



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİREKT ENJEKSİYONLU BENZİNLİ (GDI)
BİR MOTORA SAHİP TAŞITTA SIVI FAZ
LPG KULLANIMININ EMİSYON VE MOTOR
PERFORMANSINA ETKİLERİ**

Bahtiyar BAĞATUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim
Dalı**

Haziran-2021
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİREKT ENJEKSİYONLU BENZİNLİ (GDI)
BİR MOTORA SAHİP TAŞITTA SIVI FAZ
LPG KULLANIMININ EMİSYON VE MOTOR
PERFORMANSINA ETKİLERİ**

Bahtiyar BAĞATUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim
Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Salih ÖZER

Haziran-2021
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

Bahtiyar BAĞATUR tarafından hazırlanan “Direkt Enjeksiyonlu Benzinli (GDI) Bir Motora Sahip Taşıtta Sıvı Faz LPG Kullanımının Emisyon ve Motor Performansına Etkileri” adlı tez çalışması 08.06.2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Serkan ÖZEL
Bitlis Eren Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği

.....

Danışman

Doç. Dr. Salih ÖZER
Muş Alparslan Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKÇAY
Muş Alparslan Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği

.....

Yukarıdaki sonuç;
Enstitü Yönetim Kurulu/...../..... Tarih ve/..... nolu kararı
ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Bahtiyar BAĞATUR

08.06.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİREKT ENJEKSİYONLU BENZİNLİ (GDI) BİR MOTORA SAHİP TAŞITTA SIVI FAZ LPG KULLANIMININ EMİSYON VE MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Bahtiyar BAĞATUR

**Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Salih ÖZER

LPG'nin ucuz, yanma veriminin yüksek ve çevreci bir yakıt olması günümüzde kullanım miktarını artırmıştır. Hatta LPG sistemlerini birçok araç üreticisi fabrika çıkışlı şekilde sunmaya başlamıştır. Gaz yakıtlara olan bu ilgi ile birlikte LNG, LPG, CNG, hidrojen, asetilen gibi gaz yakıtların kullanımı da giderek artmaktadır. Fakat bu yakıtlar arasında en çok kullanılan ve ticareti yapılanı LPG'dir. LPG'nin bu kadar çok tercih edilmesi LPG kiti üreten firmaların dikkatini çekmektedir. Her geçen gün sistemlerini geliştirmektedirler. İlk çıkan klasik LPG'li araçlarda LPG, karbüratör önüne konulan bazı aparatlar ile silindir içerisine gönderilmekteydi. Sonrasında sistemler geliştirilerek emme manifolduna gazın verilmesi şekline dönüşmüştür. Günümüzde ise artık LPG'nin sıvı fazda motorun enjektörlerinden püskürtülerek verilmesini sağlayan sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler sayesinde turbolu ve enjektörden benzinin püskürtülerek kullanıldığı motor teknolojisine sahip araçlarda da LPG kullanılmaya başlanmıştır. Genel itibariyle direkt benzin enjeksiyonlu (GDI) motor teknolojisi ismi verilen bu araçlarda motorun enjektör sistemi kullanılarak sıvı fazda LPG silindir içerisine gönderilmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması sıvı LPG sistemine sahip turbo direkt benzin enjektörlü (TGDI) motorda sıvı LPG kullanımının etkilerini incelemektedir. Bu amaçla turbo GDI motor teknolojisine sahip bir taşıta Prins marka sıvı LPG sistemi ile entegre edilmiştir. Taşıt bir anahtar ile benzin ve sıvı LPG ile ayrı ayrı çalıştırılabilmektedir. Motor ya da egzoz sistemi üzerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Bu taşıt kullanılarak yapılan deneylerin tümü şasi dinamometresinde gerçekleştirilmiştir. Tüm motor deneyleri boyunca motor torku, motor gücü ve egzoz gaz emisyonları (CO, CO₂, HC ve O₂) ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Taşıt deneyleri için dört zamanlı, dört silindirli, direkt enjeksiyon sistemli, turbo benzinli bir motora sahip olan 2017 model 1.6 TGDI marka taşıt, dinamometre üzerinde kullanılarak, 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak, 3500 d/dak, 4000 d/dak, 4500 d/dak motor hızlarında 5. vites kolu konumunda çalıştırılmıştır. Çalışma esnasında egzoz gaz emisyon değerleri cihaz ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar sıvı LPG ile birlikte her motor hızında motor gücünde artışın olduğunu göstermiştir. En yüksek artış oranı ise 4500 d/dak motor hızında elde edilmiştir. LPG kullanımı ile maksimum motor gücü 169 BG ölçülürken bu rakam benzin ile 166 BG düşmektedir. Bu durumu LPG'nin kütleli ısıl değeri ve oktan sayısı ile açıklamak mümkündür. Ayrıca silindir içerisine doğrudan püskürtülen LPG'nin tamamının yanmaya etkin katılabildiği de düşünülmektedir. Sıvı LPG kullanımı ile birlikte motor tork değeri 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak ve 3500 d/dak motor hızlarında artış gösterirken 4000 d/dak ve 4500 d/dak motor hızlarında düşüş eğilimi göstermiştir. En yüksek artış oranı 2000 d/dak motor hızında tespit edilmiş en yüksek azalma ise 4500 d/dak motor hızında ölçülmüştür. Tüm motor hızlarında CO emisyonlarında azalma görülmüştür. En yüksek azalma oranının 2000 d/dak motor hızında %66 oranı ile elde edildiği görülmüştür. CO₂ emisyonları açısından sıvı LPG kullanımı ile birlikte 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak ve 3500 d/dak motor hızlarında artış 4000 d/dak ve 4500 d/dak motor hızlarında ise azalma eğilimi görülmektedir. Tüm motor hızlarında sıvı LPG kullanımı ile

birlikte HC emisyonlarında azalma eğilimi görülmektedir. En yüksek azalma miktarı %26 ile 3500 d/dak motor hızında elde edilmiştir. Sıvı LPG kullanımı ile birlikte 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak ve 3500 d/dak motor hızlarında oksijen (O₂) miktarı azalırken 4000 d/dak ve 4500 d/dak motor hızlarında artış eğilimi göstermiştir.

2021, 47 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Egzoz gaz emisyonu, GDI motor, Motor gücü ve Performansı, Sıvı LPG

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECTS OF LIQUID PHASE LPG ON EMISSION AND ENGINE PERFORMANCE IN VEHICLES WITH A DIRECT INJECTION GASOLINE (GDI) ENGINE

Bahtiyar BAĞATUR

**Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

Advisor: Associate Prof. Dr. Salih ÖZER

The fact that LPG is a cheap, high combustion efficiency and environmentally friendly fuel has increased the amount of use today. In fact, many vehicle manufacturers have started to offer LPG systems from the factory. Along with this interest in gas fuels, the use of gas fuels such as LNG, LPG, CNG, hydrogen, acetylene is also increasing. But among these fuels, LPG is the most used and traded. The fact that LPG is so preferred attracts the attention of companies that produce LPG kits. They are developing their systems every day. In the first Classic LPG vehicles, LPG was sent into the cylinder with some apparatus placed in front of the carburettor. After that, the systems were developed and turned into the way gas was delivered to the intake manifold. Currently, systems that allow the delivery of LPG in the liquid phase by spraying from the engine's injectors have started to be used. Thanks to these systems, LPG has also been used in vehicles with engine technology where gasoline is sprayed from the turbocharger and injector. In these vehicles, which are generally called direct gasoline injection (GDI) engine technology, LPG is sent into the cylinder in the liquid phase using the engine's injector system.

This master's thesis study examines the effects of liquid LPG use in turbo gasoline direct injector (TGDI) engine with liquid LPG system. For this purpose, it is integrated with Prins brand liquid LPG system in a vehicle with turbo GDI engine technology. The vehicle can be operated separately with gasoline and liquid LPG with a switch. No changes have been made to the engine or exhaust system. All experiments using this vehicle were carried out on the chassis dynamometer. During all engine experiments, engine torque, engine power and exhaust gas emissions (CO, CO₂, HC and O₂) were measured and recorded. Vehicle for experiments, four-stroke, four-cylinder, direct-injection system, which has a 1.6 TGDI turbo-petrol engine, the 2017 model brand of vehicle using a dynamometer, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm, 4000 rpm, 4500 rpm at engine speeds of up to 5. it is operated in the gear lever position. During Operation, exhaust gas emission values were measured and recorded with the device.

The results showed an increase in engine power at each engine speed along with liquid LPG. The highest increase rate was achieved at an engine speed of 4500 rpm. Maximum engine power is measured at 169 HP with the use of LPG, while this figure drops to 166 HP with gasoline. It is possible to explain this situation by the mass thermal value of LPG and the octane number. It is also believed that all LPG sprayed directly into the cylinder can effectively participate in combustion. Along with the use of liquid LPG, the engine torque value increased at 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm and 3500 rpm, while the engine speed tended to decrease at 4000 rpm and 4500 rpm. The highest increase rate was determined at 2000 rpm and the highest decrease was measured at 4500 rpm. A reduction in CO emissions was observed at all engine speeds. The highest reduction rate was achieved with 66% of the engine speed of 2000 rpm. Along with the use of liquid LPG in terms of CO₂ emissions, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm and 3500 rpm at engine speeds of 4000 rpm and 4500 rpm engine speeds increase a tendency to decrease is observed. Along with the use of liquid LPG at all engine speeds, there is a tendency to reduce HC emissions. The highest amount of reduction was achieved with an engine speed of 3500 rpm with 26%.

The amount of oxygen (O₂) decreased at engine speeds of 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm and 3500 rpm with the use of liquid LPG, while the engine speeds of 4000 rpm and 4500 rpm tended to increase.

2021, 47 Pages

Keywords: Exhaust gas emission, GDI engine, Engine power and Performance, Liquid LPG

ÖNSÖZ

Bu çalışma Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamın yürütülmesinde ve hazırlanmasında her konuda bildiklerini paylaşarak değerli katkılarını sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Salih ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım da katkısı olan gerek derslerinde gerekse ders dışında değerli vakitlerini ayırıp, kıymetli bilgilerini esirgemeyen Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Sedat BOZARI ve Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Dr. Öğretim Üyesi Mehmet AKÇAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmamın hazırlanması sırasında her zaman manevi destekleriyle yanımda olan değerli eşim ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Bahtiyar BAĞATUR
MUŞ-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar	3
1.1.1 Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG).....	3
1.1.2 Hidrojen	4
1.1.3 Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG)	4
1.1.4 Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG).....	5
1.1.5 Biyogaz	5
1.1.6 Etanol	6
1.2 LPG Dönüşüm Sistemleri	6
1.2.1 Birinci nesil karbüratörlü sistemler.....	7
1.2.2 İkinci nesil enjeksiyonlu sistemler.....	8
1.2.3 Üçüncü nesil yol bilgisayarlı araç sistemleri	8
1.2.4 Dördüncü nesil özel elektronik sistemler.....	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	19
3.1 Deneyde Kullanılan Taşıt ve Motorun Teknik Özellikleri	19
3.2 Testlerde Kullanılan Egzoz Emisyon Cihazı	21
3.3 Deney Taşıt Test Dinamometresi	22
3.4 Deney Yakıtları.....	24
3.5 Deney Taşıtı Üzerinde Kullanılan Sıvı LPG Sistemi ve Parçaları	25
3.5.1 Sıvı LPG sistemi	25
3.5.2 LPG yakıt tankı	26
3.5.3 Elektronik kontrol ünitesi AFC-2 (ECU).....	27
3.5.4 Yakıt anahtarı.....	28
3.5.5 Basınç pompası	29
3.5.6 Yakıt geri dönüş ünitesi (FRU).....	29
3.5.7 Yakıt besleme ünitesi (FSU).....	30
3.5.8 Pompa işlemcisi	31
3.5.9 Yakıt modülü	31
3.6 Deney Prosedürü.....	32

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	33
4.1 Motor Performansı	33
4.2 Egzoz Emisyonları	35
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°C	: Santigrad Derece

