günümüzde birçok araştırmacının ilgi konusu haline gelmiştir. Gerek çevre bilincinin artması ve gerekse dünyamızdaki fosil kaynakların daha ekonomik kullanılma gerekliliği söz konusu araştırmaların yoğunlaşmasındaki iki önemli neden olarak gösterilebilir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan alternatif

yakıtlar arasında en yaygın olanları LPG, CNG, LNG, biyodizel, metanol –M85, etanol -E85 ve H₂ şeklinde sıralanabilir. Alternatif yakıtların çeşitliliğine ve avantajlarına rağmen alternatif yakıtla çalışan araç sayısı hala beklenen sayıya ulaşmamıştır. Bunda motor ve taşıt üzerinde yapılması gereken modifikasyonların yanında alternatif yakıtların taşınması, depolanması ve dağıtım problemleri de etkilidir. Literatürde saf halde CNG, LPG, LNG, M85, E85, benzin, H₂ veya bu yakıtların belirli oranlardaki karışımları ile power gaz ya da aqua fuel olarak adlandırılan özel karışımlar gibi gaz ya da sıvı halde bulunan yakıtların içten yanmalı buji ateşlemeli motorlarda kullanımı ile alakalı pek çok araştırmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalarda esas itibari ile ateşleme avansı, püskürtme süresi ve avansı, sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı değeri gibi parametreler üzerinde ve karışım yakıtların karışım oranları üzerinde durularak, motor performans ve egzoz emisyonları incelenmiş ayrıca söz konusu yakıtların araçlarda sorunsuz ve güvenli bir şekilde kullanılması için gereken önlemlerden bahsedilmiştir.[1]

ERKUŞ'un (2011) doktora tezinde, LPG dönüşümü yapılmış buji ateşlemeli içten yanmalı bir motorun optimum şartlarda çalışmasında önemli etkileri olan ateşleme avansı ve yakıt-hava oranı parametreleri dikkate alınarak bir performans iyileştirme stratejisi ortaya konmuştur. Tez temel olarak 5 farklı aşamadan meydana gelmiştir. Bunlar; Motorun orijinal ateşleme avansı eğrileri sınırlı sayıdaki vakum değerleri için literatürden elde edilmesi, farklı çalışma şartlarındaki farklı vakum değerleri için gerekli avans değerleri interpolasyonla hesaplanması, karbüratörlü deney motoruna 1. nesil LPG kiti montajı yapılarak, benzin ve LPG kullanımları arasındaki farklılıklar ortaya konması, karbüratörlü deney motorunun üzerinde bulunan ve Digiplex ticari markasına sahip orijinal ateşleme kontrol ünitesi, tasarımı bütünüyle ERKUŞ'un doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen ateşleme kontrol ünitesi ile değiştirilmesi ve son olarak LPG kullanımında ateşleme avansı değişimlerinin motor performansı üzerindeki etkilerini gözlemlenmesi olarak sıralanabilir. Söz konusu tez kapsamında karbüratörlü motorda deneylerin sonuçlandırılması sonrasında, karbüratör devre dışı bırakılmış ve tasarımı bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen LPG püskürtme sistemi motora monte edilmiştir. Bu işlem sonrasında tasarlanan ateşleme ve yakıt kontrol üniteleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sırasında orijinal ateşleme avans değerleri kullanılmıştır. Bu aşamada karbüratörlü ve püskürtmeli yakıt besleme sistemlerinin motor performansı üzerindeki etkilerinin kıyaslanabilmesi mümkün olabilmiştir. Son olarak LPG püskürtme sistemine sahip motorda ateşleme avans değerleri değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan LPG enjeksiyon sistemi ile gerçekleştirilen tüm deneylerde 3-yollu katalitik dönüşüme en uygun hava fazlalık katsayısı değeri olan 1 civarında kalınmaya gayret edilmiştir. Sonuç olarak; deney motoru tasarlanan ateşleme ve LPG püskürtme kontrol üniteleri vasıtasıyla başarılı bir şekilde çalıştırılabilmektedir.[1]

Bu tez kapsamında tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol sistemine oldukça benzer ancak özellikle emisyonların iyileştirilmesinin hedef olarak alındığı gaz fazında LPG yakıt püskürtme kontrol sistemi Li ve ark. (2003) tarafından geliştirilmiştir. 4 zamanlı, tek silindirli, buji ateşlemeli ve karbüratörlü bir motor üzerinde, klasik LPG sistemi ve tasarımı yapılan enjeksiyon sisteminin kullanıldığı testler arasında yapılan mukayesede hemen hemen aynı hidrokarbon (HC) emisyon değerleri elde edildiği halde (azot oksit) NO_x ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarında ciddi miktarlarda iyileşmeler gözlemlenmiştir. Tasarlanan enjeksiyon sistemi ile yapılan testlerde; HC emisyonları genel olarak 300 ppm değerinin altında gerçekleşirken, 3000 d/dak motor devri üzerinde 200 ppm değerinin altında kontrol edilebilmişler, tüm motor yüklerinde NO_x emisyon değerleri 2600 ppm seviyesinin altında kalırken klasik LPG kitininin kullanıldığı testlere nazaran 2000 ppm'lere varan iyileşmeler elde edilebilmiş, CO emisyon değerleri ise yaklaşık %40'lık iyileşme sonucunda %3,5 değerinin altında gerçekleşmiştir.[6]

Mistry'nin (2005) buji ateşlemeli bir motora mikser vasıtasıyla LPG ve CNG uygulaması yaptığı çalışmasında, motordan optimum performansın alınabilmesi için en önemli kriterin uygun ateşleme zamanları olduğu belirtilmiş, ateşleme zamanlamasının; efektif özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve efektif güç gibi bir motorun bütün önemli parametrelerini etkilediğinden bahsedilmiştir.[7]

Yaptığımız çalışmadakine benzer bir optimizasyonun teorik olarak gerçekleştirilmesi şeklinde bir çalışmada ise; Borat (1997) bir buji ateşlemeli motorda maksimum

motor momentini veren ateşleme avansı optimizasyonunu gerçek yakıt-hava çevrimi analizi üzerinden teorik olarak hesaplamış ve silindir basıncı, hacmi, sıcaklığı, efektif güç, tork, yakıt debisi, özgül yakıt tüketimi ve ortalama efektif basınç gibi motor büyüklüklerinin ateşleme avansı ve devre bağlı değişimlerini değişik çevrimler için belirlemiştir. Bu büyüklükler benzin, metanol ve doğal gaz için ayrı ayrı elde edilmiştir. Daha sonra analiz ve değerlendirmeler ışığında tasarlanacak motorun karakteristik performans eğrileri çıkarılmıştır. Daha ekonomik ve çevreci motor stratejilerinin ortaya konmasına yönelik yapılan araştırmaların bir kısmı daha fakir karışımlarda çalışabilme sınırları ile ilgilidir. [8]

4 zamanlı, tek silindirli buji ateşlemeli bir motorda kullanılmak üzere, gaz fazında LPG püskürtme ve ateşleme işlemlerinin kontrolüne yönelik bir sistem Hu ve ark. (2006) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada yüksek enerjili ateşleme bobinlerinin, çift buji kullanımının ve ateşleme zamanlamalarının yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.[9]

2 zamanlı tek silindirli bir motorda kullanılmak üzere LPG enjeksiyon kontrol sistemi Loganathan ve Ramesh (2007) tarafından geliştirilmiştir. LPG'nin gaz fazında püskürtüldüğü testler ile benzin enjeksiyon ve 1. nesil klasik LPG yakıt sistemleri kullanarak gerçekleştirilmiş testler bu çalışma kapsamında mukayese edilmiştir. Tüm testler 3000 d/dak motor devri, %10, %15, %25, %40, %50 ve %100 gaz kelebeği açıklıklarında ve 22 derece ateşleme avansında gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları mukayese sonucunda; LPG'nin karbüratör ve enjeksiyon sistemi vasıtasıyla sevk edildiği durumlar arasında performans ve emisyonlarda ciddi farklılıklar gözlemlenebildiği halde bu ciddi farklılıkların enjeksiyonlu LPG ve benzin deneylerinde söz konusu olmadığını ortaya koymuşlardır.[10] Bayındır ve ark. (1997), LPG'nin araçlarda yakıt olarak kullanılması ve araç parametreleri ve atık gaz sonuçları üzerine çalışma yapmıştır. [11]

Çetinkaya (1998), vermiş olduğu panelde, İçten yanmalı motorlar, katı, sıvı ve gaz yakıtlardan her hangi birini veya ikisini (çift yakıtlı motorlar) kullanılabileceğini ve katı, sıvı yada gaz olsun, herhangi bir yakıtın otomotiv yakıtı olarak seçiminde dikkate alınan en önemli kriterlerin; bulunabilirliği ve fiyatı, birim hacim veya

kütlesinin ısı değeri, temin etme, depolama ve motorda yakma için gerekli sistemlerin karmaşıklığı olduğunu belirtmiştir. [12]

Demirbaş (2002), LPG li araçlarda araç donanımının ne gibi farklı etkilere maruz kaldığını araştırmış ve benzinli çalışma durumuna göre motor parçalarının daha az deformasyona uğradığını tespit etmiştir.[13]

İçingür ve ark. LPG'nin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca otomobillerde kullanılan LPG sistemlerini derinlemesine incelemiştir.[14]

Yamin ve Bardan (2002), çalışmalarında motor ısı kayıpları üzerinde durmuş, LPG nin ne gibi olumlu sonuçlar doğurduğunu ispatlamışlardır. [15]

Murillo et al. (2005)benzin yerine LPG kullanımı neticesinde, havaya karışan karbonmonoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve nitrikoksit (NOx) değerlerini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda belirgin bir güç kaybı yaşamadan CO ve HC değerlerinde azalma, NOx çıkışında ise artış tespit etmiştir. [16].

Bayraktar ve Durgun (2004) içten yanmalı bir motorda lpg dönüşümü yapılması sonrası ekzoz emisyon değerlerinin değişimi üzerine yaptıkları çalışmada bilgisayar algoritması kullanarak yakıt hava karışımlarını sabit tutarak farklı hızlarda egzoz gazlarında ne gibi değişimler olduğunu araştırmışlardır. Egzoz salınımlarının LPG kullanımıyla çevreye olumlu sonuçları olacağını ortaya koymuşlardır.[17]

Emen (2000) çalışmalarında benzin ve motorinle çalışan motorlarda gaz yakıtların kullanılmasının yaklaşık %67 tasarruf sağlayacağını yapmış olduğu deneylerle ispatlamıştır.[18]

Dinler ve Yücel LPG kullanıcılarının sıklıkla şikayet ettiği araç performansı düşüklüğü nedenleri üzerinde çalışmış FORd marka bir araçta LPG dönüşümü yaparak gazın daha homojen silindir içerisine girmesiyle ne gibi performans kazanımları oluştuğunu araştırmıştır. LPG kiti seçiminde karıştırıcının önemini ve hava yakıt karışımının gaz ayarı yapılması suretiyle belirli aralıklarda kontrolünün yapılmasını önermiştir.[19]

Benzin ve LPG kullanımlarının mukayeseli bir çalışması Gerini ve ark. (1996) tarafından yapılmıştır. 1,4 litre buji ateşlemeli tek noktadan enjeksiyonlu ve katalitik konvertörlü bir motorun kullanıldığı bu çalışma kapsamında LPG'li çalışma şartları için optimum ateşleme avans değerleri, oluşan en iyi moment değerlerinin baz alınmasıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. [20]

Benzin ve LPG kullanımlarının mukayesesine dayalı olan bir çalışma Smith ve ark. (1997) tarafından yapılmıştır. 1,4 litre, 4 silindirli, buji ateşlemeli, katalitik konvertörlü ve çok noktadan benzin enjeksiyonlu bir motorla 2000, 3000 ve 4000 d/dak motor devirlerinde ve çeşitli yük değerlerinde yapılan deneylerde gaz fazındaki LPG tek noktadan sisteme verilmiştir. Testlerde; ortalama efektif basınç değerleri tüm deney noktalarında daha düşük çıkarken, tam yükte efektif verim %8 daha iyi çıkmıştır. [21]

LPG kullanımlarında fakir karışımlarda çalışabilme sınırının tespitine yönelik olan bir çalışma Alasfour (2001) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada artan motor devrinin, yükünün ve giriş hava sıcaklığının fakir karışımlarda çalışabilme sınırını olumsuz etkilediğinden bahsedilmiştir.[22]

Bu konuda yapılan bir başka çalışma ise Li ve ark. (2002) tarafından tek silindirli, buji ateşlemeli ve karbüratörlü bir motorda LPG kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; daha yüksek motor yükü, daha düşük motor devri, daha erken gerçekleştirilen ateşleme, daha geniş buji tırnak açıklığı ve daha yüksek sıkıştırma oranının fakir karışımlarda çalışabilme sınırını olumlu yönde etkilediğinden bahsedilmiştir.[23]

Li ve ark.'nın (2002) LPG dönüşümü yapılmış buji ateşlemeli, 4 zamanlı tek silindirli bir motosiklet motoruyla yakıt hava oranı ve sıkıştırma oranı parametrelerinin yanı sıra ateşleme zamanlamalarının emisyon oluşumları üzerine etkilerini incelemişlerdir.[24]

Lee and Ryu (2005) buji ateşlemeli LPG motorunda LPG alevinin yayılmasını ve yanma karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı hava yakıt oranı ve

ateşleme avanslarıyla yaptıkları moment ölçümlerinde; ateşleme avansı optimizasyonu ile stokiyometrik karışıma nazaran %50'ye varan oranlarda daha fakir karışımlarda bile hemen hemen aynı seviyede moment değerleri elde edebilmişlerdir.[25]

Gyeung ve ark.'nın (2005) yılında, tek silindirli buji ateşlemeli bir motorla yaptıkları çalışmada LPG'yi mikser kullanarak gaz fazında ve enjektör kullanarak sıvı fazda manifolda püskürtmüşlerdir. Aynı devir değerlerinde maksimum momentin elde edildiği ateşleme avansları arasında yapılan mukayesede, LPG'nin enjekte edildiği durumlarda maksimum moment daha yüksek ateşleme avanslarıyla elde edilmiştir.[26]

Solmaz (2005) araştırmasında LPG sistemi takılmış bir araçta motor soğukken ilk harekete yardımcı olacak bir düzenek kurmuştur. Araştırmada 25 adet test yapmış bunlarda değişik ortam sıcaklıklarında, kızdırma sistemi aktifken ve aktif değilken motor ilk kalkınmasıyla ilgili değişik neticeler almıştır. Bunlar sonucunda LPG nin 0C altındaki sıcaklıklarda devreye girmediği, kızdırma düzeneğine ihtiyaç duyduğu sonucuna varmıştır.[27]

Gümüş (2011), çalışmasında, sıralı ve çok noktadan gaz enjeksiyon sistemi ile donatılmış bir SI motorda, farklı LPG kullanım seviyelerinde (%25, %50, %75 ve %100) motor emisyon karakteristikleri üzerine volumetrik verimin değişim etkilerini araştırmıştır. Egzoz emisyonlarında en iyi sonuçları ise, %100 LPG kullanımında sağlandığını tespit etmiştir.[28]

Aydın (2006) araştırmasında LPG dönüşümü yapılmış bir motorun çalışma karakteristiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi incelenmiştir ve taşıt üzerindeki motor, LPG ve benzinle çalıştırılarak egzoz gazı ve güç değişimleri gözlemlenmiştir.[29]

Nergiz (2008) çalışmasında benzinle ve LPG ile çalışan bir sistemin kayıpları üzerine derinlemesine inceleme yapmıştır. Ayrıca egzoz gazı emisyon değerini benzinli ve LPG'li çalışma durumlarına göre ortaya koymuştur.[30]

Gong et al. (2011) çalışmalarında, soğuk çalışma sırasında, enjeksiyon girişi elektronik olarak kontrol edilen LPG ve metanol motorlarının düzensiz emisyonları ve tutuşma davranışı üzerine, ortam sıcaklığının etkilerini tek çevrim yakıt enjeksiyon stratejisini kullanarak deneysel olarak araştırmışlardır.[31]

Kocagöz (2009) çalışmasında; LPG'nin kullanımıyla oluşan volumetrik verimdeki azalmayı çift yakıt (Benzin+LPG) kullanımıyla önlemeye çalışmıştır. Farklı oranlardaki benzin+LPG karışımlarından oluşan yakıtların kullanımında volumetrik verim ve buna bağlı olarak motor performansı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının değişimi incelemiştir. Deneysel sonuçları; karışımdaki LPG miktarının yükselmesiyle volumetrik verim de düşme saptanmıştır. [32]

Solmaz ve ark., LPG ile çalışan, dört silindirli, su soğutmalı, 1,6 litre silindir hacimli, Fiat marka, benzin motorunda, -10 ve +10 °C ortam sıcaklığını sabit tutarak motor ilk kalkınmasını incelemiştir. Bir ısıtma sistemi vasıtasıyla LPG sıcaklığını artırıp deneyleri tekrarlamışlar sonuçta düşük sıcaklıklarda LPG nin dezavantajlarını ortaya koyarak bir ısıtma sistemi gerekliliğini vurgulamışlardır. 50 °C'ye ayarlanmış sıcaklık kontrol düzeneğiyle 8 sn de ilk hareketin yapıldığını ortaya koymuşlardır.[27]

Bahsi geçen bu çalışmalar gibi birçok çalışma, LPG'nin ekonomik ve çevreye diğer fosil yakıtlarına göre az zarar vermesi nedeniyle yapılmıştır. LPG üzerinde yapılan çalışmaların bir sebebidir içten yanmalı benzinli motorlara çok kolay adapte edilen sistemler geliştirilmiş olmasıdır.