Kısaltmalar

BAM	: Buji Ateşlemeli Motor
BG	: Beygir Güç
BSFC	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
cc	: Kübik Santimetre
CI	: Sıkıştırma Ateşlemeli Motor
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
C ₂ H ₅ OH	: Etanol
C ₃ H ₈	: Propan
C ₄ H ₁₀	: Bütan
d/dak	: Devir / Dakika
DCT	: Çift Debriyajlı Şanzıman
DI	: Direkt Enjeksiyonlu
DLM	: Direkt LiquiMax
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
FRU	: Yakıt Geri Dönüş Ünitesi
FSU	: Yakıt Besleme Ünitesi
g/h	: Gram/Saat
GDI	: Direkt Benzin Enjeksiyonlu
H ₂	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HCCI	: Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli
HP	: Beygir Gücü
IMEP	: Belirtilen Ortalama Etkili Basınç
Kg	: Kilogram
Km/h	: Kilometre/saat
LCD	: Sıvı Kristal Ekran
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
Lt	: Litre
m ³	: Metre küp
Mj	: Megajul
mm	: Milimetre
NEDC	: Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü
Nm	: Newton metre
NO _x	: Azot Oksit
O ₂	: Oksijen
PM	: Partikül Madde
s	: Saniye

SI	: Kıvılcım Ateşlemeli Motor
SO ₂	: Kükürtdioksit
SUV	: Spor Amaçlı Taşıt
TGDI	: Turbo Benzinli Direkt Enjeksiyonlu
VOS	: Uçucu Organik Maddeler

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Birinci nesil karbüratörlü sistemler	7
Şekil 1.2 İkinci nesil enjeksiyonlu sistemler	8
Şekil 1.3 Üçüncü nesil yol bilgisayarlı araç sistemleri	9
Şekil 1.4 Dördüncü nesil özel elektronik sistemler	10
Şekil 3.1 TGDI motora sahip deney taşıtı.....	20
Şekil 3.2 Egzoz emisyon cihazı	22
Şekil 3.3 Taşıt test dinamometresi	23
Şekil 3.4 Deney düzeneğinin şematik resmi	24
Şekil 3.5 Direct liquimax LPG sisteminin şeması	26
Şekil 3.6 LPG yakıt tankı.....	27
Şekil 3.7 Elektronik kontrol ünitesi	28
Şekil 3.8 LPG yakıt anahtarı.....	28
Şekil 3.9 Boost pump.....	29
Şekil 3.10 Yakıt geri dönüş ünitesi (FRU)	30
Şekil 3.11 Yakıt besleme ünitesi (FSU).....	30
Şekil 3.12 Pompa işlemcisi.....	31
Şekil 3.13 Yakıt modülü	32
Şekil 4.1 Motor gücünün LPG kullanımı ile değişimi.....	33
Şekil 4.2 Motor torkunun LPG kullanımı ile değişimi	34
Şekil 4.3 CO emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi	36
Şekil 4.4 CO ₂ emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi	37
Şekil 4.5 HC emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi	38
Şekil 4.6 O ₂ emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Deney taşıtının teknik özellikleri.....	20
Çizelge 3.2 Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri.....	21
Çizelge 3.3 Deney yakıtlarının teknik özellikleri	24

1. GİRİŞ

Ülkelerin birçoğu artan enerji taleplerini petrol kökenli yakıtları kullanarak gidermeye çalışmaktadır. Fakat yakın gelecekte fosil kaynakların tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalınması söz konusudur. Bu nedenle küresel piyasalar farklı yenilenebilir, sürdürülebilir, maliyeti düşük, yerli imkânlarla üretilebilen ve daha çevreci enerji kaynakları arayışı içerisine girmiştir. Çünkü petrol kökenli yakıt rezervlerinin tükenmekte olması ve kullanımlarından dolayı hava kirliliğini artırması gibi nedenler tüm Dünya'yı tehdit etmektedir (Kenanoğlu, 2016; Majidi Dolat Abadi, 2017). Bunun için ülkelerin ana gündem konuları çevreyi daha az kirleten alternatif yakıtların bulunması, temini ve kullanılması üzerine odaklanmaktadır. Özellikle ulaşım, sanayi, ısıtma ve konut kaynaklı nedenlerden oluşan hava kirliliği hayatı önemli ölçüde tehlikeye düşürmektedir (Yağız, 2019). Hava kirliliği nedenlerinden biri olan ulaşım sektöründe araçların egzozlarından çıkan karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksitler (NO_x), partikül madde (PM), kükürtdioksit (SO₂), uçucu organik maddeler (VOS) ve karbondioksit (CO₂) gibi zararlı sera gazları yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir (Yaşar, 2016; Ergüder, 2019). Araçların egzozlarından çıkan bu zararlı gazları en aza indirgeyebilmek adına sıkıştırma ile ateşlemeli motor (CI) ve buji ile ateşlemeli motorların (BAM) her ikisinde de kullanılacak alternatif yakıtlar ile ilgili birçok akademik çalışma yapılmıştır. Bu konuda deneysel çalışmalarını sürdüren araştırmacılar gelişen teknolojiler sayesinde kabul görmüş klasik alternatif yakıt katkılarının yanında daha farklı kimyasal maddeler arayışı içerisine girmiştir. Dizel motorlarındaki ilk alternatif yakıt çalışması R. Diesel dizel motorunun çalıştırılmasını fıstık yağını kullanarak yapmıştır. Eski tarihlere dayanan bu alternatif yakıt çalışmaları günümüzde daha da farklılaşmıştır (Datta ve Mandal, 2016).

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıtların kullanımı son yıllarda biyokütle yakıtları (alkoller, bitkisel yağlar, biyodizel), gaz yakıtları (LPG, CNG, asetilen, hidrojen) üzerinde odaklanmıştır (Özbay ve ark., 2020; Yıldız, 2017; Naik ve ark., 2018). Alternatif yakıtlardan bazıları doğrudan motorda kullanılabilen iken bazıları benzin ve dizel ana yakıtlarına çeşitli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir (Yontar, 2016). Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı konusunda sektör içerisinde LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), CNG (sıkıştırılmış doğal gaz), LNG (sıvılaştırılmış

doğal gaz), H₂ (hidrojen), etanol ve biyogaz gibi doğa dostu yakıtların araştırmaları hız kazanmaya devam etmektedir (Karagöz ve ark., 2016).

Gaz yakıtların içerisinde LPG, CNG gibi yakıtlar ticari olarak ürün haline de gelmiştir. Bu açıdan bazı araç üreticileri fabrikadan çıkışlı LPG'li araç üretmeye başlamıştır. Çünkü LPG egzoz emisyonlarından çıkan zararlı gazları azaltmaktadır (Organ ve ark., 2019).

LPG'nin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması, özellikle řu temellere dayanmaktadır;

- Yüksek oktan sayısı,
- Yüksek ısıl verimi,
- Ucuz olması,
- Birçok kaynaktan üretiliyor ya da sağlanabiliyor olması,
- Emisyon değerlerini azaltması (Özcan, 2010; Anonim, 2021b).

Taşıtlarda kullanılan yakıtların tüketim miktarı ve bu yakıtların yanması sonucunda meydana gelen egzoz gaz emisyonlarının önemi Euro normlarının yaygın duruma gelmesi ile birlikte daha da arttı. Egzoz emisyon değerlerinin ve yakıt sarfiyatının düşürülmesi için motor içerisindeki yanma olayının takibinin yanında yanma sonucunda oluşan egzoz emisyonlar da takip edildi. Öncelikle Euro4 normunun ve sonrasında Euro5 normlarındaki benzinli motorlarda gerçekleşen yanma durumları, emisyonlara göre belirlenmiş ve bu sayede silindir içerisine alınan hava+yakıt karışımının önemi daha çok arttı. (Anonim, 2021e). Araçların LPG yakıtı ile kullanılması egzoz emisyonlarından çıkan zararlı gazları azaltma yönünde atılan adımlardan bir tanesidir. Benzin ve motorine göre LPG yakıtının daha az emisyon değerlerine sahip alternatif yakıt olduğunu göstermektedir. Sıvı yakıtlardan benzin ve dizel yakıtlarının kaynama noktaları değerleri oda sıcaklığının üzerinde iken LPG yakıtının kaynama noktası değerleri daha düşük ısılardadır (Aydın, 2006). LPG yakıtı benzine alternatif yakıt olma yönünde ilerlerken, buji ateşlemeli motorların üzerinde önemli değişikliklere gidilmeden kullanılabilir. Tüm bunların yanında ekonomik olması otomotiv sektöründe LPG yakıtına olan talepleri artırmaktadır. Avrupa ve Türkiye'de alternatif yakıt olarak LPG'nin ticari ve binek taşıtlarda kullanılması yaygınlaşmıştır (Kaptan, 2015). Günümüzde fabrikalarda direkt montajı yapılmış LPG yakıt sistemine sahip araçların satışını firmalar gerçekleştirmektedir (Organ ve ark., 2019). LPG yakıtı araç silindirlerine gaz durumda hava ile karıştırılarak gönderilir

dolayısı ile taşıtlarda LPG yakıtının kullanılmasının araç performansına etkileri de olmaktadır. Motor gücünde meydana gelen bu etki saf benzin yakıtı ile kullanılan motor gücüne oranla daha düşüktür (Karamangil, 2007). LPG yakıtı araç egzoz emisyonları açısından değerlendirildiğinde içten yanmalı motorlarda kullanılan benzin ve dizel yakıtına göre daha çevreci olmasının yanında ekonomik olarak ucuz olması, ısı veriminin ve oktan sayısının yüksek olması LPG'ye olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır.

1.1 Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar

Teknolojinin gelişmesi ile beraber petrol kökenli yakıtlara alternatif olabilecek ve motor üzerinde önemli bir değişikliğe gidilmeden kullanılabilen yakıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yakıtlar içerisinde LPG, CNG, LNG, hidrojen, etanol ve biyogaz gibi doğa dostu alternatif yakıtlar önemli bir yere sahiptir (Barakat ve ark., 2019).

1.1.1 Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)

LPG; sıvılaştırılmış bütan ve propan gazlarının belli oranda karıştırılmasıyla elde edilir. Renksiz, kokusuz, gaz halinde havadan ağır fiziksel özelliklere sahiptir. Türkiye'de kullanılan LPG'yi oluşturan bu gazların karışım oranları %30 propan (C_3H_8) ve %70 bütan (C_4H_{10}) şeklindedir. Propan yüksek basınçlı iken bütan daha düşük basınçlıdır. Gaz yakıtların birbiri ile karışımı sıvı yakıtlara göre daha basit ve kolaydır. LPG yakıtlı araçların ani ivmelenme gerektiren durumlarında motor silindirlerine gönderilen gaz yakıt, sıvı yakıtlara oranla silindir içerisine daha düzgün, homojen ve geniş alana yayılır (Yaman ve Çelik, 2004; Lu ve Li, 2011).

Aliustaoğlu ve Ayhan (2019) tarafından LPG-dizel çift yakıt karışımının direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunun is emisyonlarına ve performansına olan etkilerini araştırmışlardır. İlk olarak motorun standart testleri her devir için yük, özgül yakıt tüketimi ve is emisyon ölçümlerini yapmışlardır. Sonrasında LPG-dizel çift yakıt karışımının testlerinde LPG yakıtı bir enjektör vasıtasıyla motorun emme bölümünden kademeli şekilde püskürtülmüştür. Deneysel çalışma sonucu elde ettikleri verileri karşılaştırdıklarında çift yakıt (%20LPG+%80dizel) karışımının, standart motor çalışma durumuna göre motorun performansında kötüleşmeye neden olmadığını, özgül yakıt tüketiminde ve yakıt maliyetlerinde avantaj sağladığını belirlemişlerdir. İis emisyon değerlerinde ise önemli ölçüde iyileşmelerin olduğunu tespit etmişlerdir.

1.1.2 Hidrojen

Hidrojen renksiz, kokusuz, yanıcı, sembolü H, atom sayısı 1 olan ve havaya göre yoğunluğu 0,07 olduğundan elementler arasında en hafif gaz maddedir. Doğada en çok bulunan element olduğu halde çok hafif olması nedeniyle atmosfere yükseldiğinden doğada serbest halde bulunması oldukça zordur (Zengin, 2019). Hidrojeni taşımak ve depolamak büyük bir problemdir. Kolay üretilen hidrojen yakıt olarak motorlu araçlarda kullanılan yakıtlar arasında yerini almaktadır. Hidrojenin yüksek oktan sayısına sahip olması motorda oluşacak vuruntuya karşı direncini ortaya koymaktadır. Teknolojik olarak uygun motorlarda kullanıldığında diğer petrol kökenli kaynaklardan elde edilen yakıtlara göre termik verimde ve zararlı sera gazlarının azaltılması yönünde egzoz emisyonlarında avantajlar sağlar (Bayrakçeken ve Kuş, 2006).