3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA LPG KULLANIMI

3.1.İçten Yanmalı Motorlar

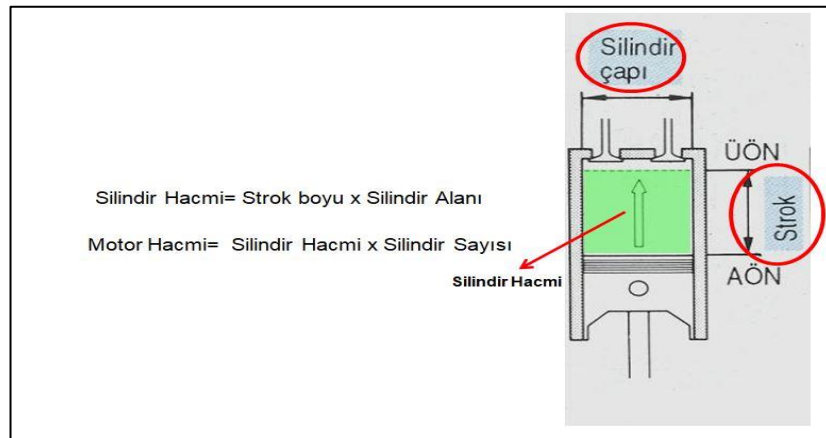
“Yakıttan elde ettiği ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelere motor denir. İçten yanmalı ve dıştan yanmalı motorlar olmak üzere ikiye ayrılır. Yakıtı yanma odasında (silindir) yakarak oluşan ısı enerjisini krank-biyel mekanizmasıyla hareket enerjisine çeviren motorlara içten yanmalı motorlar denir”.[35]

İçten yanmalı motorlar temelde 2 ve 4 zamanlı olmak üzere ayrılırlar. Silindir yapılarına göre sıra tipi, V tipi, boksör tipi ve yatık tip içten yanmalı motorlar mevcuttur. Silindir sayıları bakımından 1, 2, 4, 6 ve 8 silindirli içten yanmalı motorlar olarak çeşitleri vardır. Yakıt türüne göre benzinli, dizel, LPG’li ve doğalgazlı içten yanmalı motorlar olarak ayrılırlar.

3.2. Benzinli Motorlarla İlgili Teknik İfadeler

Üst Ölü Nokta ve Alt Ölü Nokta

Pistonun silindirin içinde yukarı-aşağı hareketi esnasında en üst ve en alt noktalarda dönüş yaptığı ve hareketin oluşmadığı andaki konumuna ölü noktalar denir. Bu noktalar Şekil 1’de görülmektedir. Piston üstte ise o nokta üst ölü nokta(ÜÖN) ile ifade edilir, altta ise alt ölü nokta(AÖN) denir.



Şekil 1 İçten Yanmalı Motora Ait Silindir Kesiti[40]

Strok (Kurs)

Üst ölü nokta(ÜÖN) ile alt ölü nokta arasında hareket eden pistonun hareket uzunluğudur.

Strok hacmi

Kurs boyunun ve silindir çapının bilinmesiyle elde edilir. Boyu kurs boyuna eşit olan silindirin hacmidir.

Yanma Odası Hacmi

Piston tam üst ölü noktadayken silindir kapağı arasında kalan hacimdir.

Silindir Hacmi

Silindirin toplam hacmini ifade eder. Araçlar genellikle bu bilgiyle beraber tanımlanır.

Toplam Silindir Hacmi

Silindir hacimlerinin toplamıdır. Bu hacim araç motor gücüyle orantılıdır.

Sıkıştırma Oranı

Silindirde oluşan en büyük hacmin (Silindir hacmi) (V_{mak}) en küçük hacme (yanma odası hacmi) (V_{min}) oranına sıkıştırma oranı (r) denir.

Volumetrik verim

Emme strokunda silindire emilen hava yakıt karışımının miktarı çevrim başına elde edilen işle doğrudan bağlantılıdır. Volumetrik verim; emme hareketi neticesinde silindire alınan hava yakıt karışımının hacminin aynı karışım miktarının atmosferdeki hacmine oranıdır.

İçten Yanmalı Motorlarda Mekanik Verim

Krank milin aktarılan mekanik işin giren işe oranıdır.

İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Verimi

Yanma sonucu ortaya çıkan ısının efektif işe dönüşme oranıdır.

İçten Yanmalı Motorlarda Hava Fazlalık Katsayısı

İçten yanmalı motorda hava yakıt oranını gösteren bir terimdir. Hava fazlalık katsayısı değeri λ 'dir. λ gösterilir.

İçten Yanmalı Motorlarda Kompresyon

Yanma odasının sıkıştırma sonrası basıncıdır. Bu basınç benzinli motorlarda 10 ile 15 bar civarındadır.

Motor Avansı ve Ateşleme Avansı

Hava yakıt karışımının en uygun şartlarda, en yüksek sıcaklık ve basınçta ateşlenmesi için ve vuruntu yapmaması için, ateşlemeye Ü.Ö.N dan önce belirli bir avans verilir, yani ateşleme öne çekilir. Bu avans motor devrine bağlı olarak ve distribütör aracılığıyla değiştirilir. Yeni nesil araçlarda bu avans elektronik kontrol ünitesi (ECU) aracılığıyla ayarlanır.

İçten Yanmalı Motorlarda Zaman

“Krank milinin her bir 180 derecelik dönme hareketine ve pistonun Ü.Ö.N ile A.Ö.N arasında yaptığı harekete zaman denir. Örneğin dört zamanlı bir motorda 4 farklı hareket vardır. Dört zamanlı motorlarda bir zaman; krank milinin dönüş açısı olarak 180°dir. Buna göre dört zaman 720° de tamamlanır. Bu sürenin tamamına da bir çevrim denir. Çevrim; bir işin oluşması için geçen süreçtir. Motordan, bir çevrimde bir iş alabilmek için; silindir içine hava ve yakıtı uygun oranda alarak, bunun uygun koşullarda yakılmasını sağlamak gerekir. Asıl hedef, açığa çıkan ısı enerjisini, en az kayıplarla mekanik enerjiye dönüştürmektir. Bu işlem hacimsel (Volümetrik) verimi arttırmak ve her koşulda optimum doldurma ve boşaltmayı gerçekleştirmek için yapılır. Bunun sonucunda, zamanların teorideki 180° lik süreleri değişir.”[36]

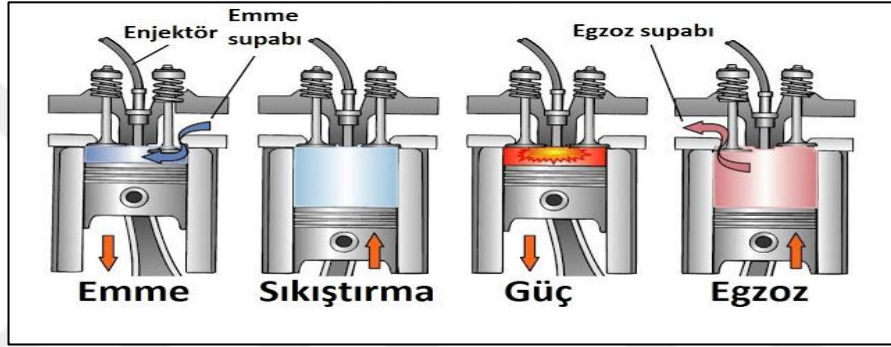
Dört zamanlı motorda bir çevrimin oluşumu;

1-Emme zamanı (180°)

- 2-Sıkıştırma zamanı (180°)
- 3-İş zamanı (Ateşleme ve genleşme) (180°)
- 4-Egzoz zamanı (180°)

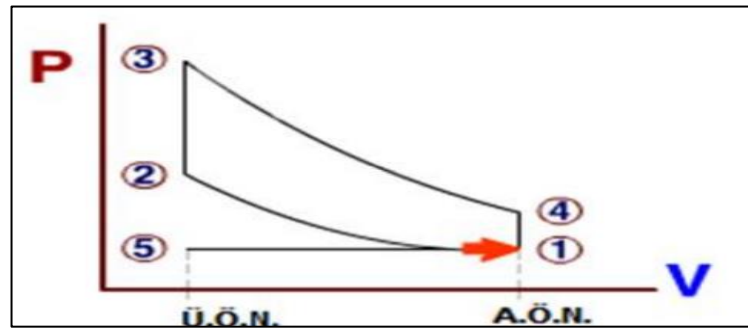
3.3. Otto Çevrimi

“İlk Dört zamanlı (benzinli) motor 1870 yılında Alman mucit Nikolaus August Otto tarafından bulunmuştur. Benzinle çalışan motorlara *Otto Motor* ya da *Otto Çevrimi* adı verilmiştir.”[35].



Şekil 2 Otto Çevriminde Silindir-Piston Durumları[40]

Otto çevrimi sırasında oluşan silindir durumları Şekil 2’de görülmektedir. Otto çevrimi sırasında silindir içerisinde oluşan Basıç(P)-Hacim(V) grafiğine ise Şekil 3’te yer verilmiştir. Bu grafikte emme, sıkıştırma, güç ve egzoz zamanlarında silindir içerisindeki basıç(P)-hacim(V) değişimi açıkça görülmektedir.



Şekil 3 Otto Çevriminde P-V grafiği[37]

Emme Zamanı

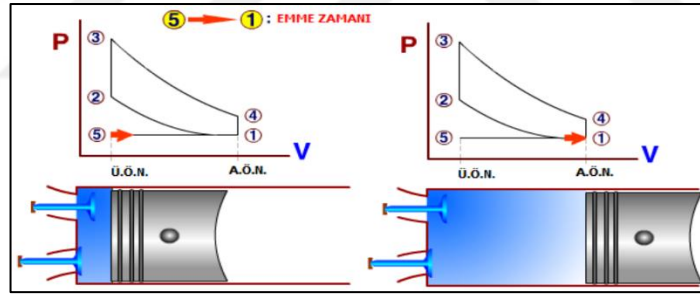
“Teorik olarak pistonun, silindir içerisinde Ü.Ö.N.’den A.Ö.N.’ye hareketi ile emme supabı açılır. Silindirde ki hacim büyümesi, içerideki basıncın düşmesine neden olur. Silindir, emme supabı ve emme manifoldu ile atmosfere açık olduğundan, iki basınç farkı Şekil 4’te görüldüğü gibi havanın silindire doğru hareketlenmesine yol açar.”

Motorun yakıt sistemine göre;

a) Karbüratörlü sistemlerde silindire doğru giden havanın içerisine, ventüri boğazından geçerken belirli oranda yakıt karıştırılır. (14,7 / 1 oranında).

b) Püskürtmeli sistemlerde ise, giren hava ağırlığına göre yakıt püskürtülür. (Direk Enjeksiyonlu sistemlerde silindir içerisi ne püskürtülür).

Gerçek çevrimde, emme supabı, piston bir önceki çevrimin egzoz zamanı bitimine doğru Ü.Ö.N.’ye gelmeden 0-30° önce açılır. A.Ö.N.’yi ise 0-60° geçtikten sonra kapanır.”[37]

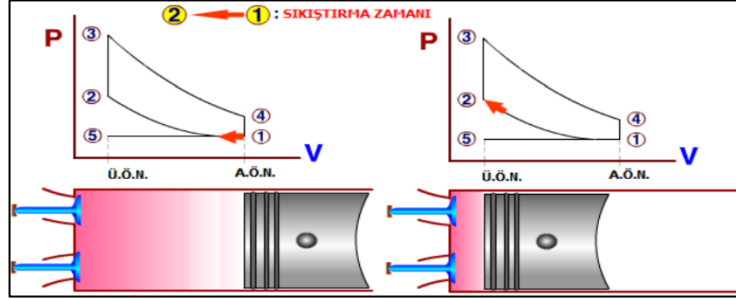


Şekil 4 Otto Çevriminde Emme Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği[37]

Sıkıştırma Zamanı

“Piston, A.Ö.N.’den Ü.Ö.N. ye hareketine başlarken, o silindirde bulunan tüm supablar kapalıdır. Silindir içerisindeki gaz Şekil 5’te bulunan Otto çevriminde sıkıştırma zamanı silindir durumu ve hacim-basınç(P-V) grafiğinde görüldüğü gibi bir duruma gelerek basınç oluşturmuştur. Bu durumda Ü.Ö.N.’ye doğru hareket başlayan piston, içeride hacim küçülmesi yaratır. Pistonun bu hareketi, karışımın basıncını ve sıcaklığını artırır. Basınç, pistonun Ü.Ö.N.’ye yaklaşmasıyla 10-15

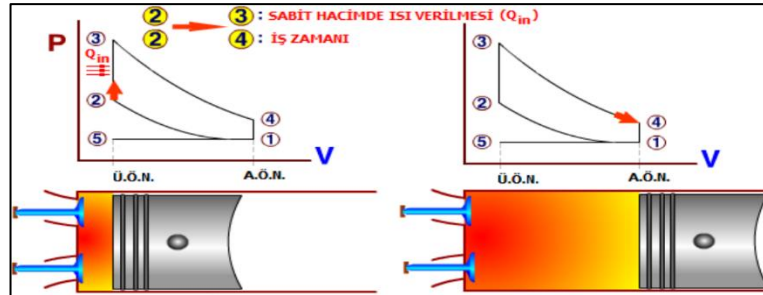
Bar'a ulaşır. Sıcaklık ise 400-500° C'nin üzerine çıkar. Bu sıcaklık değeri karışımın tutuşma sıcaklığına yakın bir değerdir." [37]



Şekil 5 Otto Çevriminde Sıkıştırma Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği[37]

İş (Ateşleme ve Genleşme) Zamanı

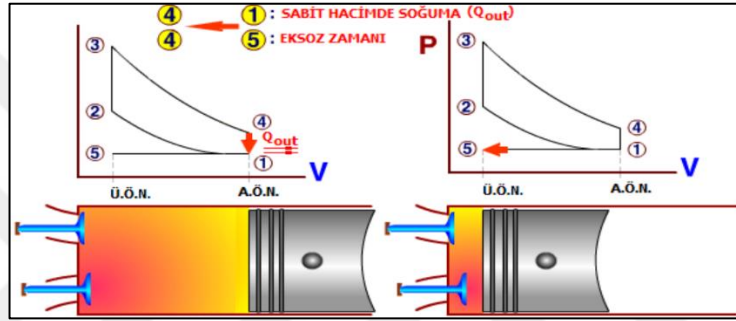
“Sıkıştırılan hava-yakıt karışımının, buji tırnakları arasında yaratılan kıvılcımla tutuşması sağlanır. Yanma basıncı en yüksek değerinin, pistonun Ü.Ö.N.'yi 5-10 °'yi geçtikten sonra oluşması istenir. Bu nedenle kıvılcım, piston daha Ü.Ö.N.'ye gelmeden oluşturulur. Buna "Ateşleme Avansı" denir. Bu değer motorun tüm çalışma koşullarına göre değişir. Otto çevriminde iş zamanı silindir durumu ve basınç-hacim(P-V) grafiği Şekil 6'da görülmektedir. Yanma ile başlayan genleşme, basıncın 40-50 bara çıkmasına neden olur. Bu basınç, piston tepesine uygulanan itme kuvvetine dönüşerek, pistonun A.Ö.N.'ye doğru itilmesini sağlar.”[37].



Şekil 6 Otto Çevriminde İş Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği[37]

Egzoz Zamanı

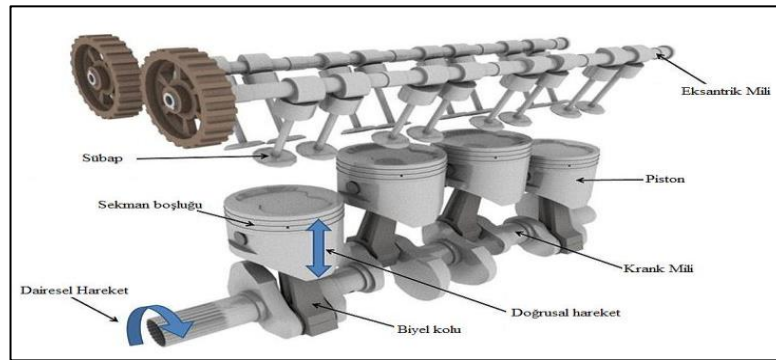
“Pistonun, A.Ö.N.’den Ü.Ö.N.’ye hareketi ile egzoz supabı açılmaya başlar. Bu durum Şekil 7’de Otto çevriminde egzoz zamanı silindir durumu ve basınç-hacim (P-V) grafiğinde görülmektedir. İçerideki 6-7 barlık basınç yardımıyla yanmış gazların dışarıya daha kolay atılması sağlanır. Bu dışarıya atım işlemi, pistonun tekrar Ü.Ö.N.’ye gelmesine kadar devam eder. Gerçek çevrimde, egzoz supabı, piston A.Ö.N.’ye gelmeden açılmaya başlar. (0-60°). Kapanması ise, piston tekrar Ü.Ö.N.’yi geçmesine kadar sürer. (0-30°)”[37]



Şekil 7 Otto Çevriminde Egzoz Zamanı Silindir Durumu ve P-V Grafiği[37]

3.4.İçten Yanmalı Motorun Parçaları

İçten yanmalı motorlar büyük oranda Şekil 8 de görüldüğü gibi 4 silindirli olarak imal edilirler. Silindirler belirli bir sırayla hareket ederler. Motorun yapısında Şekil 4’teki yerleşim düzeniyle subap, biyel kol, krank mili, piston ve eksantrik mil bulunur.



Şekil 8 İçten Yanmalı Bir Motorun İç Yapısı[40]

3.5.Taşıtlarda Bulunan Sistemler

İçten yanmalı motorlarla hareket eden araçlarda tezimizle doğrudan alakalı olan bazı sistemler ve parçaları şunlardır; ateşleme, yakıt, yağlama, soğutma, şarj, marş, egzoz, elektrik ve aydınlatma, güç aktarma organları, fren, süspansiyon, göstergeler sistemi gibi sistemler bulunur.

3.6.Alternatif Yakıt Olarak LPG

LPG, Liquefied Petroleum Gases kelimelerinin baş harfleri ile ifade edilen sıvılaştırılmış petrol gazı kısaltmasıdır. LPG ticari bütanın ve ticari propanın genel adıdır. Petrol ve gaz endüstrilerinde üretilen hidrokarbon ürünüdür[40]. Ulaşımında yakıt olarak LPG 1930'lu yıllardan beri kullanılmaktadır. LPG ile çalışan motorlar genellikle buji ile ateşlemeli motorlardır [39].

Bu sistemlerden en önemlisi ve ağırlıklı olarak tezimizle ilgili olanı yakıt enjeksiyon sistemidir. Enjeksiyon sistemi motora yakıt göndermeyi sağlayan sistemdir. Eski tip araçlarda bu görev mekanik olarak çalışan, hava akışına göre ne kadar yakıt gönderileceğini ayarlayan karbüratörler tarafından yapılırken yeni araçlarda enjeksiyon sistemiyle elektronik olarak kontrol edilmektedir. Bu sayede yakıtın miktarı ve ne zaman gönderilebileceği gibi parametreler ayarlanabilmektedir. Gaza basıldığında motor elektronik kontrol ünitesi ne kadar hava girişi olduğunu gösteren MAF sensöründen, emme manifoldun da ne kadar basıncın olduğunu gösteren MAP sensöründen, motorun ne kadar sıcaklıkta olduğunu gösteren sıcaklık sensöründen, krank milinin hangi açı konumunda olduğunu gösteren krank konum sensöründen ve kam milinin durumunu ve açısını bildiren kam mili sensöründen aldığı verileri birleştirerek ne kadar güce ve ne kadar torka ihtiyaç olduğunu hesaplar ve yakıtı enjektörlere gönderir.

Elektronik kontrol ünitesi(ECU) ile kontrol edilen iki tip enjeksiyon sistemi vardır. Tezimizde kullanacağımız sistem port enjeksiyon da denilen düşük güçlü atmosferik motorlarda kullanılan çok noktalı enjeksiyon sistemidir. Bu sistemde yakıt silindirin

içerisine doğrudan gönderilmez onun yerine emme manifolduna gönderilir ve burada hava ile karıştırılır. Emme zamanında emme supapları bu karışımı silindir içerisine alır. Diğer bir enjeksiyon sistemi de direkt enjeksiyon sistemidir ve yakıtın silindir içerisine doğrudan püskürtülmesini ifade eder.

LPG'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

“LPG kimyasal yapı ve özellikleri bakımından parafinler ve olefinler grubu içinde yer alır. Genellikle doğal gazdan, ham petrolün kuyudan çıkarılması ve rafinerilerde tasfiye edilmesi sırasında ham petrolden ayrıştırılarak elde edilen ve kolayca sıvılaştırılabilen propan ve bütan gazlarının basınç altında sıvılaştırılmış halidir. LPG, ağırlıklı olarak propan, bütan veya bu ikisinin farklı oranlarda karışımından oluşan, renksiz, kokusuz bir gazdır.”[32].

Tablo 1 Türkiye’de LPG içeriği[46]

TÜRKİYE	C4H10 (BÜTAN) %30 / C3H8 (PROPAN) %70
----------------	---------------------------------------

Tablo 1’de Türkiye’de LPG içeriğinde bulunan gazların oranları görülmektedir. Bu gazlar sıvılaştırılıp çeşitli oranlarda birleştirilerek piyasaya satılmaktadır. Karışım oranı iklim şartlarına göre farklılık gösterir, özellikle soğuk ülkelerde propan oranı daha fazladır. [42]. Tablo 2 de farklı ülkelerde LPG içindeki propan ve bütan oranlarına yer verilmiştir.

Tablo 2 Farklı Ülkelerde LPG İçindeki Propan ve Bütan Oranları[41]

ÜLKE	PROPAN/BÜTAN ORANLARI(%)	
	YAZ	KIŞ
TÜRKİYE	30/70	50/50
BELÇİKA	30/70	50/50
ALMANYA	PROPAN	PROPAN
DANİMARKA	50/50	70/30
İNGİLTERE	PROPAN	PROPAN
AVUSTURYA	20/80	80/20
HOLLANDA	30/70	70/30
İSVEÇ	PROPAN	50/50
İSVİÇRE	PROPAN	PROPAN

Propan, bütan ve benzin değerleri karşılaştırması Tablo 3 verilmiştir. Bu tabloya göre donma sıcaklığı açısından soğuk iklimlerde LPG'nin daha elverişli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3 Propan, Bütan ve Benzin Değerleri Karşılaştırması[45]

YAKIT	PROPAN	BÜTAN	BENZİN
KİMYASAL DENKLEM	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₈ H ₁₈
C/H ORANI	0,375	0,4	0,444
MOLEKÜL AĞIRLIĞI(KG/KMOL)	44,08	58,10	114,18
YOĞUNLUK			
SIVI(KG/M ³)	508	584	730
KATI(KG/M ³)	1,96	2,59	5,09
ALT ISIL DEĞERİ	46,19	45,46	44,3
STOKİYOMETRİK KARIŞIM(KÜTLECE)	15,54	15,36	15
TUTUŞTURMA SINIRI(%HACİM)	2,4-9,5	1,9-8,5	1,3-7,6
LAMİNER ALEV HIZI(M/S)	0,4	0,4	0,37
ADYABATİK ALEV SICAKLIĞI (C)	1980	2008	1993
KAYNAMA NOKTASI (C)	-42,3	-0,5	32-221
DONMA NOKTASI (C)	-187,8	-138,3	-56
KENDİ KENDİNİ TUTUŞTURMA SICAK (C)	493-549	482-538	257

LPG'nin avantajları ve dezavantajları

Likit petrol gazı kullanan araç motorlarında benzin yerine motorda LPG kullanılması tüketimde yaklaşık% 10 artışla sonuçlanır. Buna karşın daha yüksek oktan değerinden dolayı, LPG'nin yanması daha yumuşak olur, vuruntu ortadan kalkar ve motor sorunsuz çalışır. LPG de silindir duvarlarından yağ yakımı olmaz bunun neticesinde Tablo 4 verilen Egzoz Gazı Emisyon Değerlerinden de anlaşılacağı üzere egzoz emisyon değerlerinde azalma olur siyah karbon oluşmaz. Böylece motor ömrü arttırılır.

Tablo 4 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Direk Zehirleyici Etkileri)[18]

YAKIT TÜRÜ	CO(g/km)		HC(g/km)		NOX(g/km)		PARTÜKÜL(g/km)	
	SOĞUK	SICAK	SOĞUK	SICAK	SOĞUK	SICAK	SOĞUK	SICAK
BENZİN	1,97	0,45	0,27	0,10	0,18	0,13	0,011	0,004
LPG	1,01	0,53	0,15	0,009	0,15	0,10	0,006	0,006
CNG	0,36	0,34	0,37	0,17	0,17	0,14	0,011	0,003
DİZEL	0,68	0,49	0,12	0,09	0,78	0,74	0,085	0,074

Bujilerin elektrotlarında karbon birikintisinin olmaması nedeniyle bujilerin ömrü artar. Tablo 5 egzoz gazı emisyon değerleri (küresel ısınmaya etkileri) anlama açısından önemlidir. Tablodan LPG ve CNG nin çevreci yakıtlar olarak ön plana çıktığı görülmektedir.[18]

Tablo 5 Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Küresel Isınmaya Etkileri)[18]

YAKIT TÜRÜ	CO2-(g/km)	
	SOĞUK	SICAK
BENZİN	224	218
LPG	211	192
CNG	203	189
DİZEL	241	222

Bunun yanında LPG nin dezavantajları da vardır. Tablo 6'dan anlaşılacağı üzere yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle hacimsel verimliliği azaltır. Taşıma işlemi yaklaşık 18 bar basınçta yapılmalıdır. Kokusu çok net olmadığından sızıntı kolayca tespit edilemez. Özellikle kapalı otoparkların LPG li araçlar için özel olarak havalandırma sistemi yapmaması ülkemizde LPG li araçların park sorunlarını gündeme getirmiştir.

Tablo 6 Alternatif Yakıtlı Araçların Performanslarının Karşılaştırılması [47]

	BENZİN	DİZEL	CNG	LPG	HİDROJEN
HIZLANMA 0-100 KM/H(sn)	12	14	12	11	18
YAKIT TÜKETİMİ(dm3/100km)	6,9	6,0	29,4	7,6	21,4
57 LT TANK İLE MENZİL(km)	820	935	205	755	275
YAKIT DOLDURMA SÜRESİ(sn)	120	120	300	300	1800

LPG'nin Yanması

LPG yakıtının içerisinde bulunan karbon ve hidrojen, havanın içerisinde bulunan oksijen ile reaksiyona girerek ısı açığa çıkarır. Yanma reaksiyonunda yeterli oksijen bulunursa tam yanma meydana gelir. Yanmayan elemanlar ise azot ve sudur. [12]

3.7.İçten Yanmalı Motorlarda LPG Kullanımı

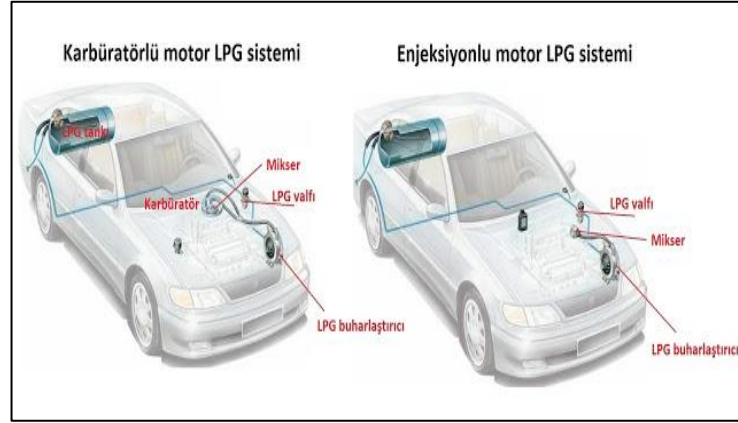
LPG'li araçların kullanımından buyana araç teknolojiye paralel olarak LPG sistemleri de gelişim göstermiştir. Günümüzde en yaygın motor çeşidi tezimizde kullandığımız sıralı sistem enjeksiyon sistemine sahip buji ateşlemeli içten yanmalı motorlardır. Bu motorlarda kullanılan piyasada sıralı sistem olarak adlandırılan çok noktadan enjeksiyon sistemli LPG kitleri ise en yaygın LPG sistemidir. Günümüz LPG sistemlerinin sınıflandırılmasında literatür taraması sırasında çok farklı sınıflandırmalara rastlanmış olursa da çalışma ilkeleri ve gelişim aşamaları göz önüne alındığında aşağıdaki gibi bir taksimata gidilmesi uygun olacaktır. [47]

- Karbüratörlü ve tek nokta yakıt enjeksiyonuna sahip LPG Sistemleri
- Çok noktadan enjeksiyonlu LPG sistemleri ve Çok noktadan enjeksiyonlu *sıralı* LPG sistemleri
- Sıvı LPG püskürtme sistemleri

Karbüratörlü ve Tek Nokta Yakıt Enjeksiyonuna Sahip LPG Sistemleri

Bu sistem iki çeşittir. Birincisi oksijen sensörü, katalitik konvertörü ve ECU'sü olmayan motorlar karbüratörlü veya enjeksiyonlu motorlar için kullanılan açık tip sistemler, ikincisi enjeksiyonlu, oksijen sensörü, katalitik konvertörü ve ECU'sü olan motorlarda kullanılan kapalı tip sistemlerdir. Şekil 9'da karbüratörlü ve enjeksiyonlu motorlar için mikserli LPG sistemi elemanları gösterilmiştir.

LPG sistemlerinin en önemli farkı yakıtı silindirler içerisine alma yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Karbüratörlü ve eski tip enjeksiyonlu motorlarda depodan sıvı olarak gelip regülatör tarafından gaza dönüştürülen LPG direkt olarak emme ağzına gönderilir.

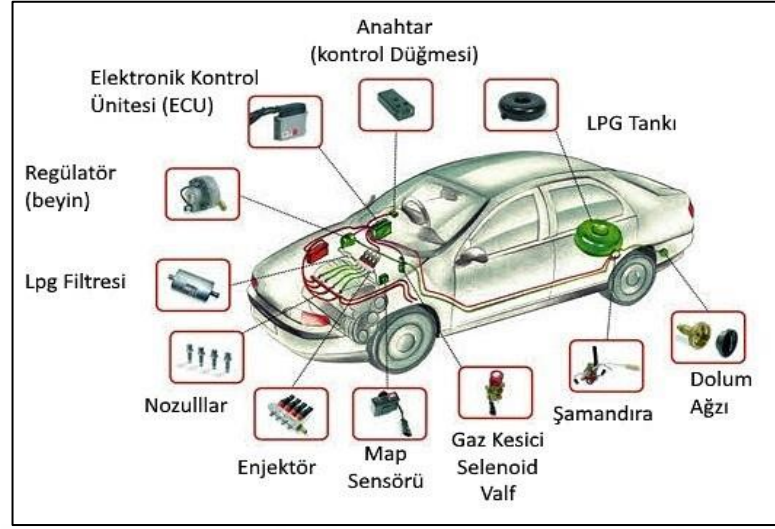


Şekil 9 Karbüratörlü ve Enjeksiyonlu Motorlar İçin Mikserli LPG Sistemi[37]

Çok Noktadan Enjeksiyonlu LPG Sistemleri Ve Çok Noktadan Enjeksiyonlu Sıralı LPG Sistemleri

LPG Tankın da bulunan gazın, yakıt hattı çekilerek motor kısmına getirilmesi ile Regülatör, yüksek basınç altında sıvı olan gazı buhar fazına çevirir. Regülatörden buhar fazında çıkan LPG filtre edilir ve pisliklerden arındırılır. Daha sonra enjektörler vasıtası ile silindirlere verilerek yanma sağlanmış olur.

Mekanik montajın ardından, araca özel kalibrasyon yapılır. Sistemin devreye girmesi için kalibrasyonun yapılması şarttır. Kalibrasyon ile LPG ECU'su aracın tüm çalışma parametrelerini hafızasına alarak benzin haritasının aynısını LPG için oluşturur. Şekil 10'da sıralı LPG sisteminin elemanlarının yerleşimi görülmektedir.



Şekil 10 Sıralı LPG Sisteminin Elemanlarının Yerleşimi[37]

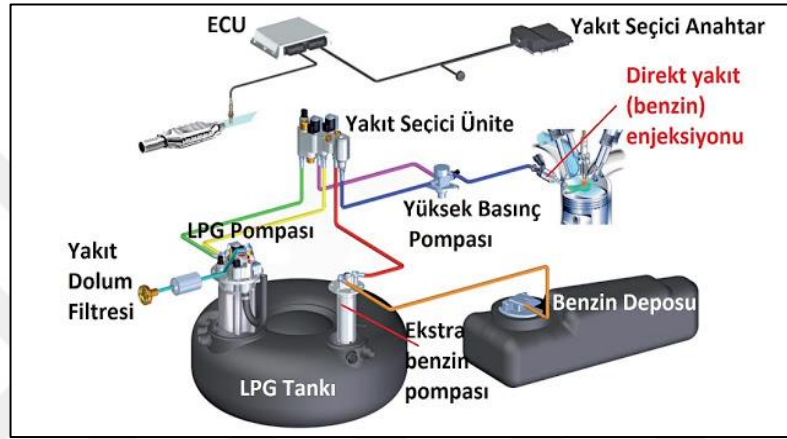
Sıvı LPG sistemi

Direkt enjeksiyonlu motorlar için kullanılan bir sistemdir. En son tanıtılan ve daha teknolojik özellikleri ile öne çıkan direkt enjeksiyonlu sıvı lpg sistemidir ve sıralı çok noktadan enjeksiyon sistemlerinin aksine ekstradan LPG yakıt enjektörleri bulunmaz. Sistem motorun kendi bünyesinde bulunan ve normalde benzin püskürten enjektörleri kullanır. Ayrıca bu enjektörler sıvı haldeki benzin yakıtını püskürtmeye göre tasarlandığı için de LPG yakıtı gaz değil sıvı olarak silindirler içerisine püskürtülür. Bu sayede de emme manifoldunun delinmesine ihtiyaç kalmaz, motorun orijinalliği korunur. Şekil 11’de direk enjeksiyonlu motorlar için sıvı LPG sistemi elemanlarını yerleşimine bakıldığında benzin ve LPG depolarının aynı anda yakıt göndereceği anlaşılmaktadır.