Haşimoğlu ve ark., (2006) hidrojen yakıtı ile ilgili yaptıkları incelemede alternatif yakıtlar içerisinde önemli bir yeri olduğunu herhangi bir tehlike ya da kaza durumunda hidrojenin uçuculuğunun yüksek olması nedeniyle olay yerinden hızla uzaklaşarak oluşabilecek büyük tehlikeleri ortadan kaldırdığını ve yanma ile birlikte depolama sorunları giderildikten sonra içten yanmalı motorlarda rakipsiz bir yakıt olarak kullanılabilirliğini belirlemişlerdir.

1.1.3 Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG)

Sıkıştırılmış doğal gaz olarak adlandırılan CNG doğal gazın 200-250 bar basınç altında kompresörlerle sıkıştırılıp depolanmış halidir. CO değeri %0 olduğundan çevreci yakıt olarak adlandırılan CNG, havadan daha hafif ve tutuşma sıcaklığı 650°C'dir (Ünal ve Doğan, 2014). Doğal gaz hidrokarbon bileşikleri tarafından oluşturulur ve çoğunluğu metandan meydana gelmektedir. Dünya piyasalarında diğer yakıtlara oranla daha ekonomik ve ulaşılabilir olması, içeriğindeki enerji potansiyelinin yüksek olması gibi nedenler doğal gazı içten yanmalı motorlarda kullanmaya yöneltmiştir (Yalçın ve ark., 2015).

Aslam ve ark., (2006) kıvılcım ateşlemeli benzinli bir motorun değişik devirlerde CNG ve benzin yakıtı ile kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarında benzin yakıtına göre CNG kullanımının motorun verimini ve gücünü artırdığını ayrıca HC ile CO egzoz emisyon değerlerini düşürürken NO_x emisyon değerini artırdığını tespit etmişlerdir. Mevcut yakıtlar içerisindeki piyasada yerini almaya çalışan ve gelişmekte olan CNG yakıt

sistemi benzinli ve dizel araçlarda da kullanılabilir. CNG yakıtının temiz, düşük maliyetli, çevre dostu aynı zamanda da dizel yakıt ile kullanılan araçlara uygunluğu ulaşım sektöründe lojistik şirketlerin ilgisini artırmıştır (Özdemir ve Dulupçu, 2018).

1.1.4 Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG)

Doğal gazın atmosfer basıncı altında -162°C 'ye kadar soğutulup yoğunlaşması sonucu sıvı hale geçmesi olarak adlandırılan LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) düşük basınçlar altında hacimsel olarak küçültülmesi sonucu sıvı halinde depolanabilmektedir (Öztornacı, 2019). Yakıt olarak kullanılmasında yüksek oktan sayısına sahip olması, ekonomik oluşu ve zararlı madde atıklarının çok düşük oluşu LNG yakıtını avantajlı hale getirmektedir (Yılmaz, 2008).

Doğal gaz ile çalışabilen direkt enjeksiyonlu benzinli bir motorun ateşleme zamanının yanma karakteristikleri üzerine ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini Fırat (2019) yaptığı deneysel çalışmada incelemiştir. Değişik ateşleme zamanları için motor devri 3000 d/dak olacak şekilde simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu simülasyonlarda yanma karakteristiklerinin ve egzoz emisyonlarının belirlenmesi için üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar mekaniği kodu olan Ansys-Forte 19.0 kullanmıştır. Simülasyonların tümünde farklı ateşleme zamanlarında gaz keleşi tam olarak açık konumda iken tekrarlarını yapmış ve sonuç olarak erken ateşleme zamanlamasında silindir içerisindeki basınç değerinin yükseldiğini, CO ve HC egzoz emisyonlarında düşüş olurken NO_x emisyon değerlerinde ise artışın olduğunu ayrıca erken ateşleme zamanında doğal gaz ile çalışan motorda daha yüksek yanma veriminin oluştuğunu belirlemiştir.

1.1.5 Biyogaz

Biyokütleden elde edilebilen yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz hayvansal atıkların, bitki atıklarının, tarımsal ve diğer organik atıkların uygun bakterilerle anaerobik arıtımı sonucunda oluşan gazdır. İçeriğinin büyük bir kısmını metan ve karbondioksit gazları oluşturmaktadır. Doğal gaz ile çalışabilen tüm içten yanmalı motorlar aynı zamanda biyogaz ile çalışabilmektedir (Deviren ve ark., 2017). Biyogazın ısı değeri düşüktür ancak kullanım alanı oldukça geniştir. Elektrik üretiminin sağlanmasında, içten yanmalı motorların kullanılmasında, gaz motorları ve türbinlerinin çalışmasında gaz haline dönüşümü yapılan biyokütle enerji kaynağı kullanılır.

Yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen bu gaz yakıtların kullanılması ile birlikte emisyon değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir (Yelmen ve Çakır, 2011).

1.1.6 Etanol

Etanol renksiz, uçucu, hafif kokulu, saydam ve yanıcı sıvı olup kimyasal formülü C_2H_5OH 'dir. Etanol yüksek oktan sayısına sahip olduğundan dolayı benzin yakıtı gibi oktan sayısı yüksek yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir en yakın yakıtlardan biridir. Dizel yakıtı ile kıyaslandığında daha küçük moleküler yapıya sahip oluşu ve kimyasal yapısının içeriğinde oksijen bulundurması dizel-etanol karışımli yakıtlar kullanıldığında dizel yakıtına oranla egzoz emisyon değerlerine etkisi olumlu yönde olmaktadır (Usta ve ark., 2005).

Benzinli bir motorda alkol yakıtlarının kullanılmasının motorun performansına, yanma karakteristiklerine ve egzoz emisyonlarına etkilerini Göktaş (2019) yaptığı deneysel çalışmada incelemiştir. Yapmış olduğu deneylerin sonucunda benzinli motorların alkol ile kullanılmasının termal verimi artırdığını, etanol ve metanolün kullanılması ile birlikte diğer alkollere göre özellikle tork değerinde, efektif güçte ve özgül yakıt tüketiminde artışın olduğunu belirlemiştir. Egzoz emisyon değerlerinde ise alkol yakıtların kullanılması ile birlikte HC ve CO emisyonlarında azalma olurken CO_2 emisyonunda artışın olduğunu, NO_x emisyonundaki artışın ise motor hızı ve yük artışına bağlı olarak arttığı sonucuna varmıştır. Etanol yakıtının kullanılmasının motorun silindir gaz basıncını ve ısı salınım hızını azalttığını tespit etmiştir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi motorlu araçlarda alternatif yakıt olarak kullanılan yakıt çeşitliliği teknolojik gelişmelerle beraber her geçen gün daha da artmaktadır. Gaz yakıtlar içerisinde LPG büyük öneme sahip ve kullanım oranı en yaygın yakıtlardandır.

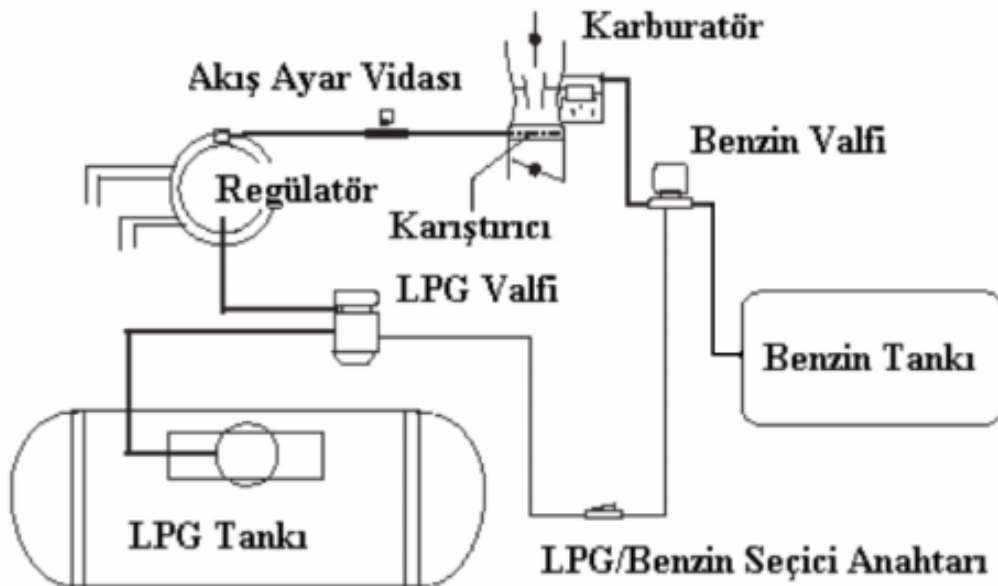
1.2 LPG Dönüşüm Sistemleri

LPG yakıtının taşıtlarda kullanılması oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. İlk zamanlarda belirli taşıtlara uygulanabilen LPG kit sistemleri günümüzde artık hemen hemen tüm benzinli araçların modellerine uygun hale getirilerek kullanılmaktadır (Raslavičius ve ark., 2014). Teknolojik gelişmelere ve ihtiyaçlara en uygun şekilde cevap verebilmek için LPG sistemlerini geliştirerek yenilemek gerekmektedir. Birçok Dünya ülkesi araçlarda alternatif yakıt olarak LPG kullanmaktadır. Gaz halde bulunan

Yakıtların yoğunlukları düşük olduğundan sıkıştırılarak sıvı halde depolanabilirler. Bu durumun getirmiş olduğu avantaj taşıtlarda kullanım oranını artırmıştır. Ülkemizde LPG ile kullanılan araç sayısı giderek artmaktadır (Munzuroğlu, 2010; Aydın, 2017). Bu gelişmeler ışığında yeni iş imkanları sunularak istihdama olumlu yönde katkı sağlayabilir. Benzinli araçlara uyumluluğu ile bilinen yeni nesil LPG sistemlerinin uygulanması, montajı ve bakımı oldukça düşük maliyetlidir. LPG dönüşüm sistemlerinin araca uygunluğu sistemdeki farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Taşıtlara montajı yapılırken araç özelliklerine göre LPG dönüşüm sistemi uygulaması yapılmalıdır.

1.2.1 Birinci nesil karbüratörlü sistemler

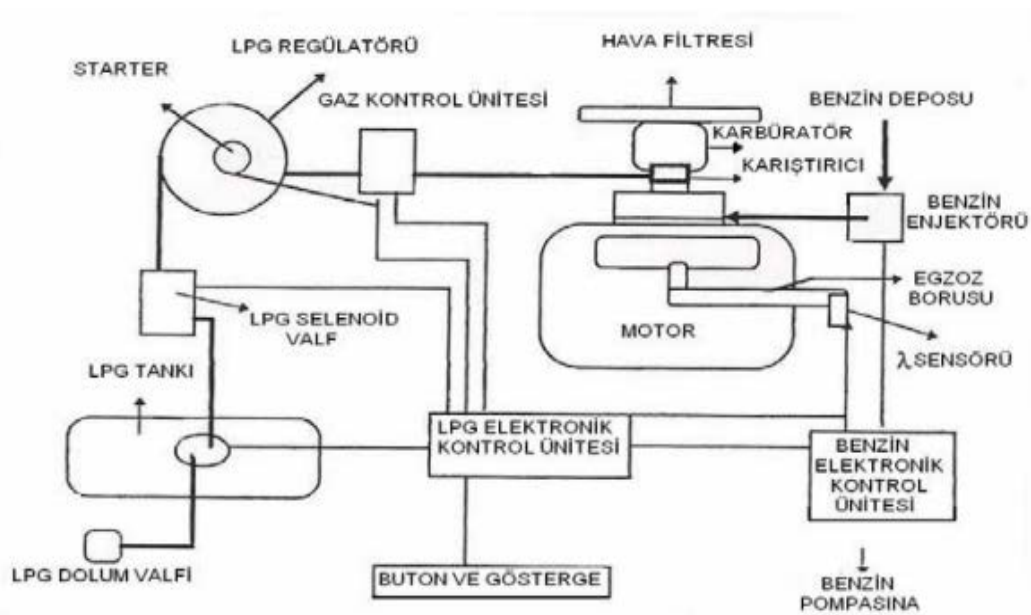
Karbüratörlü motorlarda yakıt, hava ile karıştırılarak motor silindiri içerisinde yanma olayı gerçekleşir. Mikser adı verilen özel bir parça kullanılarak LPG'nin hava ile karıştırılması sağlanır (Anonim, 2021e). LPG yakıtının motorda kullanılması sırasında sevk kontrolünün basınç düzenleyici ve karıştırıcı tarafından mekanik olarak yapıldığı karbüratörlü araçlara uygulanabilen birinci nesil karbüratörlü sistemler en basit yapıya sahiptirler. Sistem Şekil 1.1'de gösterildiği gibidir. Bu sistemlerin performans ve egzoz emisyon verimleri diğer sistemlere göre oldukça düşüktür (Erkuş, 2011).