Manifoldun delinmesine ihtiyaç duyulmadan motorun orijinal hali ile kalmasını sağlayan sıvı LPG sisteminin avantajları şu şekildedir;

- Sıvı halde LPG kullanımı sayesinde motoru benzinsiz çalıştırma olanağı
- Benzin ile hemen hemen aynı tüketim değerlerine sahip olması sayesinde sıralı sisteme göre litre bazında yaklaşık %10 oranında daha düşük yakıt tüketimi
- Gaz haldeki LPG yerine sıvı LPG kullanılması sonucu kuru çalışmanın çok daha az olması

- Daha uzun bakım aralıkları (10.000km yerine 25.000km)
- Aracın orijinal hali ile hemen hemen aynı performans değerleri
- Sıvı LPG kullanımı sonucu özellikle supap kaynaklı arızaların çok daha az olması
- Motor ömrünü sıralı sistemlere göre daha az kısaltması



Şekil 11 Direk Enjeksiyonlu Motorlar İçin Sıvı LPG Sistemi[37]

Benzin motorlarında kullanımı dünya çapında ciddi miktarda yaygınlaşan LPG sistemleri alternatif yakıtlar içerisinde belki de en başarılı olarak içten yanmalı motorlara uygulanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken tek noktadan – mikserli LPG sistemlerinden günümüzde yaygınlaşmaya başlayan sıvı LPG sistemlerine kadar önemli bir yol kat edilmiş olmasıdır. İçten yanmalı benzin motorunun çalışma prensibine sıvı LPG sistemleri ile artık önemli oranda yaklaşmış olduğu açık bir şekilde görülebilir. Bu da emisyon değerleri düşük çevreci ve ucuz bir yakıt olan LPG'nin önümüzdeki yıllarda yıldızının daha da parlayabileceği anlamına geliyor.

Şu anda fiyatları sıralı sisteme göre 2 kat daha pahalı olan sıvı LPG sistemlerinin ucuzlaması ile otomobil markaları artık yavaş yavaş sadece LPG ile çalışan araçlarını piyasaya sürebilir. Özellikle emisyon kurallarının iyiden iyiye katılaşması ve dizel

motorlu araçların bazı ülkelerde kısıtlanması LPG yakıtının önemini daha da artıracak gibi görünüyor.

3.8.LPG Sistemi Parçaları ve Görevleri

Bilindiği üzere günümüzde karbüratörlü enjeksiyonlu ve sıralı sistem olmak üzere 3 farklı otogaz sistemi mevcuttur. Şimdi bu sistemlerde kullanılan LPG ekipmanlarını ve görevlerini kısaca açıklayalım.

LPG Komütatör Anahtarı

Şekil 12’de LPG komütatör anahtarları görülmekte olup LPG seviyesini göstermenin yanında LPG- Benzin geçişini de sağlar. Aynı zamanda birçok LPG kit üreticisi benzin bitmesi durumunda bu anahtar vasıtasıyla sakıncalıda olsa doğrudan LPG ile çalıştırma özelliğini de eklemiştir.



Şekil 12 LPG Komütatör Anahtarları[51]

Gaz Kesici

Tüm LPG sistemlerinde kullanılan gaz kesici adında geçtiği gibi araç benzinde çalışırken ve stop halinde LPG tankından gelen gazı kesmeye yarayan parçadır. Araç LPG’de iken regülatöre gaz gönderme işine yarar. Şekil 13’te LPG gaz kesicisi görülmektedir.



Şekil 13 LPG Gaz Kesicisi[51]

Benzin Kesici

Benzin kesici sadece eski tip karbüratörlü sistemlerde kullanılır. LPG anahtarından gelen 12 voltluk akım ile kumanda edilir ve araç LPG ile çalışırken benzin akışının kesilmesini sağlar. Şekil 14’te LPG benzin kesicisi görülmektedir.



Şekil 14 LPG Benzin Kesicisi[51]

LPG Regülatörü

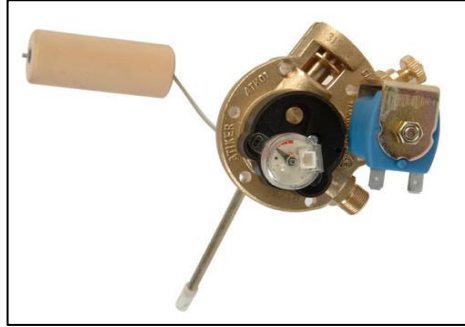
Görevi motor suyundan aldığı sıcaklık ile LPG tankından sıvı halde gelen gazı buharlaştırmaktır. Buharlaştıran gazı karbüratörlü araçlarda LPG mikserine sıralı sistemlerde ise LPG enjektörlerine ihtiyaca göre gönderir. Şekil 15’te LPG regülatörü görülmektedir.



Şekil 15 LPG Regülatörü [51]

LPG Şamandırası (Multivalf)

LPG tankındaki yakıt miktarını üzerindeki sensör sayesinde öndeki göstergeye iletir tanktaki yakıt seviyesini gösterir, LPG anahtarından aldığı komut sayesinde aracın LPG sistemine gaz akışı sağlar, LPG'yi motora gönderir. Yangın ve kaza anında aldığı darbenin şiddetine göre emniyet sibobundan sıkışan gazı dışarı atarak patlamayı engeller.[39] Şekil 16'da LPG şamandırası (Multivalf) görülmektedir.



Şekil 16 LPG Şamandırası (Multivalf) [51]

LPG tankındaki yakıt miktarını üzerindeki sensör sayesinde öndeki göstergeye iletir tanktaki yakıt seviyesini gösterir, LPG anahtarından aldığı komut sayesinde aracın LPG sistemine gaz akışı sağlar, LPG'yi motora gönderir. Yangın ve kaza anında aldığı darbenin şiddetine göre emniyet sibobundan sıkışan gazı dışarı atarak patlamayı engeller.[39]

LPG ECU'su

Sadece sıralı sistem araçlarda kullanılan LPG ECU'sunun en büyük görevi aracın benzin enjeksiyon sürelerini kopyalayarak aracın gazda aynı enjeksiyon sürelerinde çalışmasını sağlar. Aynı zamanda bilgisayar bağlantısı kurulmasına ve LPG sorunlarının tespit edilmesine yarar. Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) elektronik verileri alıp yorumladıktan, diğer ekipmanlara veri gönderir. Şekil 17'de LPG ECU'sü ve Şekil 18'de ECU kartı gösterilmiştir.



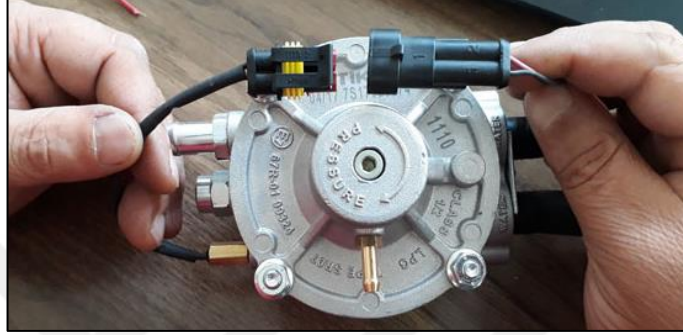
Şekil 17 ECU[50]



Şekil 18 ECU Elektronik Kartı[50]

Gaz Isı Sensörü

Aracın motor sıcaklığını 30-40 derece yeterli ısıya geldiğinde ECU'ya iletip aracın gazda çalışmasını sağlar. Şekil 19'da gaz ısı sensörü ve regülatöre bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 19 Gaz Isı Sensörü ve Regülatöre Bağlantısı[51]

LPG MAP Sensörü

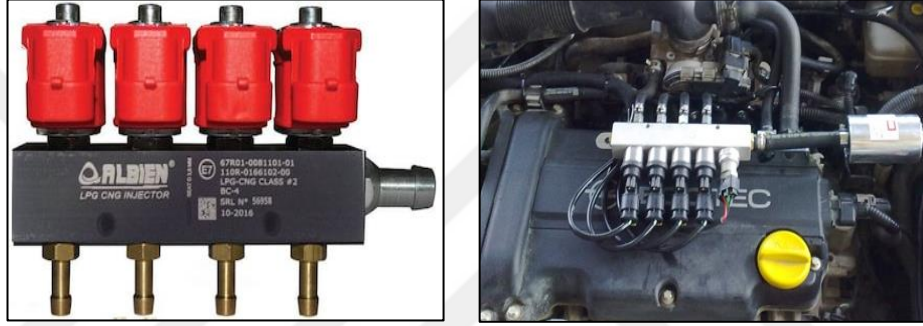
Sadece sıralı sistem araçlarda kullanılan LPG MAP sensörü Şekil 20'de görülmekte olup özellikle tankta gaz azaldığında veya regülatör basıncının düşük olduğunda basınç değerlerini LPG ECU'suna iletip aracın gazdan benzine geçmesini sağlayarak motor arıza lambasının zengin veya fakir karışımdan dolayı yanmasını engeller.[39]



Şekil 20 MAP Sensörü[51]

LPG Enjektörleri

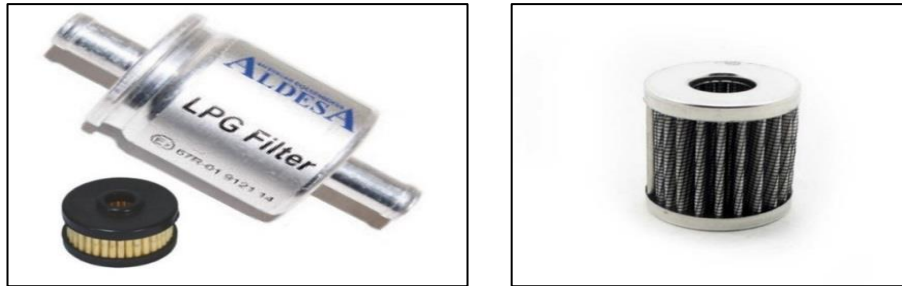
“Otogaz sistemlerinin tartışmasız en önemli parçası olan LPG enjektörü görevi LPG ECU’undan gelen sinyaller doğrultusunda motorun ihtiyacı olan yakıtı gönderirler. Markasına göre LPG enjektörlerinin hız ve kalite farkı vardır. Yeni nesil araçlarda 1-2 ohm hızında çalışan enjektörler kullanılır aksi halde tekleme arıza lambası yakma gibi sorunlar yaşanmaktadır.”[39]. Şekil 21’de LPG enjektörü ve araç üzerinde montajı gösterilmiştir.



Şekil 21 LPG Enjektörü Ve Araç Üzerinde Montajı[51]

Gaz Filtresi

Bu filtre LPG ile tanktan gelen partikülleri filtreleme görevi üstlenir. Şekil 22’de LPG gaz filtresi ve filtre kabı gösterilmiştir. Ülkelerdeki LPG kalitesi ve yasal mevzuatlardaki farklılıklarda göz önüne alındığında genellikle 20.000 km de bir değiştirilmesi tavsiye edilmektedir.



Şekil 22 LPG Gaz Filtresi ve Filtre Kabı[51]

LPG Tankı

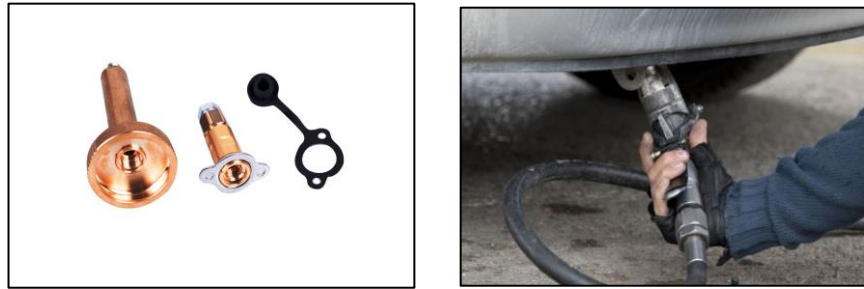
LPG'nin sıvı halde bulunduğu dolun yapılan tanktır. Silindirik ve trodial(simit) tank olarak iki şekilde üretilir. Şekil 23'te silindirik ve trodial LPG tankı görülmektedir. Yüksek basınçlara dayanıklı bu tank ülkemizde yasal mevzuat gereği 10 yılda bir değiştirilir.



Şekil 23 Silindirik ve Trodial LPG Tankı[51]

Gaz Dolun Ucu

İstasyonlarda pompa ağızıyla uyumlu ülke genelinde standart dolun yapılmasına olanak sağlayan dolun ağızı genellikle Şekil 24'te görüldüğü gibi korozyona dayanıklı pirinç malzemeden üretilir. Dolun ağızı kapağı her zaman kapalı olmalıdır.



Şekil 24 Gaz Dolun Ucu ve Araç Üzerindeki Konumu[51]

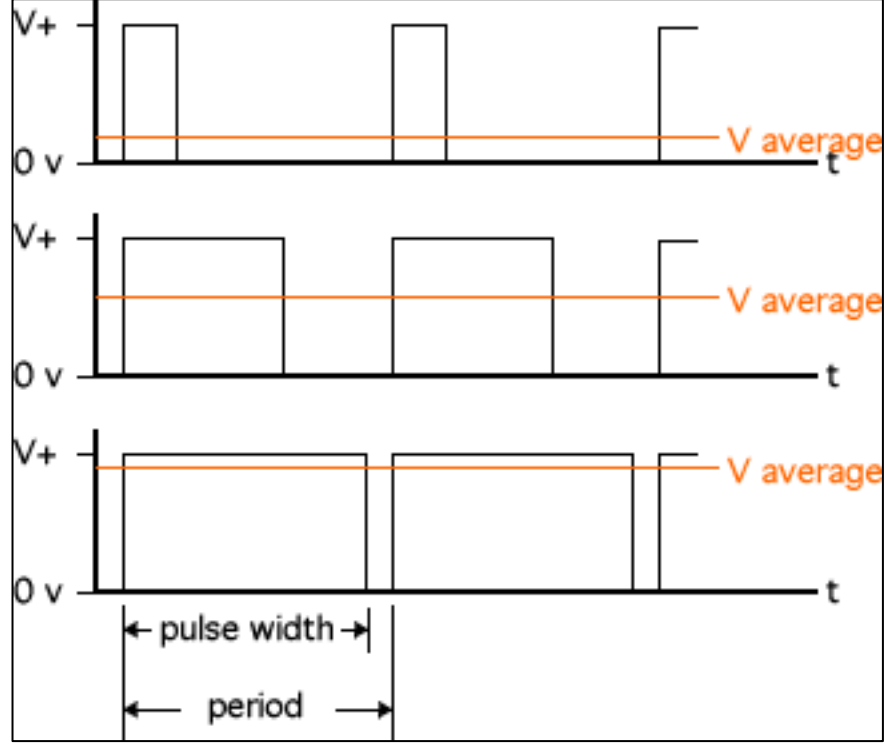
4. MOTOR İŞLETİM SİSTEMLERİ

Araç ECU'sü motorun ne sıklıkta ve hangi sürede yakıt enjeksiyonu yapacağını ve ateşleme avansını da dikkate alarak bujiler vasıtasıyla ne zaman ateşleme yapacağını belirler. Bu çıktıları düzenli olarak yapmak için tüm algılayıcılardan aldığı verileri değerlendirir ve en uygun hava yakıt karışımını silindire supaplar yardımıyla emer. Motor yüklendikçe enjeksiyon palsleri uzar ve daha fazla yakıt hava karışımı emilir. Bunun yanında araç hızlandıkça devir artar ki bu daha sık yakıt enjeksiyonu yapıldığını gösterir. Araç üzerindeki sensörlerin arızalanması veya motorda oluşan herhangi bir sorunla sensörlerin limitler dışında sinyal göndermesi enjeksiyon düzenini bozacağından araç bilgi sistemi bir arıza kodu verecektir.

Otomobil ECU leri işletim sistemlerinin düzenli çalışması için aşağıdaki tabloda verilen girdilere gereksinim duyar.

- Emme manifoldundan geçen hava miktarı ve sıcaklığı
- Motor devir sayısı
- Soğutma suyu sıcaklığı
- Ekzoz gazındaki oksijen miktarı
- Pistonun konumu
- Rölanti devri
- Gaz kelebeğinin açıklığı
- Motor vuruntu sinyali
- Araç hızı
- Havanın mutlak basıncı
- İlk hareketin algılanması
- Akü gerilimi
- Vitesin konumu

4.1.Pwm (Pulse Width Modulation) - Darbe Genişlik Modülasyonu



Şekil 25 Farklı Duty Cycle lar İçin Ortalama Gerilim Değerleri

Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM), bir tür dijital sinyal tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Darbe genişlik modülasyonu, gelişmiş kontrol devresi dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılır. En yaygın kullanımı hassas kontroller için tasarlanan bir servo motorun hareketini kontrol etmektir. Darbe genişliği modülasyonu, sinyalin analog bir şekilde ne kadar yüksek olduğunu değiştirmemizi sağlar. Sinyal herhangi bir zamanda yalnızca yüksek (genellikle 5V) veya düşük (şase) olabilir de, tutarlı bir zaman aralığında düşük olduğu zamana göre sinyalin yüksek olduğu süreyi değiştirilebilir. Şekil 25'te farklı duty cyclelar için ortalama gerilim değerleri gösterilmiştir.

Ortalama voltaj seviyesi;

Görev Döngüsü x Yüksek Gerilim Seviyesi = Ortalama Gerilim şeklinde elde edilir.