Şekil 1.1 Birinci nesil karbüratörlü sistemler (Erkuş, 2011)

1.2.2 İkinci nesil enjeksiyonlu sistemler

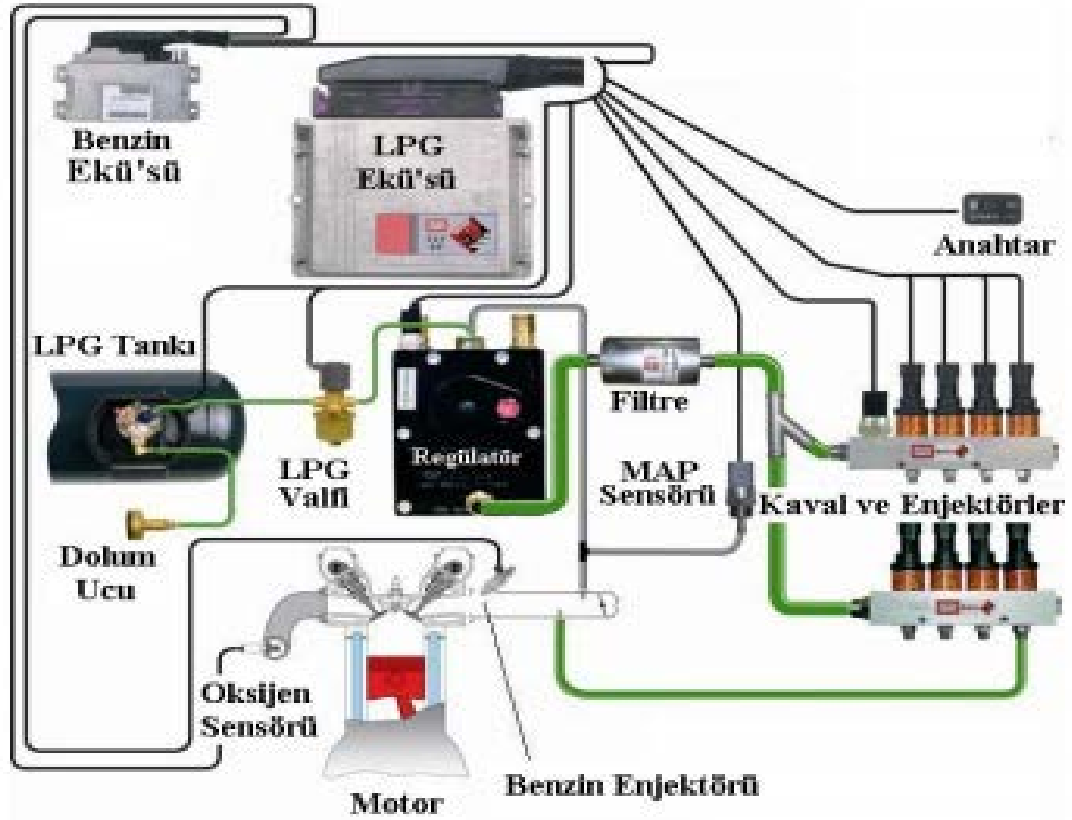
Tek noktadan enjeksiyonlu motorlarda kullanılabilen elektronik kontrollü ikinci nesil enjeksiyonlu sistemlerde egzoz gazının içerisindeki oksijen oranı oksijen sensörü tarafından ölçüldükten sonra elektronik kontrol ünitesi tarafından yakıt miktarının ayarlanması ve düzenlenmesi regülatörde yapılmaktadır. Böylece hava fazlalık katsayısı stokiometrik değerde tutularak egzoz sisteminde bulunan katalitik konvertör sayesinde emisyon değerleri düşürülmektedir (Can, 2009). Bu tarz bir sistemin şeması şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 İkinci nesil enjeksiyonlu sistemler (Can, 2009)

1.2.3 Üçüncü nesil yol bilgisayarlı araç sistemleri

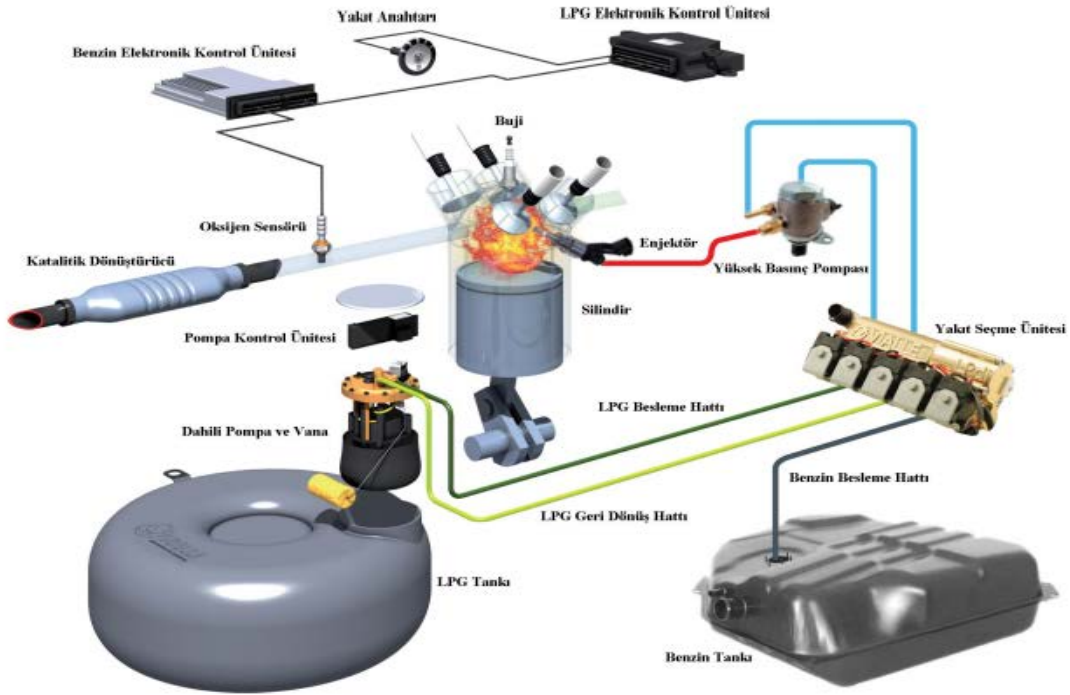
Emme manifolduna püskürtülen LPG yakıtını gaz veya sıvı fazda silindirlere eşit oranda gönderebilen ve çok noktadan enjeksiyonlu motorlarda kullanılabilen elektronik kontrollü üçüncü nesil yol bilgisayarlı araç sistemlerinde, enjeksiyon miktarının ayarlanması kapalı döngü kontrol esasına göre yapılmaktadır (Erkuş, 2011). Bu sistemin şeması şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Üçüncü nesil yol bilgisayarlı araç sistemleri (Erkuş, 2011)

1.2.4 Dördüncü nesil özel elektronik sistemler

Dördüncü nesil özel elektronik sistemler çok noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanabilmektedir. Sisteme ait şema şekil 1.4'de gösterildiği gibidir. Dördüncü nesil kitlerin kullanıldığı bu özel elektronik sistemlerde yakıt silindir içerisine direkt püskürtülebilmektedir. Tüm sistemlerle karşılaştırıldığında daha verimli yanma, yüksek hacimsel verim ve motor performansında artışa ulaşılmaktadır. Ayrıca CO₂ emisyon değerlerinde ise ciddi anlamda iyileşmelerin olduğu belirlenmiştir (Erkuş, 2011).



Şekil 1.4 Dördüncü nesil özel elektronik sistemler (Erkuş, 2011)

Araç ve motor teknolojileri gelişmekte iken LPG kitinin üretim ve satışını yapan firmalar bu teknolojik gelişmeler karşısında araç kullanımlarına uygun LPG sistemlerinde yenileme ve geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir. Günümüzde kullanılmakta olan direkt enjeksiyonlu sistemler LPG kit sistemlerine uyarlanarak kullanılabilmesi için, LPG yakıtının sıvı halde direkt püskürtüldüğü sistemler taşıtlarda kit şeklinde kullanılmaya başlanmıştır (Synák ve ark., 2019). LPG sistemlerinin araçlar üzerinde kullanımları karbüratörlü araçlarla başlamış sonrasında sürekli yenilenerek gelişmeye devam etmiştir. Günümüzde direkt enjeksiyonlu araçlar için özel olarak üretilen ve kullanılan son teknolojiye sahip LPG sistemlerinde %100 sıvı LPG kullanılmaktadır. Yenilenen ve gelişen teknolojiye artık direkt enjeksiyonlu turbo benzinli (TGDI) motorlara sahip araçlar üzerinde sıvı faz LPG sistemi kullanılabilir duruma gelmiş ve hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Demirci ve Çınar (2019) çalışmalarında HCCI-DI sisteme dönüştürülmüş, tek silindirli, dört zamanlı, bir dizel motorda ön karışimli sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları testlerin sonuçlarına göre HCCI-DI bir motorun tam yük altında CNG ile kullanımının CO, özgül yakıt tüketimine ve is emisyonlarına önemli iyileştirmeler sağladığı, NO_x ve HC emisyonlarında artışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir.

Çiçek (2018) çalışmasında LPG dönüşümü yapılmış buji ateşlemeli bir motorda emme havasını saf oksijen ile zenginleştirerek motor performansı (efektif güç ve moment) ve egzoz emisyonlarına (HC, CO, CO₂, NO_x) etkilerini %50 gaz kelebeği konumunda ve %100 gaz kelebeği konumunda incelemiştir. Efektif güç ve moment artışının %50 gaz kelebeği konumunda, %100 gaz kelebeği açıklığında yapılan çalışmaya göre daha iyi sonuçlar verdiğini ayrıca her iki gaz kelebeği konumunda yapılan testlerde HC ve CO egzoz emisyonlarında azalma meydana gelirken CO₂ ve NO_x emisyonlarında artış meydana geldiğini tespit etmiştir. Çalışmasında efektif verim artışının test hesaplamalarına göre %4-%11 arasında olduğunu ve motor performansını emme havasını oksijen ile zenginleştirerek yaklaşık %10'a kadar arttırılabileceğini, efektif özgül yakıt tüketiminde ise %50 gaz kelebeği açıklığı konumunda ve %100 gaz kelebeği açıklığı konumunda azalma olduğunu belirtmiştir.

Saputro ve Garcia (2018) yaptıkları çalışmada 8 HP gücüne sahip tek silindirli su soğutmalı dizel motorunda, dizel ve LPG yakıtını belirli oranlarda karıştırarak performans sonuçlarını değerlendirmişlerdir. LPG yakıtının hava emiş manifoldundaki karışım özelliklerinin sonuçlarını analiz edebilmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Performans terslerini giriş havasına LPG yakıtını %20 ile %40 arasında %5 artırarak denemişler ve en iyi sonucu %30 LPG yakıtı karıştırdıklarında elde etmişlerdir.

Zhu ve ark., (2018) yapmış oldukları çalışmalarında dört silindirli dört zamanlı turbo benzinli direkt enjeksiyonlu (TGDI) motor ile çalışan bir araç kullanmışlardır. Soğuk çalıştırma Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC) altında turboşarjlı direkt benzin enjeksiyonlu motorun yanma ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmaların test sonuçlarına göre yanma süresi yanmanın başlangıcından %50 yanma konumuna kadar soğuk çalıştırma yeni Avrupa sürüş döngüsü altında biraz değiştiğini, yeni Avrupa sürüş döngüsünün ilk başladığı aşamada kıvılcım zamanlamasının

gecikmesinden dolayı soğuk çalıştırmanın HC emisyonuna etkisinin sınırlı olduğunu ancak HC emisyon değerinin motorun göstermiş olduğu IMEP'nin (belirtilen ortalama etkili basınç) azalmasından dolayı yavaşlama koşulları altında belirgin bir şekilde artığını gözlemlemişlerdir. CO emisyonlarının soğuk çalıştırma altında ilgisinin yok gibi görüldüğünü ve aşırı hava katsayısına karşı fazla hassas olduğunu, NO_x emisyon değerlerinin hızlanma durumlarında artış gösterdiği yavaşlama durumlarında ise azaldığını bunun temel olarak belirtilen ortalama etkili basınçtan ve sonrasında motorun hızından etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Kunt (2019) yapmış olduğu deneysel çalışmada tek silindirli hava ile soğutmalı, dört zamanlı bir benzin motoruna LPG yakıtı ve benzin yakıtı kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre deney motorunda LPG yakıtı kullanıldığında ortalama motor momenti ve motor gücü benzin yakıtına oranla %4,15, ortalama özgül yakıt tüketiminin %16,45 ve ortalama yakıt tüketiminin %16,77 azaldığını belirtmiştir. Ayrıca deney motorunda LPG yakıtı kullanıldığında benzin yakıtı kullanımına göre CO, CO₂ ve HC emisyon değerlerinin sırasıyla %35, %2,5 ve %35,36 azaldığı, NO_x emisyon değerinde ise %88 artış olduğunu tespit etmiştir.

Yılmaz ve Gümüş (2017) tarafından yapılan çalışmada dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, turboşarjlı Common Rail yakıt püskürtme sistemine sahip bir dizel motor kullanılmıştır. Biyogazı çift yakıtlı bir dizel motorda ana yakıt olarak kullanarak testlerde özgül yakıt tüketimlerini, silindir basınçlarını ve egzoz emisyon sonuçlarını incelemişlerdir. Testlerde motor devrini 1750 d/dak'da sabit tutup, motor yükünü 50 Nm, 75 Nm ve 100 Nm olarak değiştirmişlerdir. Deney sonucunda biyogazın dizel motorda is emisyonunun azaltılmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Dizel motorda biyogazı yakıt olarak kullandıklarında HC emisyonlarının ve maksimum silindir basınçlarının tüm yüklerde artış gösterdiğini, NO_x emisyonlarında ise düşük yüklerde azalırken yük artışına bağlı olarak yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Aydin ve ark., (2016) deney çalışmalarında atık yağlardan edinilen biyodizel yakıtının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması sonucunda motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları testlerde tek silindirli dört zamanlı hava soğutmalı direkt püskürtmeli bir dizel motor kullanmışlardır. Testlerde kullanılan motorda dizel yakıtı ve saf biyodizel yakıtı kullanarak sabit bir hızda ve farklı yükler altında deneysel çalışmalarını yapmışlardır.

Testlerin sonuçlarında biyodizel yakıt kullanımının dizel yakıt kullanımına göre fren özgül yakıt tüketiminin %3 arttığı, fren özgül enerji tüketiminde ise %5 azaldığını belirtmişlerdir. CO, NO_x ve is emisyon değerlerini incelediklerinde biyodizel yakıt kullanımının dizel yakıtına göre sırası ile %33, %17 ve %31 azaldığını, HC emisyon değerinde ise %24 artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Fırat ve ark., (2017) dizel bir motorda hidrojen kullanımının motorun performansına ve emisyonlarına etkilerini sayısal olarak araştıran bir çalışma sunmuşlardır. Dizel motoruna saf dizel yakıt ve saf dizel yakıtına %2, %4 ve %6 oranlarında hidrojen ekleyerek analiz yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre hidrojen katkısını artırdıkça silindir içerisindeki basıncın, sıcaklığın, ısı salınım oranının, NO emisyonlarının ve bazı emisyon türlerine ait değerlerin arttığını belirtmişlerdir. Hidrojen oranında artışa gidildikçe CO emisyon değerinde kısmi olarak azalma olurken CO₂ ve is emisyon değerlerinde ise kısmi olarak artışın olduğunu ayrıca hidrojen artışının motor performansını ve yanma hızını artırdığını gözlemlemişlerdir.

Çavgun (2019) tek silindirli bir dizel motorunda saf dizel yakıtı ve saf dizel yakıtına farklı oranlarda (%5, %10, %20, %40) LPG yakıtı karıştırılarak motorun performansı, yanma parametrelerine etkileri ve egzoz emisyon değerlerini yapmış olduğu çalışmada incelemiştir. Test sonuçlarında %40 LPG yakıtı kullanıldığı zaman sıkıştırma oranına bağlı olarak artış oldukça silindir basınç değeri, ortalama gaz sıcaklığı ve ısı salınım hızında yükselmeler olurken normal sıkıştırma oranlarında LPG yakıt kullanım oranı arttırıldıkça silindir basınç değeri, ortalama gaz sıcaklığı ve ısı salınım hızında azalmalar olduğunu belirtmiştir. Saf dizel yakıt kullanımının sonucu oluşan CO emisyon değerinin dizel+LPG yakıt karışımı kullanımına göre oluşan CO emisyon değerlerinden daha düşük çıktığını, sıkıştırma oranları için LPG yakıt karışım oranlarının hepsinde HC emisyon değerlerinin düştüğünü ayrıca LPG yakıtının kullanımında NO_x emisyon değerlerinde belirgin oranda azalmaların olduğunu tespit etmiştir.

Li ve ark., (2015) yaptıkları çalışmalarında çift yakıt ile çalışan bir dizel motor için kontrol sistemi geliştirip maliyetleri ile birlikte frenli özgül yakıt tüketimini (BSFC), emisyonları ve performansını incelemişlerdir. Dizel yakıtı ile birlikte LNG alternatif yakıtını kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre çift yakıtlı kontrol sisteminin uzun süre kararlı bir şekilde çalışabileceğini belirtmişlerdir. LNG-dizel çift yakıtlı motor ile orijinal olan dizel motoru karşılaştırdıklarında frenli özgül yakıt tüketiminin

maksimum düşüşünün 1300 devirde %13,4 olduğunu, motorun çift yakıtlı olarak kullanımında partikül madde ve NO_x emisyonları azalırken LNG+dizel çift yakıt ile kullanım durumunda HC ve CO emisyonlarının motorun saf dizel yakıt ile kullanımına göre artış gösterdiğini test sonuçlarında elde etmişlerdir.

Sezer (2017) deney çalışmasında etanol ve dietil eterin dizel yakıtı katılarak kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini tek silindri direkt püskürtmeli bir dizel motorunu kullanarak ve motor devrini 1500 d/dak'da sabit tutarak değişik yük durumlarında test etmiştir. Deneyde %15 etanol, %15 etanol+%2 dietil eter ve %15 etanol+%4 dietil eter olmak üzere değişik yakıt karışımları ile dizel yakıtını kullanmıştır. Test sonuçlarına göre dizel yakıtına, etanol ve dietil eter katıldığında püskürtme basıncının düştüğünü ve püskürtme başlamasının geciktiğini gözlemlemiştir. Dizel yakıtına etanol katılması ile birlikte oluşan karışım sonucu motorun gücünde %1,4 oranında azalma görülürken dietil eter karışımlarında güçteki düşüşün %0,3-%1,1 arasında kaldığını etanol ve dietil eter karışımlarının efektif verimlerinde %14,7-%17,2 oranlarında artış olduğunu ayrıca özgül yakıt tüketiminde ise %8,5 oranında azalma sağlandığını belirtmiştir. Tüm yakıt karışımları ile kullanım sonucuna göre NO_x emisyon değerinde %6,8-%18,2 arasında ve CO₂ emisyon değerinde %10,3-%13,8 oranları arasında azalma olurken, HC emisyonlarında ise %5-12,5 arasında artışın olduğunu bunun yanında CO emisyonunun motor yüklerine bağlı olarak dalgalanmalar gösterdiğini tespit etmiştir.

Yılmaz ve ark., (2020) dört zamanlı, ortak hatlı yakıt püskürtme sistemine sahip, aşırı doldurmalı, su soğutmalı, dört silindri bir dizel motorda, dizel yakıt miktarlarının motorun emisyonlarına etkilerini yaptıkları çalışmalarında deneysel olarak incelemişlerdir. Çift yakıt ile yapılan test çalışmaları sırasında motorun gereksinimi olan enerjinin % 20, % 30, % 40 ve % 50 oranlarını dizel yakıt ile gidermişlerdir. Testlerde kullandıkları motorun devrini 1750 d/dak'da sabit tutarak ve motorun momentini 40 Nm, 60 Nm ve 80 Nm değerleri arasında değiştirerek deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçlarından CO₂, HC ile NO_x emisyon değerlerinde dizel yakıtın kullanım miktarı artışına bağlı bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Silindir içerisine gönderilmiş olan biyogaz oranındaki artışın, ön karışimli yanma fazında yanan yakıtın oranının ve NO_x emisyonlarının arttığını gözlemlemiştir. Biyogaz içeriğinde bulunan CO₂'nin hava-yakıt karışımını seyreltip HC ve emisyonlarını yükselttiğini test sonuçlarında bildirmişlerdir.

Aydın (2017) dizel motorlu bir jeneratörde ikinci yakıt olarak kullanılan ve manifolda püskürtülen kısmi LPG yakıt oranının motorun performansına, yanma ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini araştırmış ve deneylerinde dört silindri dört zamanlı su soğutmalı bir dizel motorlu jeneratör kullanmıştır. Test verilerini değerlendirdiğinde genellikle LPG yakıt oranı arttıkça vuruntu meyilinde, silindirin basıncında ve egzoz gaz sıcaklığında artışa neden olmuş aynı zamanda özgül yakıt tüketiminde ve kütleli yakıt tüketiminde de artışın olduğunu belirtmiştir. LPG yakıt katkısı ile HC ve CO emisyonlarının yoğunluklarında artışın olduğunu gözlemlemiştir. CO₂ emisyonu %40'a kadar olan oranda LPG yakıt katkısı yoğunluğunda düzenli azalma görülürken %40 üzerindeki oranlarda ise LPG yakıtının katkısında hızlı düşüşlerin olduğunu ayrıca LPG yakıt oranında artışa gidildikçe O₂ emisyonlarının yoğunluğunun ciddi ölçülerde azaldığını belirlemiştir.

Zhang ve Song, (2016) NG (doğalgaz) ve dizel yakıtından oluşan çift yakıt karışımının birlikte yanma özelliklerini belirlemek adına LNG-dizel çift yakıt için farklı yanma oranlarında yakıt ekonomisini ve egzoz emisyonlarını altı silindri dört zamanlı turboşarjlı common rail direkt enjeksiyonlu bir dizel motarda incelemiştir. Fren özgül yakıt tüketiminin ve çift yakıtın farklı yanma oranlardaki egzoz emisyon değerlerini karşılaştırarak %25, %30, %35, %40, %60 ve %100 yükler altında motor devrini 1200 d/dak ile 2200 d/dak hızlarında tutarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçlarını değerlendirdiklerinde çift yakıt modu ile birlikteki yanma oranlarının artırılmasıyla fren özgül yakıt tüketiminde düşük yüklerde artışın olduğunu yüksek ve tam yüklerde ise düşüşün olduğu, HC ve CO emisyonları artarken NO_x emisyonunda ise neredeyse hiç değişim olmadığını ve is emisyonlarının önemli değerde azaldığını gözlemlemiştir.

Şimşek ve Çolak, (2019) çalışmalarında dizel yakıtına alternatif yakıt olarak kullandıkları biyodizel yakıtının içine değişik oranlarda (%10, %20) eklenen propanol alkolünün tek silindri bir dizel motorda performans ve egzoz emisyonlara etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde biyodizel yakıtına göre propanol ilavesinin motor performansını iyileştirdiği, NO_x, CO ve duman (is) emisyonları azalma yönünde iken HC emisyonunda ise artışın olduğunu belirlemiştir.