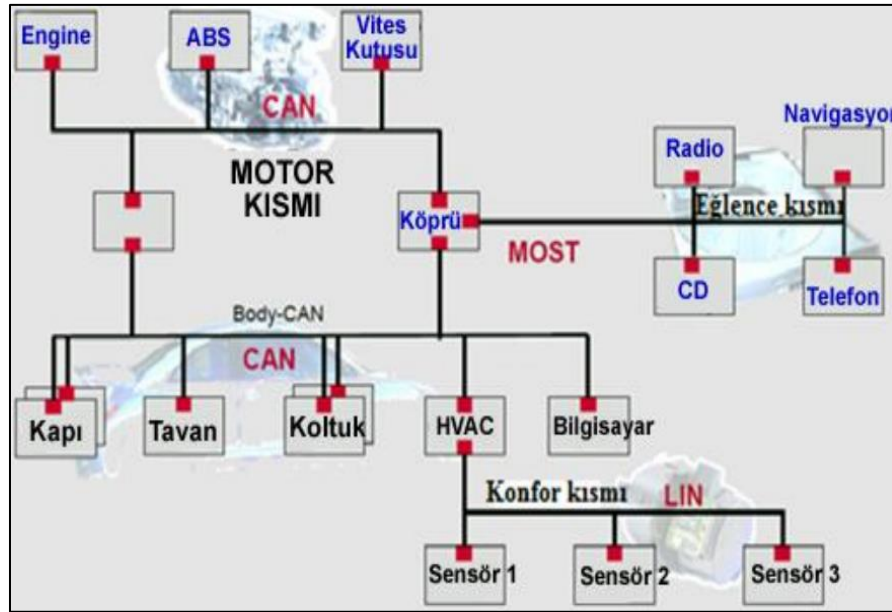
Anlık Görev Döngüsü x Yüksek Gerilim Seviyesi = Anlık Ortalama Gerilim

şeklinde elde edilir.

Görev döngüsü (duty cycle) yüzde olarak ölçülür. Görev yüzdesi, bir dijital sinyalin belirli bir süre veya bir süre boyunca açık kaldığı süreyi özel olarak tanımlar. Bu periyot, dalga biçiminin frekansının tersidir.

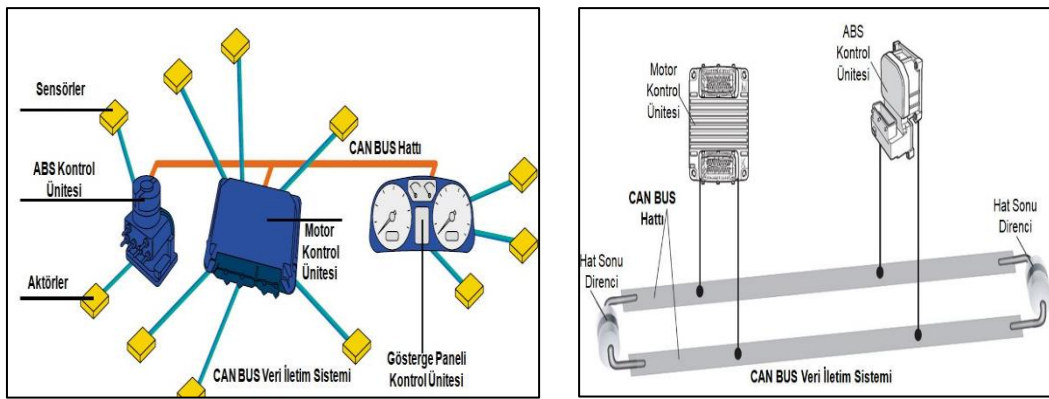
4.2. Elektronik Kontrol Üniteleri Arasında Haberleşme

“Elektronik kontrol üniteleri, sensörlerden gelen sinyallere göre yönettikleri sistemlerin çalışmasını düzenlemektedir. Elektronik kontrol üniteleri birbirleri ile koordineli bir biçimde çalışmalıdır. Otomobiller üzerindeki elektronik kontrol ünitelerinin birbirleriyle haberleşmelerini sağlamak amacıyla elektronik kontrol üniteleri arasında ağlar kurulmuştur. Motorlu taşıtlar incelendiğinde ve Şekil 26’daki haberleşme ağına bakıldığında 3 çeşit haberleşme sisteminin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bunlar CAN, LIN ve MOST isimli hatlardır. Motor kısmında CAN, konfor donanımında LIN, eğlence ve bilgilendirme kısmında ise MOST hatları kullanılmaktadır.”[48]



Şekil 26 Haberleşme Ağı[49]

CAN BUS, Bosch ve Intel firmaları tarafından 1987 yılında geliştirilen bir iletişim protokolüdür. Şekil 27’de CANBUS ağ yapısı görülmektedir. CAN BUS hattının görevi, elektronik kontrol üniteleri arasındaki iletişimi (veri alış verişi) sağlamaktır. Şekil 27’de görüldüğü gibi iki adet bakır telden oluşmaktadır ve tüm kontrol üniteleri bu hat üzerinden haberleşmekte, bilgileri paylaşmaktadır. CAN BUS hattını oluşturan iki adet CAN BUS kablosu, parazitini azaltılması için birbirine üzerine dolanmış (örgü) şeklindedir. CAN açılımı: Controller Area Network: “Kontrol Alan Ağı”. BUS: “veri yolu” anlamına gelmektedir. CAN BUS: “Kontrol alan ağı veri yolu” anlamına gelir. Buna “kontrol üniteleri ağı” da denebilir. Burada İngilizce “otobüs” anlamına gelen “BUS” kelimesinin kullanılma sebebi, tüm bir bilgilerin tek bir hat üzerinden yolculuk yapmasına, verilerin bir elektronik kontrol ünitesinden alınıp, diğerine bırakılmasına atıf yapmaktır. CAN BUS hattı sayesinde, zaten motor kontrol ünitesine gönderilmiş olan bu bilgiler, tüm kontrol ünitelerini (ECU) birbirine bağlayan tek bir hat (iki adet bakır tel) ile, şanzıman kontrol ünitesine ve bu bilgiye ihtiyacı olan tüm elektronik kontrol ünitelerine iletilmiş olur. Her sensör, kendi bağlı olduğu kontrol ünitesine bir hat ile bağlıdır. Her elektronik kontrol ünitesi de, diğer kontrol ünitelerine bir hat üzerinden (CAN BUS) bağlıdır. Sensör ile elektronik kontrol ünitesi arasındaki hatlar, CAN BUS hattına dahil değildir.



Şekil 27 CANBUS Ağ Yapısı[49]

Bugün modern otomobillerdeki elektronik kontrol ünitesi (ECU) sayısı neredeyse 50 adete yaklaşmıştır. Her elektronik kontrol ünitesinin birbirine bilgi göndermesi

gerekir. Ayrıca bir sensörden gelen bilgiyi birçok elektronik kontrol ünitesinin kullanması gerekmektedir. Bu durumda her biri için ayrı kablo çekilmesi, maliyet, karmaşa, ağırlık, arıza olasılığının artması, yer kaplama gibi olumsuz sonuçlar doğurur.

CAN BUS Sisteminin Avantajları

- Sensörler, aktörler ve ECU'ler arası bağlanan kablo hattı sayısı azaltılmıştır.
- Kablo azaldığı için maliyet düşürülmüştür.
- Azalan kablo sayesinde ağırlık ve kapladığı alan azalmıştır.
- Karmaşa azalmıştır.
- Elektronik kontrol ünitelerindeki bağlantı terminal sayısı azalmıştır.
- Daha az karmaşık ve daha az kablolama sayesinde arıza olasılığı azalmıştır.
- CAN-BUS ve OBD sistemi sayesinde, arıza teşhisi (diyagnostik) kolaylaşmıştır.
- Sistemin çalışmasındaki güvenilirlik artmıştır.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında tasarlanacak LPG elektronik kontrol ünitesi için gerekli olan enjektör çalışma karakteristiğinin elde edilmesi amacıyla aracımızın benzin ve LPG enjektörlerinden veriler alınmıştır. LPG enjektörlerinin enjeksiyon süreleri analiz edilmiştir. Çeşitli yük ve hız durumuna göre enjeksiyon zamanı ve süresi değişimleri tespit edilmiş ve bu veriler ışığında yeni bir enjeksiyon sistemi tasarlanarak gerçekleştirilmiştir Bu çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sıralanmıştır.

Kullanılan Test Aracı

Şekil 28’de çalışmalarda kullandığımız test aracının görünümü mevcuttur. 2011 model TOYOTA Corolla marka araç, 1.6 Comfort Extra model, otomatik vites, 179000 km’deki benzinli motora sahip araca BRC marka LPG montajı 2015 yılında yapılmış ve yaklaşık 80000 km boyunca LPG sistemi sorunsuz çalışmaktadır.



Şekil 28 Test Aracının Görünümü

6. TASARIM

“Elektronik kontrol üniteleri otomobillerde kullanılan sensörler (algılayıcılar) çevrelerini algılamak için aktivatörler (uygulayıcılar) sensörlerden gelen bilgiler doğrultusunda çeşitli eylemleri gerçekleştirir. Algılayıcılar ve aktivatörler; konfor, güvenlik, yürüyen aksamlar, motor gibi aracın tüm fonksiyonlarında kullanılır.”[48]

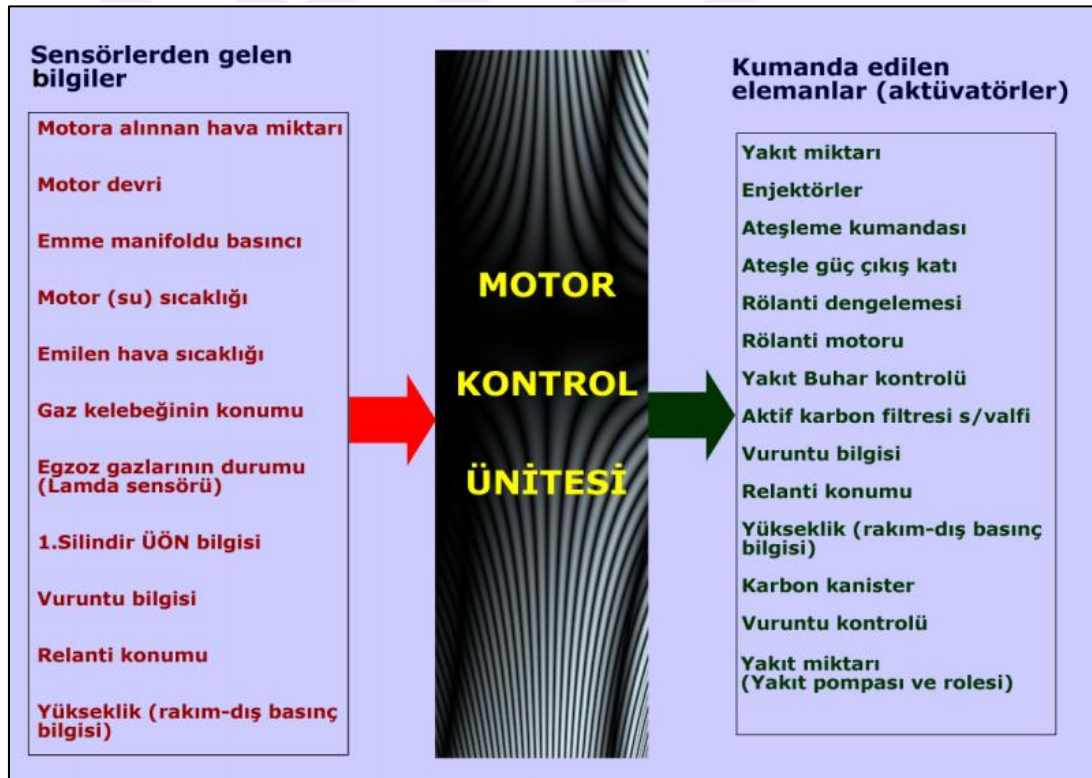
2011 model Toyota Corolla marka aracın LPG bileşenleri incelenerek LPG elektronik kontrol ünitesinin(ECU) hangi protokollere göre çalıştığı incelenmiştir. Kullanılan test aracı yaygın olarak kullanılan LPG sıralı gaz enjeksiyon sistemine sahiptir. LPG sistemi enjektörlerini darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile kontrol etmektedir. İncelenen örnek bir enjektörde yapılan deneysel çalışmada aşağıdaki verilere ulaşılmıştır.

Buji ateşlemeli içten yanmalı bir motor LPG sistemiyle donatılmışsa elektronik kontrol ünitesi(ECU), algılayıcılardan aldığı, motor devir sinyalini, soğutma suyu ve motor bloğu sıcaklık seviyesini, giren hava miktarını, atık gazlardan çıkan oksijen miktarını gaza ne kadar basıldığını ve motora giren hava debisini yüklenen algoritmaya göre değerlendirerek, motorun ne sıklıkta ve hangi sürede yakıt enjeksiyonu yapılacağını ve ateşleme avansını da dikkate alarak bujiler vasıtasıyla ne zaman ateşleme yapılacağını belirlemektedir. Bu çıktıları düzenli olarak yapmak için tüm algılayıcılardan aldığı verileri değerlendirmekte ve en uygun hava yakıt karışımını silindire supaplar yardımıyla emmektedir.. Motor yüklendikçe enjeksiyon pulsleri uzamakta ve daha fazla yakıt hava karışımı emilmektedir. Bunun yanında araç hızlandıkça devir artmakta ki bu daha sık yakıt enjeksiyonu yapıldığını göstermektedir.

Test aracı üzerindeki sensörlerin arızalanması veya motorda oluşan herhangi bir sorunla sensörlerin limitler dışında sinyal göndermesi enjeksiyon düzenini bozacağından araç bilgi sistemi bir arıza kodu verecektir.

LPG ECU su araç ana ECU sünden bağımsız çalışmamaktadır. Enjeksiyon sıklığı frekansla bağlantılı olup motor Otto çevrimine göre belirlense de LPG enjeksiyon süresi oluşturulan bir haritaya tabi olarak çalışmaktadır. Bu harita LPG gaz ayarı yapan cihazlarla otomatik olarak oluşturulabileceği gibi performans kaygılarından dolayı manuel olarak değerler girilerek te oluşturulabilir. Haritadaki değerler benzin enjeksiyon süresinden LPG enjeksiyon süresinin ne kadar fazla olacağını göstermektedir. Şekil 29’te ECU yapısı ve ECU’ye giren bilgiler ve aktüatörler gösterilmiştir.

Bizim bu çalışmamızda benzin enjeksiyon süresinin %20 oranında artırılmasıyla elde edilen püskürtme sürelerini kullanılmıştır.



Şekil 29 ECU Yapısı[49]

Araç üzerinde bulunan sensörlerin çalışma şekillerine bakacak olursak;

MAP sensöründe şase (-), (+) giriş gerilimi (5V) ve çıkış gerilimi pinleri olmak üzere 3 kablo vardır. MAP sensörünü test ettiğimizde vakum arttıkça, gerilim

azalmaktadır. Manifold da vakum arttıkça, MAP sensöründen ECU'ya gönderilen gerilimin azaldığını anlaşılmaktadır. MAP sensörü, motor manifoldu basınçlarındaki değişimi ölçen bir giriş sensörü olduğu, manifolddaki basınçla doğru orantılı olarak motorda ne tür bir yük olduğunu bildirmek için bu sinyali ECU'ya göndermektedir.

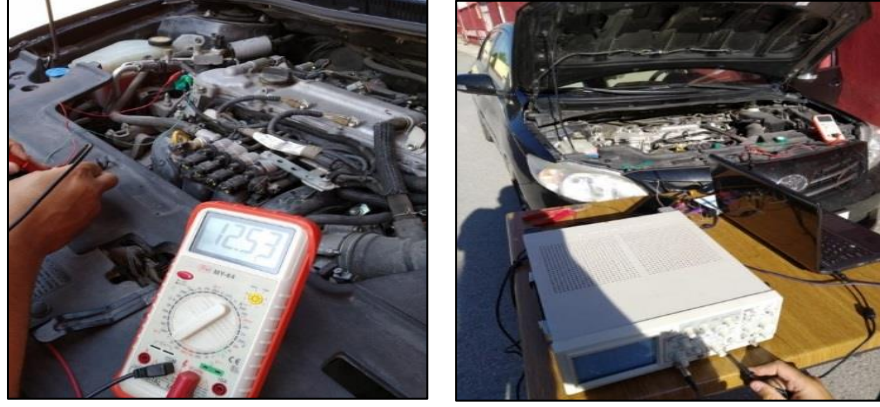
Araç hızlandıkça, giriş manifoldunda daha fazla vakum oluşturulur. MAP sensörü giriş manifolduna takılır. Sensörün yüzeyindeki basınç değişimi, direncinde değişikliğe neden olur ve bu gönderilen gerilimin basınca göre orantısal olarak değişmesini sağlar.

Gaz kelebeği konum sensörü tam olarak motorun ne kadar zor çalıştığını bilmesi için gaz pedalı üzerine ne kadar sert basıldığını takip etmektedir. İhtiyaçlar iki fonksiyonla belirlenmektedir. Gaz kelebeği konum sensörü, sensör gaz kelebeği milinde döndüğü için değişken bir dirençtir, yani ECU ye geri dönen gerilim değeri değişmektedir.

Motor soğutma suyu sıcaklığı analog bir sensördür. Soğutma sıvısının sıcaklığını ölçer ve bu verileri ECU ye iletmektedir. ECU bu verileri, özellikle motor ısınırken optimum sürüş kabiliyetini korumak için kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan negatif sıcaklık katsayısına (NTC) sahip olan sıcaklık artışı arttıkça direnç azalmaktadır.

Araçtan gerekli sinyallerin alınması

Her çalışma koşulunda doğru yakıt miktarını sağlamak için motor kontrol ünitesinin (ECU) çok sayıda giriş sensörünü izlemesi gerekmektedir. Şekil 30 multimetre ve osilaskop yardımıyla enjektörlere gelen sinyalin tespiti sırasında yapılan çalışmalardan bir görünüm, Şekil 31 test aracının görünümünü, Şekil 32 ise farklı devirlerde multimetreden alınan gerilim değerlerini göstermektedir.