Chitragar ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada dört silindri dört zamanlı kıvılcım ateşlemeli (SI) bir benzinli motorun rölanti durumunda benzin, LPG ve saf hidrojen ilavesi ile kullanılmasının yanma ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini

incelemiştir. Silindir basınç değerlerinde benzin yakıtına göre saf hidrojen ile çalışmada %13 oranında artış olurken LPG yakıtı ile %4,5 oranında azalma gözlemlenmiştir. Emisyon değerlerini incelediklerinde test sonuçlarından, benzin yakıtına göre LPG yakıtı ve saf hidrojen kullanımının CO, HC ve NO_x emisyonlarını azalttığını elde etmişlerdir.

İlhak ve ark., (2018) çalışmalarında benzin ile asetileni karıştırarak kıvılcım ateşlemeli motorda bu karıştırılan yakıtın motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini dört zamanlı dört silindirli su soğutmalı kıvılcım ateşlemeli bir motorda ve stokiometrik şartlar altında yapmışlardır. Asetilenin akış hızlarını 500 g/h ile 1000 g/h olarak sabitlemişlerdir. Asetilen etkilerini incelediklerinde toplam yakıt tükemine maksimum derecede oranı %25 yükte %54,3 ve tam yükte %22,8 olduğunu ayrıca asetilen miktarı arttıkça fren ısı verim değerinin düştüğünü gözlemlenmiştir. Motorun tüm yüklerinde saf benzin yakıtı kullanımına göre HC emisyonlarında düşüşün olduğu, düşük motor yüklerinde ise benzin yakıtına göre NO emisyonlarının arttığını belirlemişlerdir.

Nayak ve ark., (2016) dört silindirli benzinli bir motorda LPG yakıtının farklı oranlarda (%25, %50, %75 ve %100) benzin yakıtına karıştırılarak kullanılmasının deneysel sonuçlarını araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında motor devrini 500 d/dak artırarak 2000 d/dak ile 4500 d/dak arasındaki hız değerlerinde testlerini yapmışlardır. Benzin yakıtına göre tüm karışım oranlarında benzin-LPG yakıtı kullanıldığında silindir içi basınç değerlerinin arttığını gözlemlenmiştir. Benzin yakıtına kıyasla LPG yakıtının %100 kullanımı sonucu maksimum basınç ile birlikte çevrimler arasında oluşan farklılıklarında artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Çalık (2018) dört zamanlı dört silindirli sıkıştırma ateşlemeli dizel bir motorun biyodizel yakıtı içerisine hidrojen ilave edilerek kullanılması sonucu motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarına göre hidrojenin eklenmesinin motor performansını artırdığını belirlemiştir. Hidrojenin motorda kullanılması ile birlikte CO₂ ve CO emisyonlarında azalma olurken NO_x emisyonunda ise artış olduğunu tespit etmiştir.

Eyidoğan ve ark., (2011) yaptıkları deneysel çalışmada dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli bir benzinli motorda benzin yakıtı, benzin-etanol yakıtları ve benzin-metanol yakıtları karıştırılarak kullanıldığında motorun performansına, egzoz emisyonlarına ve yanma karakteristiklerine etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışma

sonuçları incelendiğinde benzin yakıtına göre benzin-etanol yakıtı ve benzin-metanol yakıt karışımlarının kullanılması ile fren özgül yakıt tüketiminde artışın olduğunu bununla birlikte karışımda kullanılan alkol yakıt karışımlarının motorda kullanılması sonucu saf benzin yakıtına göre HC, CO, CO₂ ve NO_x emisyon değerlerinde ise azalmanın olduğunu belirlemişlerdir.

Gümüş (2009) tarafından yapılan çalışmada benzin ve LPG yakıtından oluşan çift yakıt enjeksiyonlu sisteme sahip buji ateşlemeli benzinli bir motorda LPG yakıtının kullanımındaki oranların motor performansına, egzoz emisyonlarına ve yakıt ekonomisine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada kullandığı dört zamanlı dört silindirli benzinli bir motoru çift yakıt ile çalışabilmesi için uygun hale dönüştürmüştür. Taşıt dinamometresinde gerçekleştirilen testlerde LPG yakıtının değişik değerlerdeki kullanım oranlarında (ısı değer olarak %0, %25, %50, %75, %100), farklı motor yüklerinde (%5, %30, %60, %90) ve sabit devirde (3800 d/dak) tutarak deneysel çalışmasını gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirmiş olduğu çalışmada LPG yakıtının tüm oranlarındaki kullanımının benzin yakıtı ile karşılaştırılması sonucunda egzoz emisyon değerlerinde ve yakıt ekonomisinde azalmanın olduğunu ancak taşıt performansını incelediğinde sadece %25 LPG yakıtının kullanım oranında olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir.

Mustafa ve Gitano Briggs, (2009) çalışmalarında buji ateşlemeli bir motorda LPG yakıt ve benzin yakıt karışımındaki oranların egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında kullandıkları motorda hava/yakıt oranını 0,6 ila 1,25 arasında olacak şekilde ayarlamışlardır. Benzin-LPG yakıt karışımındaki LPG yakıtının oranı arttırıldıkça fren özgül yakıt tüketimi ve fren ısı veriminde artışın, maksimum fren gücünde ise saf benzin yakıt kullanımındaki çalışmaya göre azalmanın olduğunu belirlemişlerdir. Egzoz emisyon sonuçlarını incelediklerinde benzin-LPG yakıt karışımındaki LPG yüzdesinin artışına bağlı olarak CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere LPG yakıtının etkileri üzerine araştırmalar devam etmekte ve bu konuda birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak turbo benzinli direkt enjeksiyon sistemli bir deney taşıt motorunda %100 sıvı faz LPG kullanımının egzoz emisyonlara ve motorun performansına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla üzerinde Prins marka sıvı LPG sistemi bulunan direkt enjeksiyonlu TGDI bir motora sahip aracın, taşıt test dinamometre

zerinde farklı motor hızlarında (2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 d/dak) 5. vites kolu konumunda kullanıldığında motor gücüne, motor torkuna ve egzoz gaz emisyonlarına etkileri tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Testlere başlamadan önce taşıt ve egzoz emisyon cihazı temin edilerek deneylerin gerçekleştirildiği ortamda tüm güvenlik tedbirleri alınmış, araç şasi dinamometresine güvenli bir şekilde bağlandıktan sonra testlere başlanmıştır. Deneylerde dört zamanlı, dört silindirli, direkt enjeksiyon sistemli turbo benzin motorlu bir araç kullanılmıştır. Taşıt üzerinde Prins'in direkt enjeksiyonlu araçlar için özel olarak ürettiği sıvı faz LPG dönüşüm sistemi Direct LiquiMax (DLM) bulunmaktadır. Deney taşıtının motorunda benzin ve sıvı faz LPG yakıtları ayrı ayrı kullanılmıştır. Deneyde kullanılan taşıtın hem motor performans testleri hem de Capelec CAP3201 marka emisyon cihazı vasıtasıyla egzoz gaz emisyon ölçümleri, taşıt test dinamometresi üzerinde iken gerçekleştirilmiştir. Testlerde yapılan her ölçüm parametresi üçer kez tekrar edilmiş olup, ortalamaları alındıktan sonra elde edilen değerler deney sonuçlarında ve grafiklerin çiziminde kullanılmıştır.

Yenilenen teknolojik gelişmelerle beraber LPG dönüşüm sistemlerinin taşıtlara uygunluğunun belirlenmesi sistemlerde önemli farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Günümüzde gelinen en son teknolojiye direkt enjeksiyon motor sistemine sahip araçlar için üretilmiş Direct LiquiMax sıvı LPG kit sistemleri %100 sıvı LPG yakıtının kullanımına olanak sağlamaktadır (Anonim, 2021d).

3.1 Deneyde Kullanılan Taşıt ve Motorun Teknik Özellikleri

Deneylerde dört zamanlı, dört silindirli, direkt enjeksiyon sistemine sahip turbo benzinli 2017 model 1.6 TGDI motora sahip bir araç kullanılmıştır. Taşıtın teknik özellikleri çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Deney taşıtının teknik özellikleri

Motor	1.6 T-GDI DCT 4x2
Kategori	SUV
Motor tipi	T-GDI
Motor hacmi(cc)	1591
Maksimum hız (km/h)	201
Maksimum güç (HP)	177 / 5500 min ⁻¹
Maksimum tork (Nm)	265 / 4500 min ⁻¹
Enjeksiyon tipi	Direkt enjeksiyon
Silindir sayısı	4
Supap sayısı	16 valf
Şanzıman tipi	7 ileri otomatik DCT
Uzunluk (mm)	4480
Genişlik (mm)	1850
Yükseklik (mm)	1660
Dingil mesafesi (mm)	2670
Bagaj hacmi (lt)	513
Ağırlık (En Düşük/En Yüksek)	1577/1742
Lastik boyutu	245/45 R19

Taşıt üzerinde Prins markasının direkt enjeksiyonlu araçlar için özel olarak ürettiği en son teknolojiye sahip sıvı LPG dönüşüm sistemi entegre edilmiş halde bulunmaktadır. Testlerde kullanılan deney taşıtı şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 TGDI motora sahip deney taşıtı

3.2 Testlerde Kullanılan Egzoz Emisyon Cihazı

Aracın egzoz emisyon ölçümleri Capelec CAP3201 marka emisyon cihazı ile yapılmıştır. Emisyon cihazının teknik özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir. Deneylere başlamadan önce emisyon cihazının filtreleri ve sensörleri temizlenmiştir. Egzoz probu aracın egzoz borusuna takıldıktan sonra benzin ve LPG yakıtı ayrı ayrı kullanılarak emisyon cihazının LCD ekranından CO, CO₂, HC ve O₂ emisyon değerlerinin ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca test raporları emisyon cihazı üzerinde bulunan termal yazıcıdan da yazdırılabilir.

Çizelge 3.2 Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri

Marka ve model	Capelec CAP 3201-4 GAZ
Ön ısıtma süresi	Minimum 1 dak
Pompa kapasitesi	6 lt/dak
Çalışma sıcaklığı	-10 °C ile 55 °C
Nem	%30-%90
Depolama sıcaklığı	-32 °C ile +55 °C
HC (hassasiyet 1ppm)	0-20000 ppm Hexan
CO (hassasiyet %0,001)	0-5 %vol.
CO₂ (hassasiyet %0,1)	0-20 %vol.
O₂ (hassasiyet %0,01)	0-21,7 %vol.
NO_x (hassasiyet 1ppm)	30-10000 ppm
Yağ sıcaklığı	5°C-150°C
Lambda (hava/yakıt oranı katsayısı)	0,8-1,2
Opasite çözünürlüğü (hassasiyet %0,01)	0-9,99 m ⁻¹

Deneylerde kullanılan Capelec CAP3201 marka emisyon cihazı şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2 Egzoz emisyon cihazı

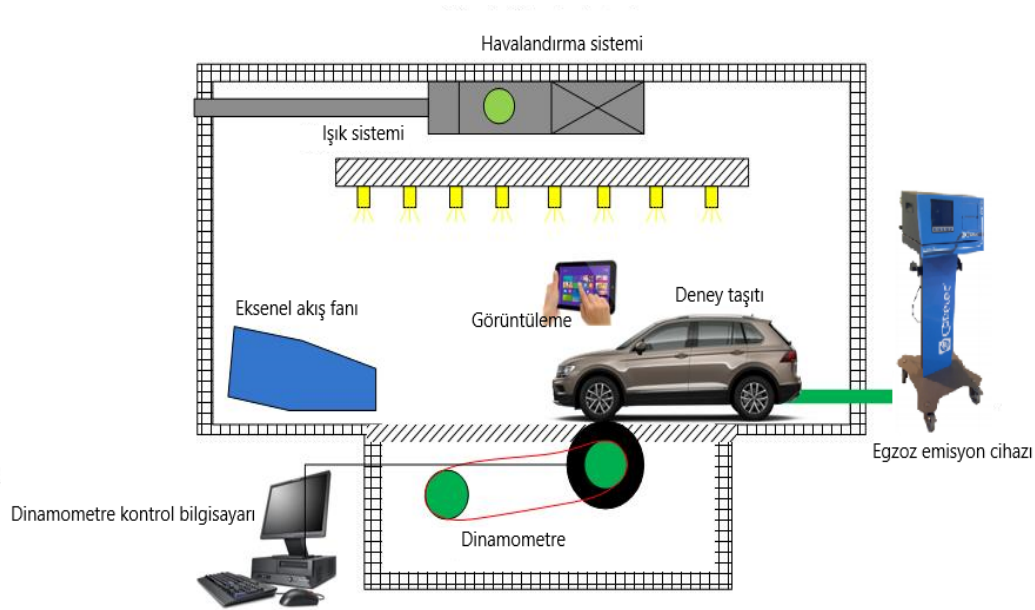
3.3 Deney Taşıt Test Dinamometresi

Motorun taşıt testleri Computest oto ekspertiz firmasının Muş ilindeki bayisinde bulunan DYNORACE 2WD marka taşıt test dinamometresinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan taşıt test dinamometresi şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Taşıt test dinamometresi