Şekil 30 Enjektörlere Gelen Sinyalin Tespiti



Şekil 31 Enjektör Ölçümlerinin Yapılması

Yapılan inceleme ve testlerden aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

- Kütle hava akış sensörü - ECU'ya motora giren havanın kütlesini tespit etmektedir.
- Oksijen sensörleri - egzozdaki oksijen miktarını izler, böylece ECU yakıt karışımının ne kadar zengin ya da zayıf olduğunu belirlemektedir ve buna göre ayarlamalar yapmaktadır.

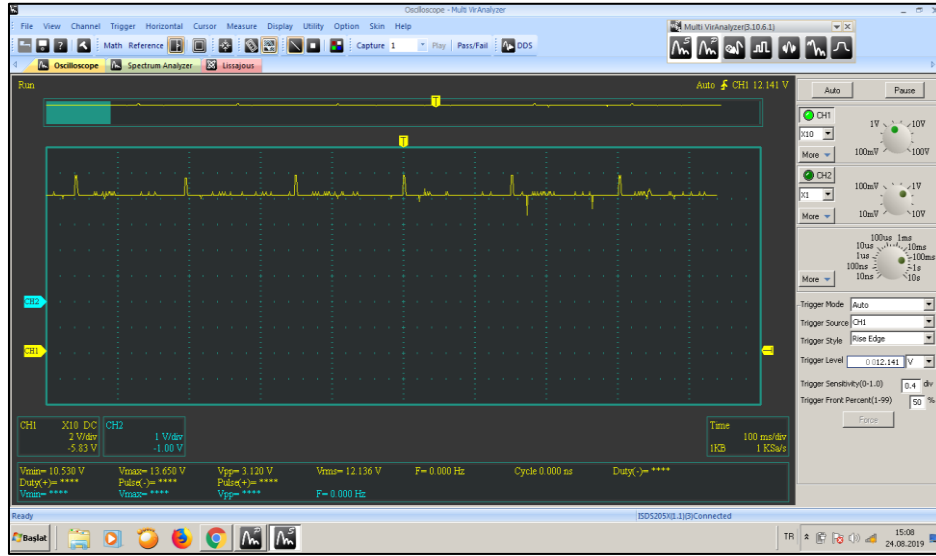
- Gaz kelebeği pozisyon sensörü - gaz kelebeği valf pozisyonunu (motora ne kadar hava girdiğini belirler) izler, böylece ECU gerektiğinde yakıt oranını hızla değiştirmekte, azaltmakta veya artırmaktadır.
- Soğutucu sıcaklık sensörü - ECU'nun motorun ne zaman uygun çalışma sıcaklığına ulaştığını belirlemesini sağlamaktadır.
- Manifold Mutlak basınç sensörü - Emme manifoldundaki hava basıncını izlemektedir.
- Motora giren havanın miktarı ne kadar güç ürettiğinin iyi bir göstergesidir ve hava ne kadar fazla hareket ederse manifold basıncı o kadar düşük olur, bu yüzden bu okuma ne kadar güç üretildiğini ölçmek için kullanılmaktadır.
- Motor hızı sensörü - Darbe genişliğini hesaplamak için kullanılan faktörlerden biri olan motor devrini izlemektedir.



Şekil 32 Gözlemlenen Devir Voltaj Değerleri

Sistemin çalışmasının anlaşılması ve tasarımda kullanmak adına bazı sensör ve alıcılardan veriler alınmıştır. Bunlardan ilki benzin enjektörlerine gelen sinyal, genliği ve şekli incelenerek kaydedilmiştir. Sensörlerden ısı sensörü, gaz kelebeği konum sensörü, MAP sensörü testleri yapılarak çalışma aralıkları belirlenmiştir.

Şekil 33'te enjektörden alınan sinyale bakıldığında rölanti devrinde elde edilen sinyalin bir parazit şeklinde elde edildiği görülmektedir. Bu durum tasarımda bizi filtrelemeye yöneltmiştir.



Şekil 33 Enjektörden Alınan Sinyal

LPG Enjektörleri elektromekanik enjektörler olup mekaniklerin aksine sürekli açılıp kapanarak çalışmaktadır. LPG enjektörü açıldığında LPG, gaz basıncı ile nozuldan geçerek emme manifoldundan geçen havanın üzerine püskürtülmektedir. Böylece gaz halindeki yakıt yanma odasına doğru harekete geçer. Enjektörün püskürttüğü gaz miktarı LPG gaz basıncı, nozul iç çapı ve darbe genişliği (enjektörün açık kalma süresi) ile doğru orantılıdır. Ne kadar gaz püskürtüleceği sadece gaz basıncıyla değil aynı zamanda enjektörün açık kalma süresiyle de ilgilidir, bu süreye enjektör darbe genişliği denir. LPG enjektörünün açılıp kapanma süresi milisaniye cinsinden ölçülür. LPG enjektörlerin kapasitesi sürekli açık kaldıkları zamanla belirlenmektedir. Buna %100 darbe genişliği oranı denir. Eğer bir enjektör %100 darbe genişliği oranına sahipse hiç kapanmıyor, sürekli açık kalıyor demektir. Yüksek performans kullanımında enjektörlerin darbe genişliği oranı değerinin tam gaz durumunda %70 ile %90 arasında olması istenir, başka bir deyişle kapasitelerinin %70 ile %90'ını arasında çalışmaları istenir. Böylece enjektörün aşırı ısınıp çalışma karakteristiğinin bozulmasına engel olunmuş olur. Enjektörler içlerinden geçen gaz tarafından soğutulur. Sürekli açık kalan enjektör (%100 duty cycle) aşırı ısınabilir, bunun sonucunda enjektörün çalışma karakteristiği bozulur ve ömrü kısalmır.

Enjektörler elektromanyetik çekim kuvveti oluşturan bobinlerin dirençlerine göre sınıflandırılır. Bu direnç ohm cinsinden belirtilir. Yüksek dirençli enjektörler 12-16 ohm da çalışırken, düşük dirençli enjektörler genellikle 2-5 ohm da çalışmaktadır.

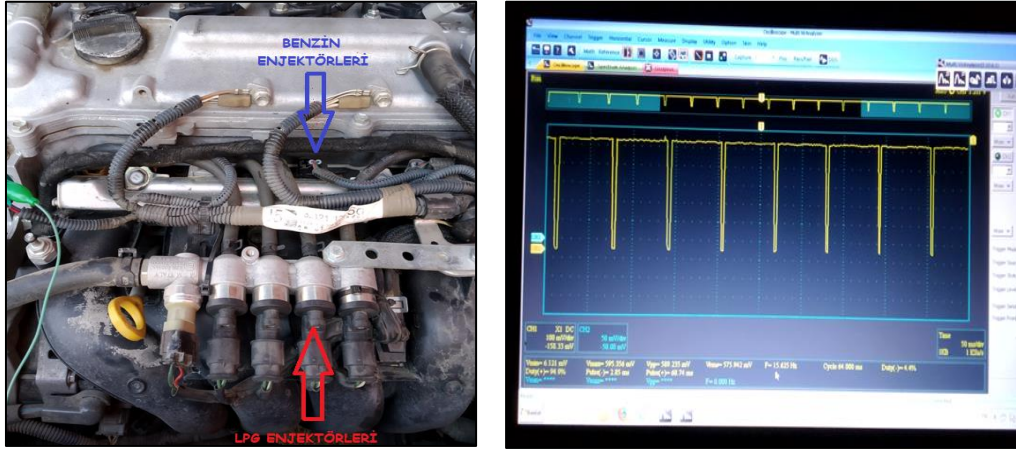
Enjektör Kontrolü Gaz enjeksiyon sistemlerinde enjektör kontrolü ECU'ler tarafından gerçekleştirilmektedir. Genel olarak ECU yakıt püskürtmesini elektronik olarak denetlemek üzere tasarlanmış olup, algılayıcılardan gelen giriş sinyallerini işleyerek motor için gerekli miktardaki yakıtı sağlayacak şekilde enjektörlerin açılma ve kapanma zamanını tam doğrulukta hesaplamaktadır.

LPG sıralı sistem ile çalışan araçlarda yani enjeksiyonlu motorlarda krank miline bağlı pistonların konumuna bağlı olarak yakıt alımı sağlanmakta ve zamanlama elektronik olarak yapılmaktadır.[47].

Araç elektronik kontrol ünitesi püskürtülecek yakıt miktarı, enjektörlerin enjeksiyon sırasını ve enjeksiyon sıklığını belirlemek için bir çok sensörden bilgi toplamaktadır.

Bunlar;

- Motor devri ve araç hız bilgisi
- Gaz kelebeği ve gaz pedalının konumu
- Motora alınan hava kütlesi ve sıcaklığı
- Emme manifold basıncı
- Soğutma suyu sıcaklığı
- Eksantrik mili konum bilgisi
- Akü gerilimi



Şekil 34 Benzin ve LPG Enjektörlerinin Yeri ve Alınan PWM Sinyali

Benzinli motorlar LPG ile çalıştırıldığında LPG enjektörlerinin görevi yakıtı her bir silindir için uygun miktarlarda emme manifolduna püskürtmektir. Yakıtın basıncı sabit değerde ise püskürtme delik çapı da sabit olduğuna göre püskürtülen yakıt miktarını değiştirecek son durum enjektör iğnesinin açık kaldığı süredir. Buna enjeksiyon süresi denir. Şekil 34’de benzin ve LPG enjektörlerinin yeri ve alınan PWM sinyali görülmektedir. Bu sinyale bakıldığında düşük devirlerde oluşan parazit sinyalin çok ötesinde yüksek devirlerde net bir sinyal alındığı görülmektedir.

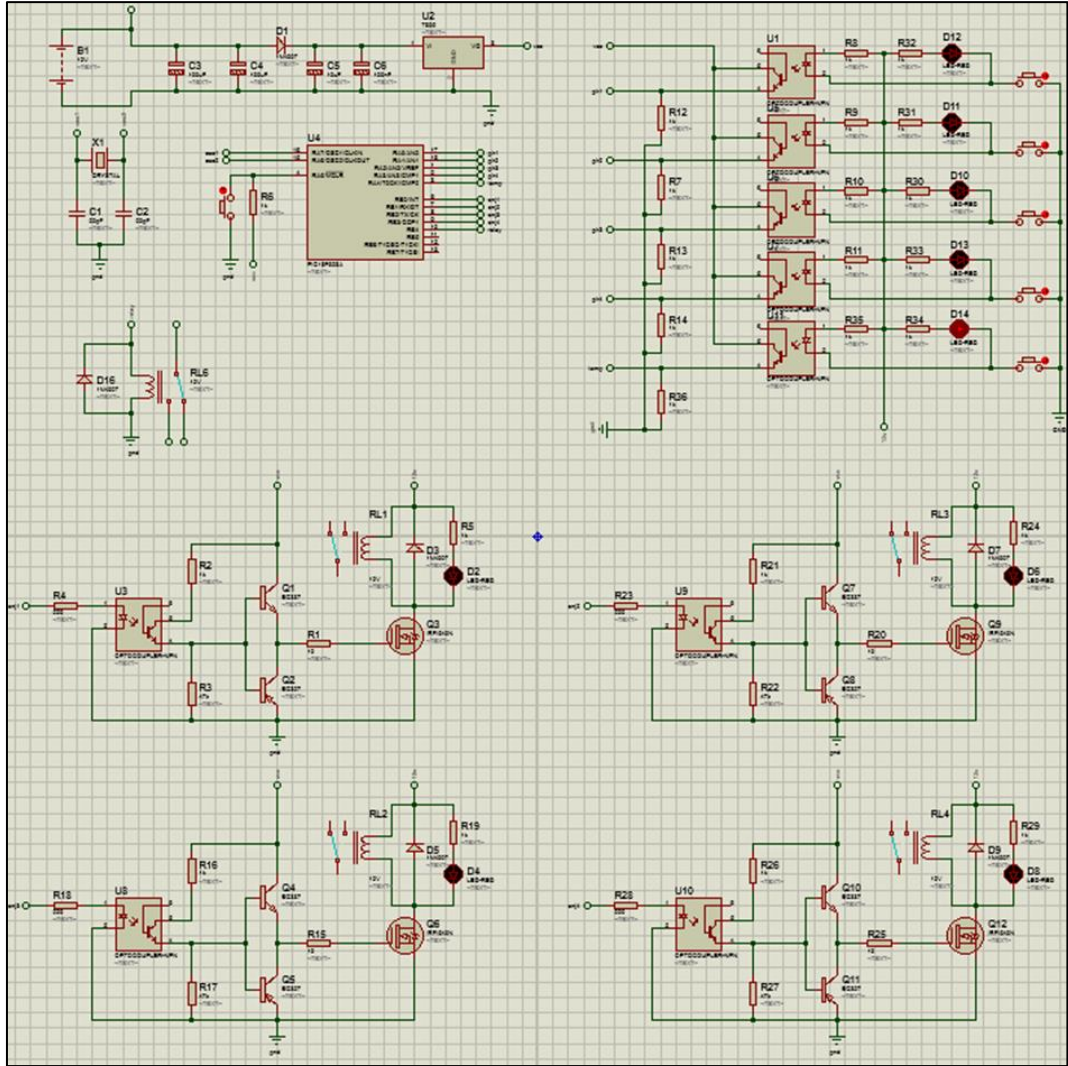
Yapılan incelemerde kontak anahtarı açıldığında üzerinde (+) ve (-) pinler bulunan enjektörlerin her birine (+) sinyal uygulandığını görülmüştür. Bir enjektörün açılarak yakıt püskürtmesi ECU tarafından diğer pinlere (-) yani şase verilmesiyle mümkün olmaktadır. Elektronik kontrol ünitesinin (-) verme süresi kısa veya uzun tutulduğunda enjeksiyon süresi değişmiş olur.

Özel olarak tasarlanmış, ECU ye direkt bağlanan test cihazlarıyla enjektörlerin açık kalma süreleri kolayca görülebilse bile bu çalışmada enjektörlerin uzun yıllar kullanılmış olmasından kaynaklı bobin sargı direnci toleransların dışına çıkmış olabileceği düşüncesiyle oluşabilecek enjeksiyon gecikmelerinin önüne geçmek için çok kanallı osiloskop kullanılmıştır. Böylece benzin ve LPG enjektörlerinin açık

kalma süreleri ve enjeksiyon frekansları eş zamanlı ve gerçek veriler olarak izlenmiştir.

Tasarlanan enjektör sürücü devresi

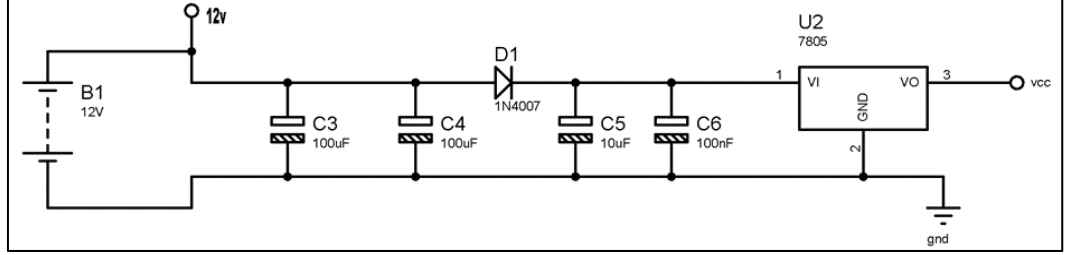
Proteus8.0 adlı program üzerinde tasarlanan devre Şekil 35'te görülmektedir. Devrede kontrol elemanı olarak PIC16F628A mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Devre elemanlarının gürültülü giriş sinyallerinden etkilenmemesi için sinyaller optokuplörlerle yalıtılarak devreye aktarılmıştır. Aynı şekilde çıkış sinyalleri de yalıtılarak enjektörlere uygulanmıştır. MPLAPIDE8.89 programında assembly dilinde kodlanarak derlenmiştir.



Şekil 35 Tasarlanan Devre

Besleme Bölümü

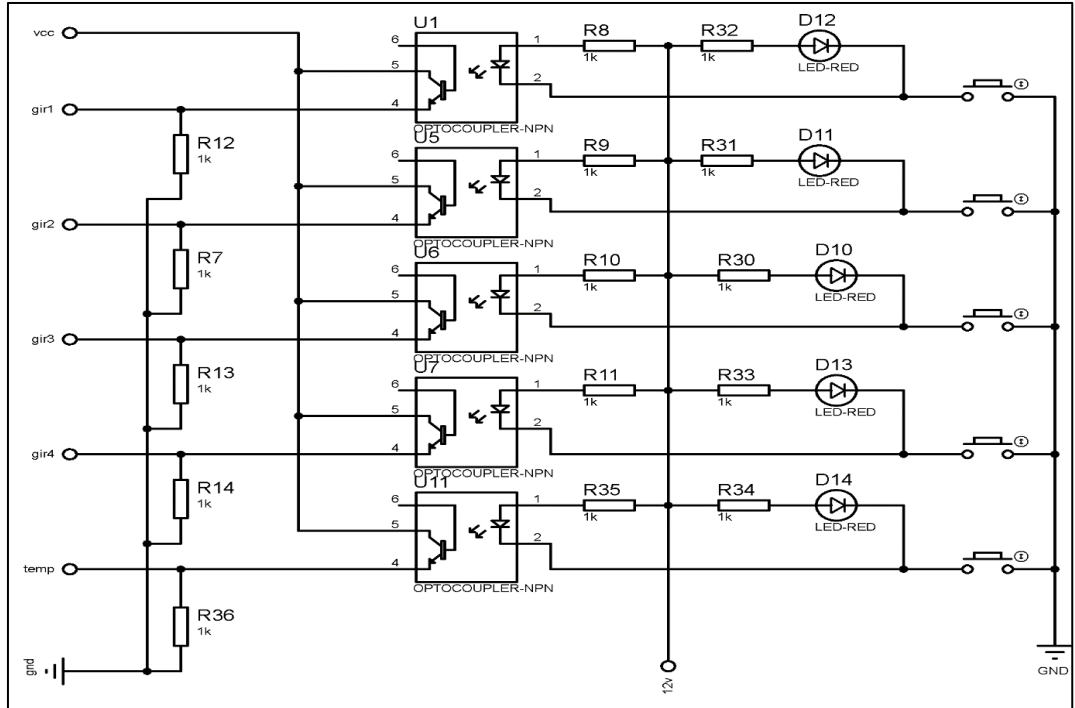
Devre araç aküsünden beslenmiştir. Şekil 36'da görüldüğü gibi oluşturulan besleme bölümü kondansatörlerle filtrelenmiştir. Vcc sabit 5 V devre gerilimi elde etmek için 7805 regüle entegresi kullanılmıştır. 4 adet kondansatörle filtre devresi oluşturulmuştur.