Dynorace taşıt dinamometresi, tork, güç, hız ve motor devri gibi araç performansı öğelerinin kaydedilip analizinin yapılması için kullanılabilir. Bunların yanında yönetim yazılımı, hızölçer/takometre gibi araç üstü aletlerin çalışma hassasiyeti üzerinde hassas test ve değerlendirmeler yapılmasına imkân tanır. Test sırasında maksimum güvenlik koşullarının sağlanması amacıyla aracı sabitlemek ve çalışma işlemlerini daha güvenli hale getirmek için, her araç iki makara arasına yerleştirilmektedir. Dinamometre yüksek performanslı ve üst düzey teknolojiye sahip yatakları sayesinde, maksimum 535 HP güce, maksimum 1500 Nm tork ve maksimum 300 km/h araç hızlarına kadar ölçüm yapabilme özelliklerine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde yüksek performanslı araçlarda testlerin gerçekleştirilmesine imkân tanır (Anonim, 2021f). Deney düzeneğinin şematik resmi şekil 3.4’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4 Deney düzeneğinin şematik resmi

3.4 Deney Yakıtları

Geleceğin yakıtları arasında gösterilen LPG; yaygın, performansı yüksek, ekonomik, güvenli ve çevreci bir yakıt olması sebebiyle en çok tercih edilen yakıtlardandır. Ayrıca düşük karbonlu bir yakıt olduğundan, küresel ısınmanın en büyük sebebi olarak gösterilen CO₂ emisyonunda alternatiflerinden çok daha iyi sonuçlar sergilemektedir. Deney taşıtının motorunda kullanılan benzin ve LPG yakıtları Muş OPET bayisinden temin edilmiş olup kullanılan bu yakıtların teknik özellikleri çizelge 3.3’de verilmiştir. Deney taşıtında kullanılan Aygaz marka LPG yakıtının içeriği %70 bütan ve %30 propandan oluşmaktadır (Anonim, 2021a).

Çizelge 3.3 Deney yakıtlarının teknik özellikleri (Anonim, 2021a)

Özellikler	Benzin	Propan	Bütan
Kimyasal formül			
Özgül kütle (kg/m ³)	765	509	585
Alt ısıl değer (Mj/kg)	44,04	46,34	45,56
Kaynama noktası (°C)	30-225	-42	-0,5
Tutuşma noktası (°C)	257	510	490
Yanma hızı (m/s)	0,35	0,4	0,4
Hava yakıt oranı	14,7	15,8	15,6
Tutuşma sınırları (hacimsel %)	1,3-7,6	2,1-9,5	1,5-8,5
Araştırma oktan sayısı	95	111	103
Motor oktan sayısı	85	97	89

3.5 Deney Taşıtı Üzerinde Kullanılan Sıvı LPG Sistemi ve Parçaları

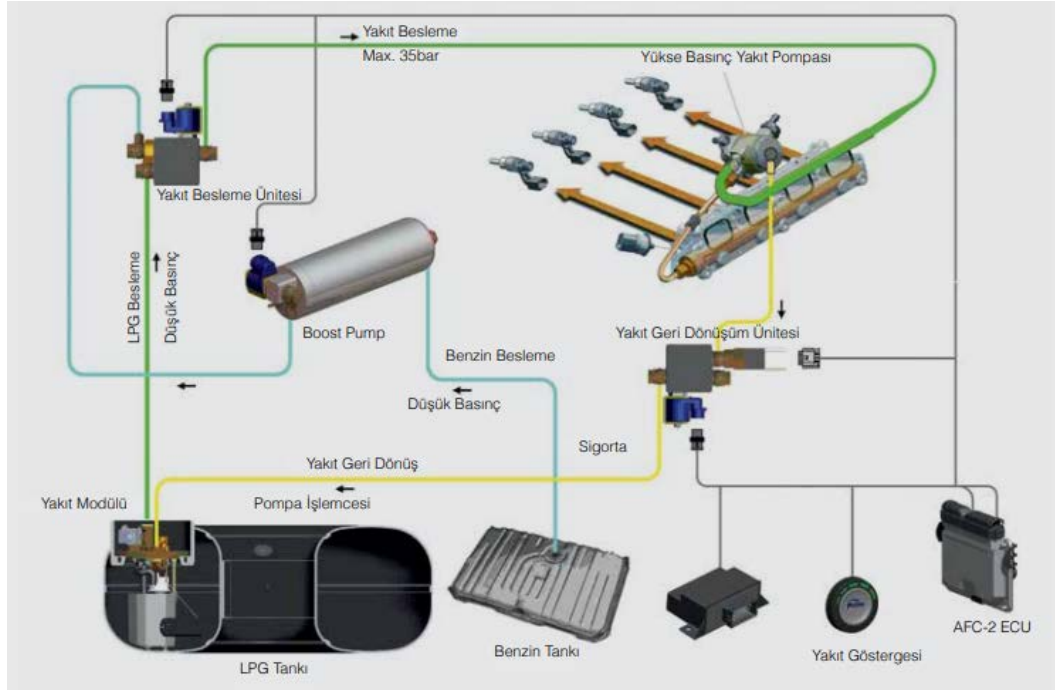
LPG'nin ekonomik, çevreci, diğer yakıtlara göre oktan sayısının yüksek olması ve verimli yanması gibi avantajlarından dolayı LPG yakıtına olan talepler sürekli artış göstermektedir. Bu yakıtın taşıtlarda daha verimli kullanılabilmesi için gerekli olan LPG dönüşüm sistemlerini üreten ve hali hazırda satışını yapan firmalar LPG kit teknolojisini sürekli yenileyerek iyileştirmeler yapmaktadırlar. Yapılan bu yeniliklerle beraber son yıllarda geliştirdikleri benzin enjektörlerinden sıvı fazda LPG püskürterek çalışan sistemler de kullanılan kaliteli LPG kiti ve doğru dönüşüm ile LPG kullanan bir araçtan yüksek performans alınması mümkün hale gelmiştir (Anonim, 2021a). Günümüzde üretilen, satışı yapılan ve araçlarda kullanılan farklı LPG sistemleri mevcuttur. Kullanılan bu sistemlerden LPG yakıtını silindir içerisine emme manifoldundan gaz halinde gönderen sistemlerde pilot yakıt kullanılarak ateşleme başlatılmakta ardından LPG gönderilerek gaz halde bulunan yakıtın yanması gerçekleştirilmektedir. Sıvı faz LPG sistemlerde ise ateşlemenin sağlanması için pilot yakıt ihtiyacına gereksinim duyulmamaktadır (Szpica ve Czaban, 2014).

Pilot yakıt kullanılan LPG sistemlerinde mikserin yerine selenoid kumandalı sıralı LPG enjektörleri kullanılmaktadır. Sıvı LPG sistemlerinin kullanıldığı direkt enjeksiyonlu araçlarda ise, sıvı LPG'nin yüksek basınç altında silindirin içine enjekte edilmesi için modifiye edilmiş bir yüksek basınç pompası ile benzin sisteminin yakıt enjektörleri kullanılır. Bu durum sayesinde otomobil için hayati önem taşıyan emme manifoldu da delinmemiş olur (Anonim, 2021c).

3.5.1 Sıvı LPG sistemi

Prins'in direkt enjeksiyonlu araçlar için özel olarak ürettiği ve dünyada bir ilk yaratan Direct LiquiMax sıvı LPG dönüşüm sisteminin en büyük özelliği, yalnızca direkt enjeksiyonlu araçlar için üretilmiş olmasının yanında en son teknolojiye de sahip olmasıdır. Bu sıvı faz LPG dönüşüm sistemi, sıvı halde bulunan LPG'yi yüksek basınç altında motor silindirinin içerisine enjekte etmek amacıyla modifiye edilmiş bir yüksek basınç yakıt pompası ile benzin sistemindeki enjektörleri kullanır. Orijinal benzin enjeksiyonu ile eş değer bir teknolojiye sahiptir. Motorda yer alan mevcut elektronik düzenekler ve bileşenlerden en yüksek düzeyde faydalanır. Bu sayede benzin ile LPG yakıtı arasındaki sürüş farkları hissedilmez. Benzinli araç performansı ile LPG yakıtının kullanıldığı araç performansı birbirine eşit seviyede olur. Üzerinde sıvı LPG dönüşüm

sistemi bulunan araç ilk çalıştığı andan itibaren LPG yakıtı tüketir. Bu nedenle aracı çalıştırmak için dahi benzine ihtiyaç duyulmamaktadır. Sistemin bu özelliği araç kullanımında %100 LPG yakıtı tüketilerek daha çok tasarruf yapılmasına imkan tanımaktadır. Normal şartlar altında sıralı sistemlerde 10.000 km’de bir yapılan bakım, sıvı LPG sistemlerin takılı olduğu araçlarda 25.000 km’de bir yapılır (Anonim, 2021c). Bu tür bir sistemin şematik gösterimi şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5 Direct liquimax LPG sisteminin şeması (Anonim, 2021c)

3.5.2 LPG yakıt tankı

LPG tankları; içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılan LPG'nin depolanarak araçların üzerinde taşınmasını sağlayan ve çelik sacdan üretilen LPG dönüşüm sisteminin bir parçasıdır. LPG tankları genellikle geometrik şekillerine göre silindirik ve torisferik (simit) tank olarak iki şekilde üretilir (Kaptan, 2015). LPG tankı şekil 3.6'da gösterildiği gibidir (Anonim, 2021c).



Şekil 3.6 LPG yakıt tankı (Anonim, 2021c)

3.5.3 Elektronik kontrol ünitesi AFC-2 (ECU)

AFC-2 ECU sıvı LPG sisteminin beynidir. Diagnostik parametrelerin işlenmesinde, yakıt enjeksiyonunun ve geçişlerdeki stratejiler ile DLM sisteminde ki kontrolleri sağlayarak yakıt değerlerini kontrol eder. Şekil 3.7’de elektronik kontrol ünitesi görseli verilmiştir. Pompa sürücüsünün, yakıt besleme ünitesinin (FSU), boost pump, yakıt geri dönüş ünitesinin (FRU) ve LPG göstergesinin değerlerini kumanda ederek kontrollerini gerçekleştirir. Windows işletim sistemleri ile uyumlu olarak çalışır (Anonim, 2021c).



Şekil 3.7 Elektronik kontrol ünitesi (Anonim, 2021c)

3.5.4 Yakıt anahtarı

LPG yakıt tankının içerisinde bulunan LPG seviyesini led ışıklar ile gösterir. Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Tankın içerisinde LPG bittiğinde sürücüyü sesli ikaz ile uyarır. Ayrıca manuel olarak yakıt tipi seçildiğinde ve gerekli uyarıları sesli ikaz ile bildirir. Küçük ve kompakt dizayn edildiğinden montajı oldukça kolaydır (Anonim, 2021c).



Şekil 3.8 LPG yakıt anahtarı (Anonim, 2021c)

3.5.5 Basınç pompası

Özel olarak dizayn edilmiş olan boost pump, benzin pompasıdır. LPG'den benzin yakıtına, benzin yakıtından LPG'ye geçiş sırasında benzin basıncının optimum seviyede sabitlenmesini sağlar. Şekil 3.9'da gösterildiği gibidir. Elektronik olan sistemi ECU tarafından kontrol edilir. Tasarımı sayesinde kolay montaj yapılabilir (Anonim, 2021c).