Şekil 36 Besleme Ünitesi

Giriş Bölümü

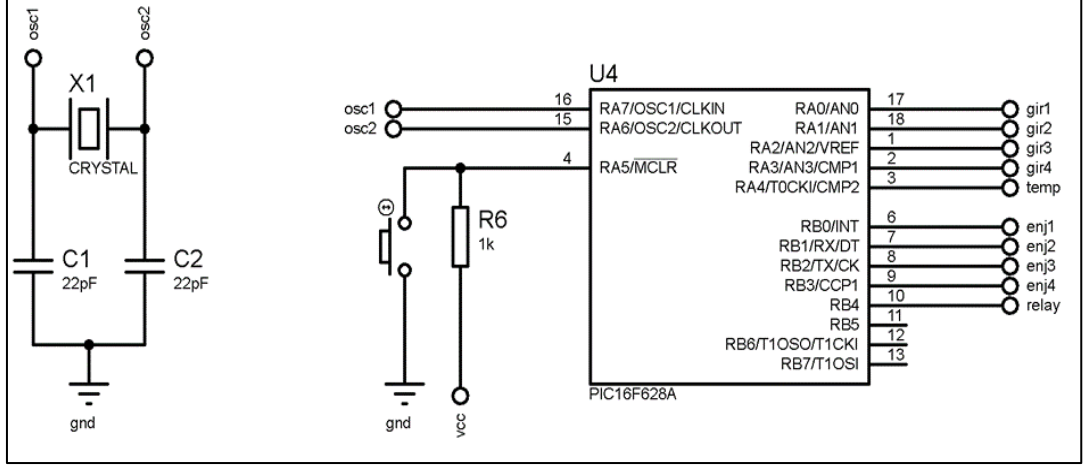
Giriş sinyallerinin oluşturacağı gürültülerden yalıtılmış giriş bölümünde ekonomik olması bakımından 4N25 optokuplörler kullanılmıştır. Ayrıca giriş sinyallerini gözleyebilmek için her girişe bir LED diyot eklenmiştir. Şekil 37'de görülen devredeki butonlar tasarım aşamasında test amaçlı eklenmiş olup oluşturulan baskı devrede bulunmamaktadır.



Şekil 37 Giriş Bölümü

Mikrodenetleyici ve Osilatör

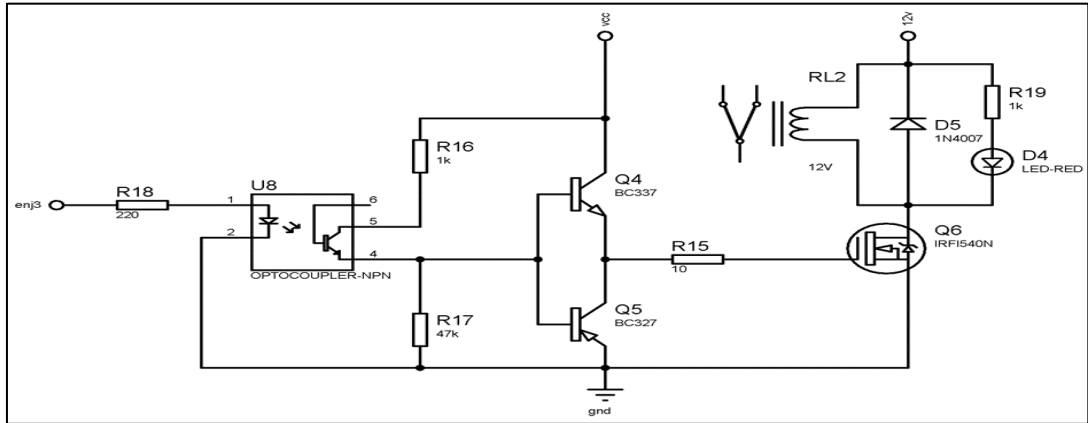
Devre yaygın olarak kullanılan, ekonomik PIC16F628A mikrodenetleyicisi ile kontrol edilmektedir. Osilatör olarak 4 MHz'lik kristal osilatör kullanılmıştır. Şekil 38'de görüldüğü gibi mikro denetleyicinin 4 numaralı pinine reset butonu ilave edilmiştir.



Şekil 38 Mikrodenetleyici ve osilatörü

Çıkış Bölümü

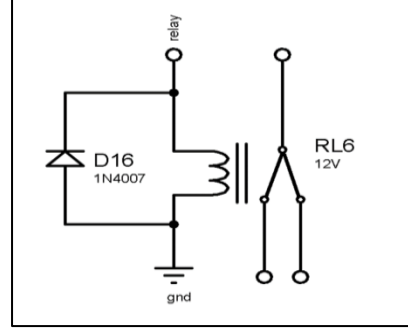
Araç enjektörleri bu bölümde bulunan IRF540 MOSFET'leriyle sürülmektedir. Şekil 39'da görüldüğü gibi test aşamasında bu bölümlere röle bağlanarak test edilmiştir. Bu röleler baskı devre sırasında bağlantı elemanlarıyla değiştirilmiştir. Ayrıca çıkışı gözlemlenmek amacıyla LED diyotlar her çıkış için eklenmiştir. IRF540N mosfetinin daha kararlı çalışması için 1 adet BC337 NPN ve 1 adet BC327 PNP transistör devrede kullanılmıştır.



Şekil 39 Çıkış Bölümü

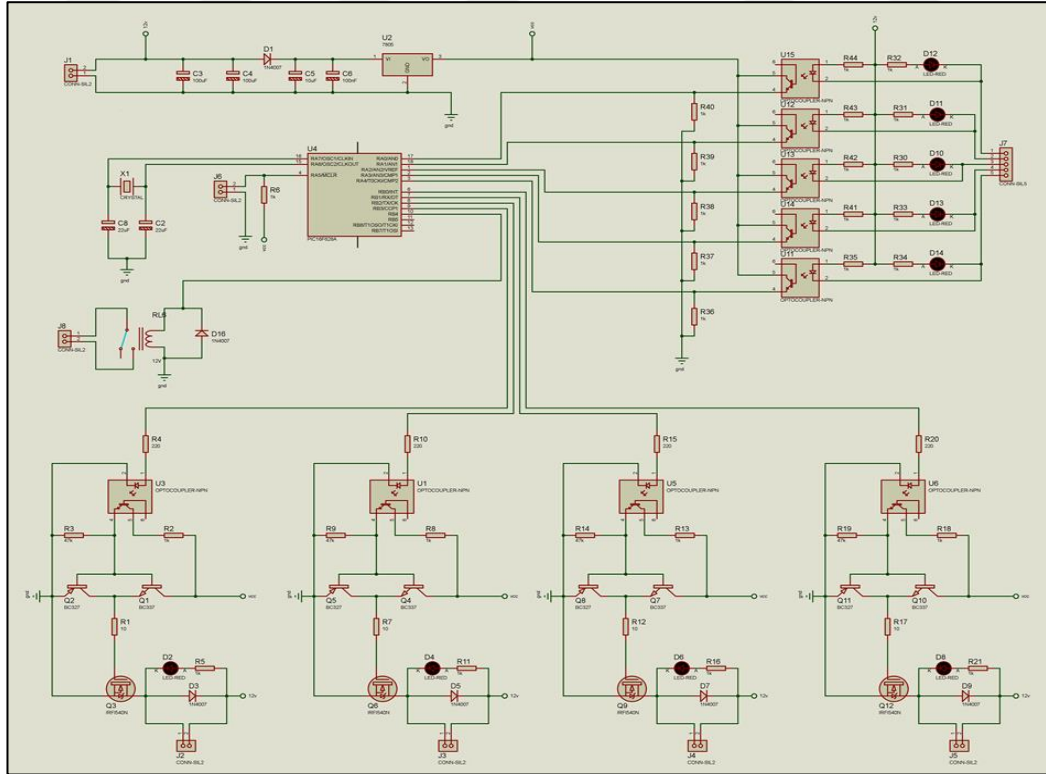
Röle

Devreye bağlanan röle ile benzin enjektörlerinin yakıt püskürtmesinin gecikmeli olarak kesilmesi amaçlanmıştır. Motor yeterli ısıya geldiğinde LPG enjektörlerinin devreye girmesi, yeterli süre sonunda ise benzin enjektörlerinin devreden çıkması bu röle vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Şekil 40'ta röle bağlantısı görülmektedir.



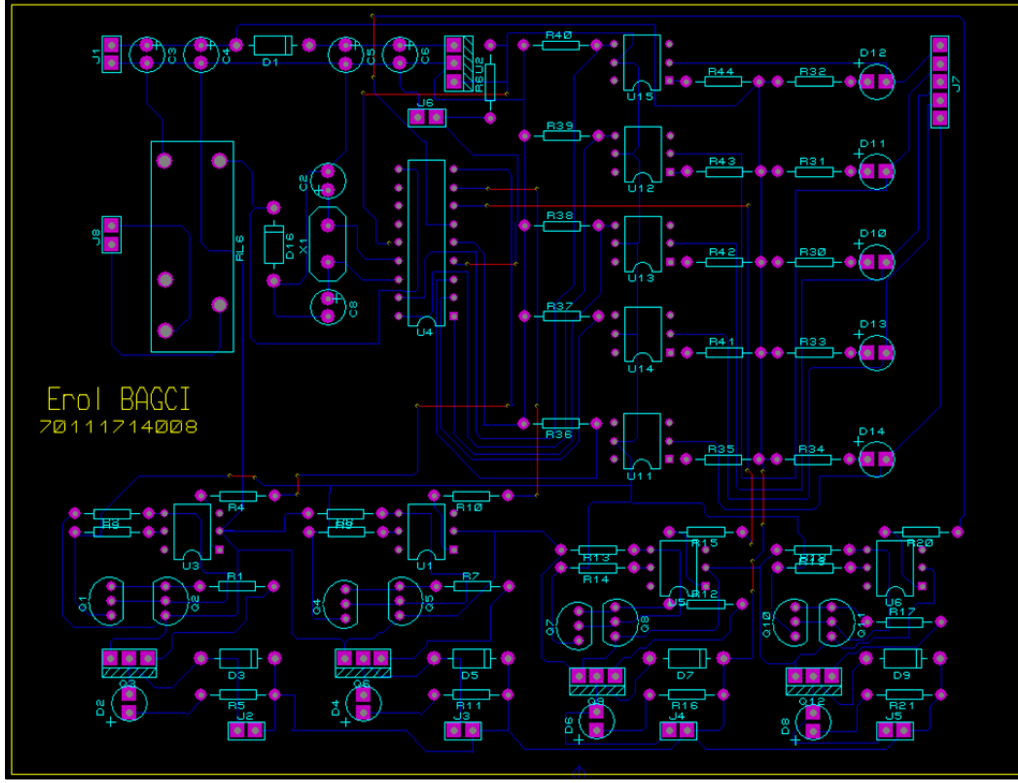
Şekil 40 Röle Bağlantısı

Baskı devrenin oluşturulması



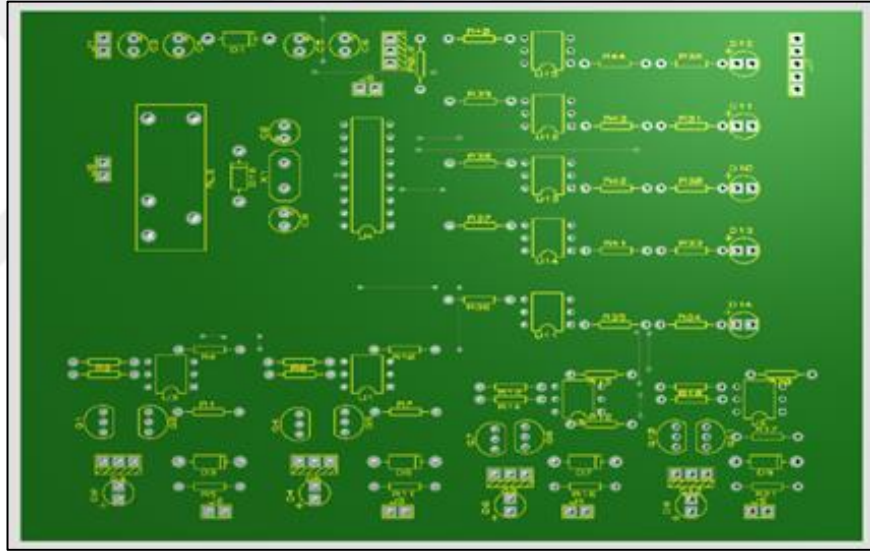
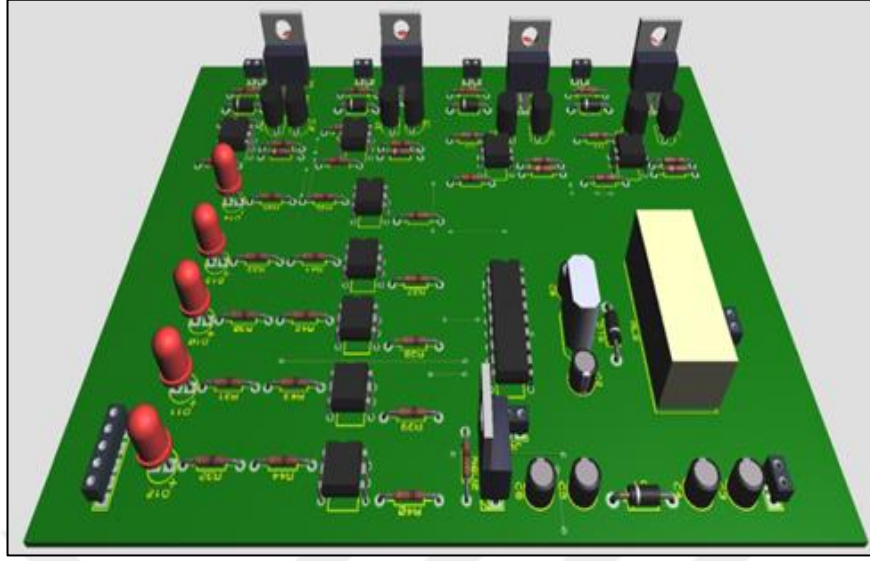
Şekil 41 ARES Baskı Devre Programına Aktarılan Devre Şeması

ARES baskı devre çizim programına Şekil 41’de tasarlanan devre aktarılmıştır. Baskı devre sırasında hata oluşmaması için buton ve giriş çıkışlar yerine kablo bağlantı soketleri yerleştirilmiştir.



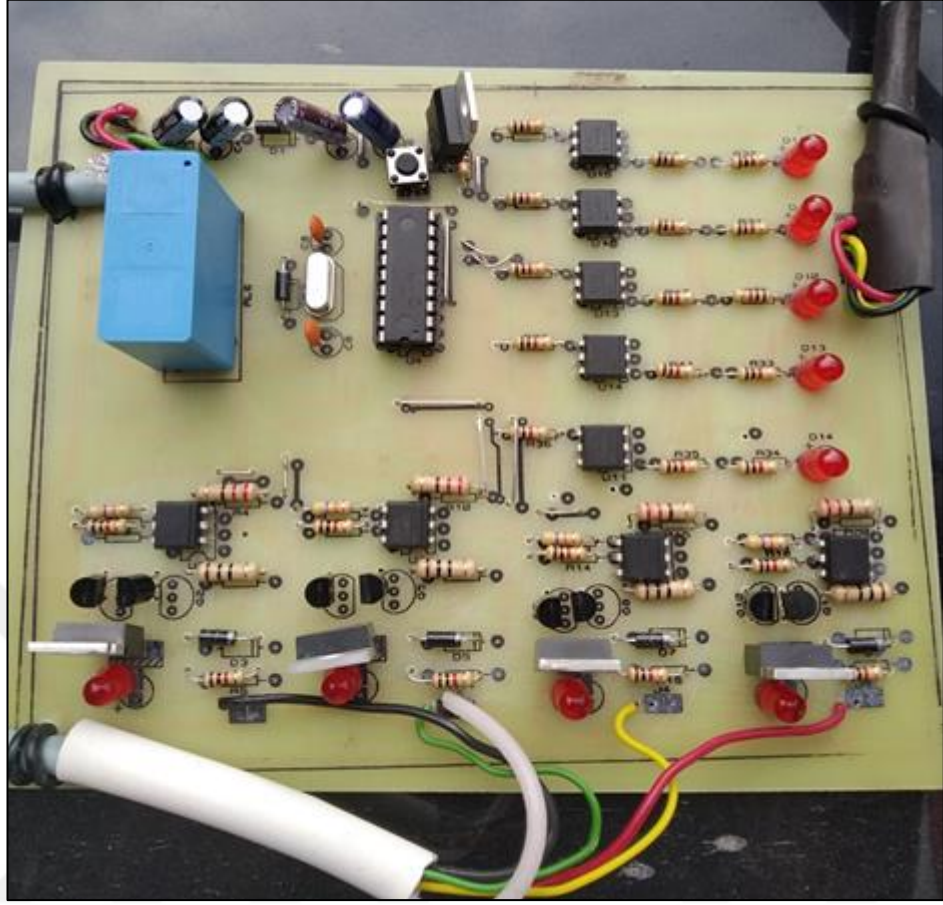
Şekil 42 Baskı Devre Çizimi

Baskı devre son görünümü Şekil 42’de gösterilmiştir. Proteus programı içerisinde bulunan ARES adlı uygulamayla baskı devre oluşturulmuştur. Yine aynı program elemanların yerleşimi ve baskı devre edildikten sonra oluşacak görünümü vermekte olup Şekil 43’de bunlara da yer verilmiştir.



Şekil 43 Kart Üzerine Elemanları Yerleşimi

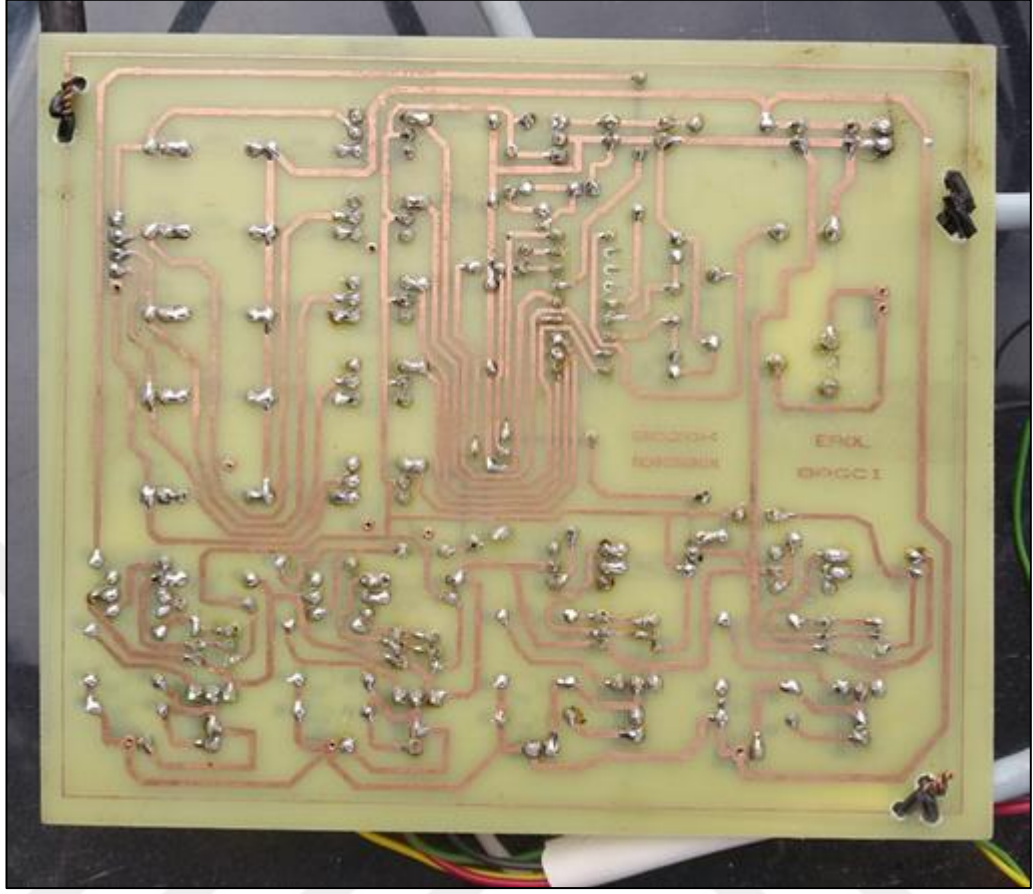
Yerleşimde giriş elemanları, çıkış elemanları, besleme bölümü ve kontrol ünitesi olmak üzere 4 ayrı bölüm olduğu bu bölümlerin plaket üzerinde kolayca tespiti ve oluşacak sorunların kolayca giderilmesi adına farklı yerlere yerleştirildiği görülmektedir.



Şekil 44 Tasarlanan Kontrol Kartı

Devrenin baskı devre yapılmış son hali ön yüzü Şekil 44'te görülmektedir. Şekil 45'te ise baskı devrenin arka yüzü lehimlenmiş vaziyette görülmektedir. Elemanların yerleşiminde giriş, çıkış, kontrol, röle ve besleme bölümleri farklı konumlandırılmıştır. Girişleri ve çıkışları gözlemlemek için led diyotlar eklenmiştir. Kristal mikro denetleyiciye yakın konumlanmıştır. Röleye paralel bir koruma diyotu bağlanmıştır.

ARES adlı programdan baskı devre kağıdına alınan devre şeması ütü yöntemiyle elektronik plakete aktarılmıştır. Perhidrol-tuz ruhu oranı 1/3 olan asidik sıvı ortamlı solüsyon içerisine atılan kart gerekli iş güvenlik ekipmanları kullanılarak elde edilmiştir. Elemanların ayak bağlantıları için 1mm'lik matkapla çalışılmıştır.



Şekil 45 Tasarlanan Kartın Baskı Devre Görünümü

Elde edilen baskı devre plaketi kalay oranı %70 olan 5 kanallı lehim kullanılarak lehimlenmiştir. Az yer tutması adına 11mmx13mm'lik plaket kullanıldığından yollar ve elemanlar yakın konumlandırılmıştır.

Lehimleme sonrası enjektör bağlantıları için soketli kablolar oluşturulmuş ve araç bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Araç motor bölümünde yeterli yer olmaması devrenin ısı izoleli bir muhafaza kutusu içerisine alınmasına engel olmuştur. Test sürüşü sırasında araç motor kaputunun kapatılması devrenin aşırı ısıya maruz kalması gibi bir olumsuzlukla karşılaşmıştır.

7.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada aracın benzin enjeksiyon darbelerini kullanarak motorun ihtiyacı olan LPG miktarını sağlamak üzere LPG enjektörlerini kontrol edebilen elektronik kontrol ünitesi tasarımı yapılmıştır. Bunun için öncelikle test aracının benzin enjeksiyon sinyali analiz edilmiştir. Bilindiği üzere bir aracın kendi elektronik kontrol ünitesine bir çok sensörden veri gelirken EKÜ'den sadece enjeksiyon sinyali çıktısı alınır. Bu nedenle tasarımın kararlı çalışabilmesi için araç üzerinde diğer sensörlerden de bilgi almak yerine bir çok sensörün verisi sonucu şekillenmiş enjeksiyon sinyalini kullanmanın daha avantajlı olacağı kanısına varılmıştır. Hem devir hem de yüke bağlı olarak bu sinyalin nasıl değişime uğradığı ortaya konmuştur. Tasarlanan sistem yazılımsal anlamda geliştirilmeye ve değişime elverişli olup, optimizasyon çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilir. Elektronik Kontrol Ünitesi 1600cc atmosferik motora sahip 4 silindirli bir araçta trafiğe kapalı ortamda kabaca yapılmış ayarlamalarla test edilmiştir. Bu ayarlar ilk ayarlar olup motorun çekişi, devirlenmesi ve boğulması esas alınarak yapılmıştır. Bu ayarlar egzoz emisyonu baz alınarak iyileştirilebilir ve hassaslaştırılabilir. Kabaca yapılan ayarlamalarla bile olsa elektronik kontrol ünitesinin LPG enjektörlerini almış olduğu referans sinyallere uygun olarak kontrol ettiği görülmüştür. EKÜ, motora anlık olarak gerekli olan püskürtme miktarını hassas şekilde sağlamaktadır. Tasarlanan EKÜ'nün olumlu sonuçlar vermesiyle kompleks LPG sistemlerinin yerine çok daha ekonomik bir kontrol kartının kullanılabilmesi ispatlanmıştır. Tasarlanan EKÜ'nün, maliyetinin düşük olması, açık kaynak kodlu olması, geliştirilebilir olması mevcut EKÜ'lere göre avantaj sağlamaktadır. Son olarak bu EKÜ'nün optimizasyon çalışmalarında kullanılarak en iyi hava yakıt karışımını sağlayacak yazılımla donatılması ile ülke ekonomisine ve çevreye yararlı bir ürün ortaya konulabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Erkuş B., Otto motorlarının farklı yakıt tiplerinde optimum performanslarının araştırılması, Doktora Tezi, Bursa, 2011.
- [2] Yiğit A., Bir Dizel Motorda LPG Kullanılması ve Farklı Özellikteki Pilot Dizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2008.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), “2019 Mayıs dönemi motorlu kara taşıtları istatistikleri”, https://www.ntv.com.tr/otomobil/trafige-kayitli-arac-sayisi-mayista-57-bin-artti,0U46Up_6ZUizYiF7EFS3DA, 10.01.2020.
- [4] Aydın M., Tek Silindirli Bir Dizel Motor İçin Elektronik Kontrollü Yakıt Püskürtme Sisteminin Geliştirilmesi Ve Performansının Ölçülmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2018.
- [5] MEGEP yayınları, “LPG’nin avantajları”, <https://www.tech-worm.com/lpg-otogaz-nedir-lpgnin-avantajlari-nelerdir>, 10.01.2020.
- [6] Li, L., Liu, Z., Wang, H., Deng, B., Wang, Z., Xiao, Z., Su, Y., Jiang, B., Development of a gas-phase LPG injection system for a small SI engine, SAE paper, 2003-01-3260:1-9, 2003.
- [7] Mistry, C.S. Comparative assessment on performance of multi cylinder engine using CNG, LPG and petrol as a fuel, SAE paper, 2005-01-1056:1-7, 2005.
- [8] Borat, O.. Optimization of spark advance for maximum torque in spark ignition engines. V. Yanma Sempozyumu, (1997): 236–244, 1997.
- [9] Hu, C., Liu, N., Li, W., Song, X., Investigation on rapid lean-burning of spark ignition LPG engines, SAE paper, 2006-32-0079: 1-10, 2006.
- [10] Loganathan, M., Ramesh, A., Study on manifold injection of LPG in two stroke SI engine, Journal of the Energy Institute, 80:3168-3174, 2007.
- [11] Bayındır H., İlkılıç C., Sarsılmaz C., Yerli Otomobillerde LPG Kullanımı, 1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Adana, 1997.
- [12] Çetinkaya, S., "Taşıtlarda LPG kullanımı", S.Ü Teknik Eğitim Fakültesi Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya, 1998.

- [13] Demirbaş A., Fuel Properties of Hydrogen, Liquefied Petroleum Gas (LPG), and Compressed Natural Gas (CNG) for Transportation, *Energy Sources*, 24:601-610, 2002.
- [14] İçingür Y., Salman M. S., Batmaz İ., LPG Dönüşümü Yapılan Taşıtlarda Performans Emisyonlar, Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Paneli, Konya, 1998.
- [15] Yamin J. A., Bardan O.O., Analytical Study to Minimise the Heat Losses From a Propane Powered 4-Stroke Spark Ignition Engine, *Renewable Energy*, 27:463-478, 2002.
- [16] S. Murillo, J.L. Míguez, J. Porteiro, L.M. López González, E. Granada and J.C. Morán Pollutant emission and performance enhancement for spark-ignition four strokes outboard engines, *Applied Thermal Engineering*, Volume:25, Issue:13, Pages:1882-1893, 2005.
- [17] Bayraktar, H. ve Durgun, O. Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance, *Energy Conversion and Management*, Volume: 46, Issue:13-14, Pages: 2317-2333, 2004.
- [18] Emen, M., Benzin ve Motorin Yakıtlı Motorlarda LPG Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 2000.
- [19] Dinler, N. ve Yücel N., Benzin ve LPG Kullanılarak İki Farklı Motorun Egzoz Emisyon Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, 7. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, Ankara, s.242-243, 2002.
- [20] Gerini, A., Monnier, G.A., Bonetto, R., Ultra low emissions vehicle using LPG engine fuel. SAE paper, 961079: 29-37, 1996.
- [21] Smith, W. J., Timoney, D. J. , Lynch, D. P.. Emissions and efficiency comparison of gasoline and LPG fuels in a 1.4 litre passenger car engine. SAE paper, 972970: 1–10, 1997.
- [22] Alasfour, F. N., Lean misfire limits of LPG fueled S.I. engine. SAE paper, 2001- 01-1960:1-7, 2001.
- [23] Li, L., Wang, Z., Deng, B., Han,Y.,Wang, H., Combustion and emissions characteristics of a small spark-ignited LPG engine. SAE paper, 2002-01-1738: 1-8, 2002.

- [24] Li, L., Wang, Z., Wang, H., Deng, B., Xiao, Z. 2002. A Study of LPG lean burn for a small SI engine. SAE paper, 2002-01-2844: 1-9, 2002.
- [25] Lee, K., Ryu, J., An Experimental study of the flame propagation and combustion characteristics of LPG fuel. Fuel, 84 (2005): 1116–1127, 2005
- [26] Gyeung, H.C., Yon, J.C., Sung, B. H., Comparison study between mixer and liquefied petroleum injection system fuel supply methods in a heavy-duty single cylinder engine. J. Automobile Engineering, Proc. IMechE Vol. 219 Part D: 1119- 1123, 2005.
- [27] Solmaz, Ö., LPG Dönüşümü Yapılmış Bir Motorun Soğukta İlk Hareketini Kolaylaştırıcı Sistemin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2005 .
- [28] Gümüş M., Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of adual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine, Fuel Processing Technology, 92, 1862 – 1867, 2011.
- [29] Aydın F., Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.
- [30] Nergiz M., MPI enjeksiyon sistemli araçlarda LPG ve Benzin Kullanımının Taşıt Performansına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008.
- [31] Gong C.M., Li J., Li J.K, Li W.X., Gao Q. and Liu X.J., Effects of ambient temperature on firing behavior and unregulated emissions of spark-ignition methanol and liquefied petroleum gas/methanol engines during cold start, Fuel, Vol. 90, 19-25, 2011.
- [32] Kocagöz S., Çift Yakıtlı (LPG-Benzin) Buji Ateşlemeli Bir Motorda Hacimsel Verimin Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [33] “Otogaz Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi”, <https://www.prins.com.tr/otogaz-sistemleri-tarihcesi>, 10.01.2020.
- [34] “İçten Yanmalı Motorlar”, <https://muhendisbilir.com/icten-yanmali-motorlar-nedir>, 10.01.2020.

- [35] “Otto Çevrimi”, <https://docplayer.biz.tr/84580-Icten-yanmali-motorlar.html>, 10.01.2020.
- [36] “İçten Yanmalı Motorların Yapısı”, http://selahattincelik.com/wp-content/uploads/2014/01/MOTORLAR_DERS-NOTU_Ders1_Ders_2.pdf, 10.01.2020.
- [37] “İçten Yanmalı Motorlarda Sistemler”, <https://www.sekizsilindir.com/2017/11/motor-freni-retarder-nedir-nasil-calisir.html>, 10.01.2020.
- [38] Gündoğan, K., “Alternatif yakıtların benzinli motor performansı üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, 6-11, 45-51, 2005.
- [39] “LPG Sistemi Elemanları”
http://www.teknikotogaz61.com/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=61, 10.01.2020.
- [40] İnternet: Öztürk, M., “Egzoz kirliliği sağlığı tehdit ediyor.”, www.ustad.org.tr, 10.01.2020.
- [41] Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı, II. Baskı, Makine Mühendisleri Odası, Yayın no:227/2, Ankara, 2000.
- [42] “LPG sistemleri”, <https://www.ipragaz.com.tr/lpg-nedir.asp>, 10.01.2020.
- [43] “Bütanın Yapısı”, <https://www.wikiwand.com/tr/Bütan>, 10.01.2020.
- [44] “Propanın Yapısı”, <https://www.wikiwand.com/tr/Propan>, 10.01.2020.
- [45] Karamangil, M.İ., Yakıtlar, Yağlar ve Emisyonlar Ders Notları, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa, 2017.
- [46] http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/75fcb6de80025fe_ek.pdf?
10.01.2020
- [47] Boran, S., Yeşil, C. ve Gülgeci, İ., Buji Ateşlemeli Motorlarda LPG Kullanımı, Bitirme Tezi, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği, Karabük, 1998.
- [48] http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf, 10.01.2020
- [49] <http://lpgecu.com/urun/atiker-new-multifast-lpg-ecu/>, 10.01.2020
- [50] <http://www.prosis.com.tr/ecu.html>, 10.01.2020
- [51] <https://www.atiker.com.tr/Urunler.asp?Dil=0&KiD=330>, 10.01.2020

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kahramanmaraş’da doğan Erol BAĞCI, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Kahramanmaraş’ta Muallim Hayrullah Efendi İlkokulu, Gazi Ortaokulu ve Endüstri Meslek Lisesinde tamamlamıştır. 1999 yılında kazandığı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümünü 2006 yılında başarıyla bitirmiştir.

2016 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN danışmanlığında hazırladığı “LPG Sistemi Elektronik Kontrol Ünitesi(ECU) Tasarımı” başlıklı teziyle 2019 yılında mezun olmuştur.

2012 yılından beri Yozgat Mimar Sinan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Elektrik Öğretmeni olarak çalışmakta olan Erol BAĞCI, evli ve 2 çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri

Adres : Medrese Mahallesi, Lise Caddesi

66100 YOZGAT

Telefon: (553) 707 66 46

E-posta: erol46@hotmail.com