Şekil 3.9 Boost pump (Anonim, 2021c)

3.5.6 Yakıt geri dönüş ünitesi (FRU)

Yakıt geri dönüş ünitesi, LPG'nin tekrar LPG yakıt tankına geri dönüşünün kontrolünü sağlar. LPG ve benzin geçişlerinin yapılmasını sağlar. Görsel olarak şekil 3.10'da verilmiştir. Elektronik sistemi ECU tarafından kontrol edilir. Aracın benzin yakıtı ile kullanımında tamamen kapalı konumdadır. Basınç sensörü entegre edilmiş ve kolay montaj yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır (Anonim, 2021c).



Şekil 3.10 Yakıt geri dönüş ünitesi (FRU) (Anonim, 2021c)

3.5.7 Yakıt besleme ünitesi (FSU)

LPG yakıtı ile benzin yakıtının geçişlerinin yapılmasını sağlayarak kontrol eder. Görseli şekil 3.11’de gösterilmiştir. Elektronik sistemi ECU tarafından kontrol edilen ve kolay montaj yapılabilecek şekilde tasarlanmış sıvı LPG sistemi parçasıdır (Anonim, 2021c).



Şekil 3.11 Yakıt besleme ünitesi (FSU) (Anonim, 2021c)

3.5.8 Pompa işlemcisi

Özel sinyaller ile ECU tarafından kontrol edilir. Pompanın tamamen lineer olarak çalışmasını sağlar. Şekil 3.12’de verilmiştir. Hata kodlarını işler ve ECU’ya bildirir. Kuru çalışmaya karşı koruma görevini ve özel sinyaller sayesinde voltaj kontrolünü yapar. Özel yazılım stratejisi sayesinde pompanın tüm çalışma şartlarındaki değerlerini işler (Anonim, 2021c).



Şekil 3.12 Pompa işlemcisi (Anonim, 2021c)

3.5.9 Yakıt modülü

Multivalf yakıt modülü, içerisinde %80 seviye ikaz, check valf, aşırı akış valfini, basınç tahliye valfini, seviye ölçüm sistemini ve geri dönüş sistemini bulundurur. LPG içerisinde olabilecek kirliliğe karşı LPG pompası, filtre ile entegre edilmiş durumdadır (Anonim, 2021c). Şekil 3.13’de yakıt modülü görülmektedir.



Şekil 3.13 Yakıt modülü (Anonim, 2021c)

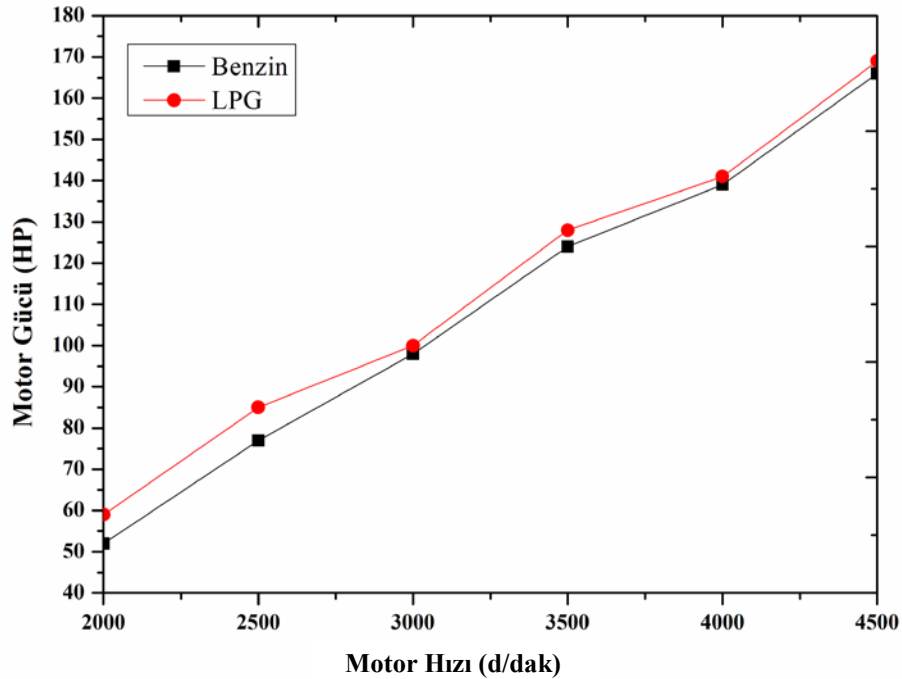
3.6 Deney Prosedürü

Sıvı LPG dönüşüm sisteminde benzin ve LPG yakıt kullanım geçişlerini sağlayan bir yakıt anahtarı bulunmaktadır. Yakıt anahtarı yakıt tipinin seçimini sürücünün tercihine sunar. Deneyler sırasında LPG ile benzin arasındaki geçişler yakıt anahtarı ile yapılmıştır. Deney taşıtı üzerinde Prins'in direkt enjeksiyonlu araçlar için özel olarak ürettiği LPG dönüşüm sistemi Direct LiquiMax kiti bulunmaktadır. DLM sıvı LPG sistemi aynı zamanda en son teknolojiye sahiptir (Anonim, 2021c). Deneyde kullanılan araç, taşıt test dinamometresine alınarak gerekli tüm güvenlik tedbirleri alındıktan sonra motor soğutma suyu sıcaklığının 90°C ulaşması ile testlere başlanmıştır. Taşıt deneylerinde araç 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak, 3500 d/dak, 4000 d/dak, 4500 d/dak motor hızlarında 5. vites kolu konumunda önce benzin yakıtı kullanılarak daha sonra %100 sıvı LPG yakıtı kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında aynı ölçüm parametleri üçer kez tekrarlandıktan sonra elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Bu sırada araç kullanıcısı farklı motor devirlerinde motor parametrelerinin (motor torku, motor gücü) ve egzoz gaz emisyon değerlerinin (CO , CO_2 , HC , O_2) ölçülüp kayıt altına alınmasını beklemiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

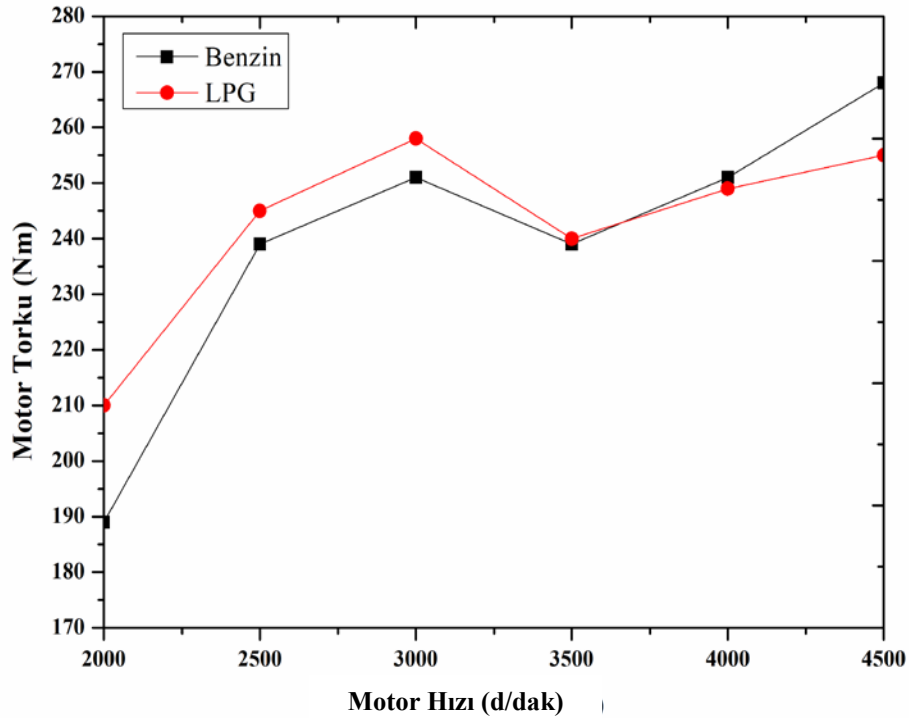
4.1 Motor Performansı

Şekil 4.1’de sıvı LPG ve benzin kullanımının motor hızına göre değişiminin motor gücüne etkisi verilmektedir. Sıvı LPG kullanıldığında tüm motor hızlarında benzine göre motor gücünde artış görülmüştür. Taşıt deneyleri sırasında aracın katalog değeri olarak verilen maksimum motor gücü olan 177 Beygir Gücüne (BG) ulaşamamıştır. Sadece benzin kullanımı 166 BG ile güç verisi ölçülmüştür. LPG kullanımı ile birlikteyse maksimum motor gücü 169 BG’ne çıkmıştır. Maksimum motor gücünde yaklaşık %1,7’lik bir artış elde edilmiştir. Bu durumu LPG’nin kütlece ısı değerin benzine göre yüksek olması ile açıklamak mümkündür. Ayrıca LPG’nin yüksek oktan sayısının da yanma verimini artırdığı görüşü oldukça yaygındır (Morganti ve ark., 2015; Kırmaz, 2019; Özer ve Vural, 2021). LPG’nin gaz olarak silindir içerisine gönderilmesinde meydana gelen tüm olumsuzlukların sıvı LPG kullanımı ile ve doğrudan silindir içerisine gönderilerek aşılabildiği çalışma sonuçlarında görülmektedir. Özellikle yüksek püskürtme basıncı ile gönderilen yakıtın iyi atomize olduğu ve silindir içerisinde yanma verimini artırdığı görüşü yapılan çalışmalarda ortaya çıkmaktadır. Çünkü turbo ile yüksek oranda havanın üzerine püskürtülen LPG’nin daha ideal bir ortamda yanmayı sağladığı düşünülmektedir (Vinoth ve ark., 2017).



Şekil 4.1 Motor gücünün LPG kullanımı ile değişimi

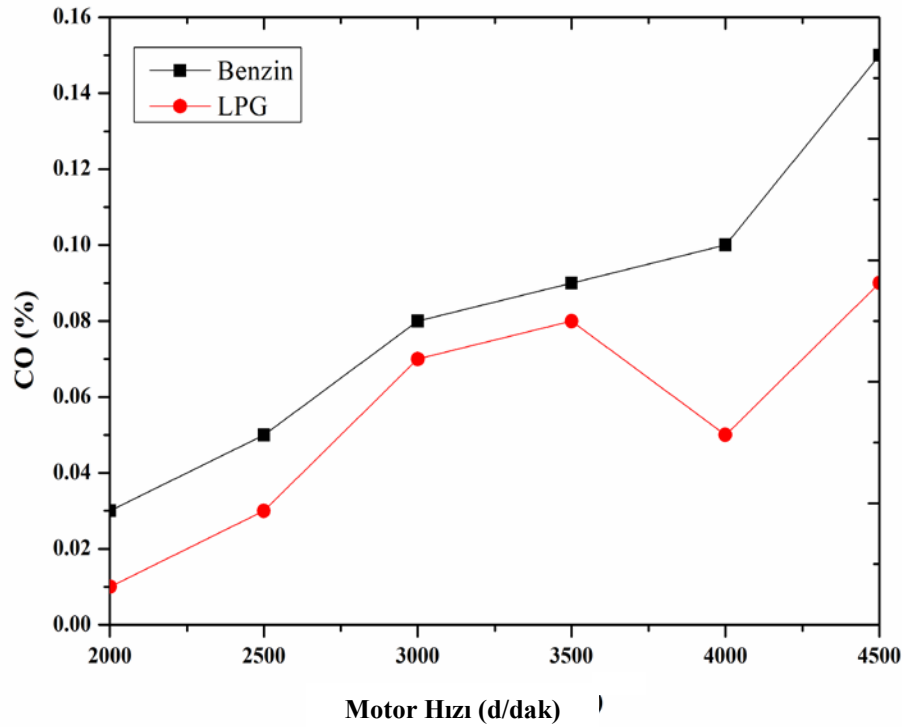
Şekil 4.2’de sıvı LPG ve benzin kullanımının motor hızına göre değişiminin motor torkuna etkisi verilmektedir. Motor torku silindir içerisine alınan yakıtın yanma sonucunda silindir üstüne yapılan basıncın bir etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlarda iş yapılmasını sağlayan önemli bir parametredir (Demirci ve Çınar, 2019). 2000 d/dak ile 3500 d/dak motor hızlarına kadar LPG ile elde edilen motor torku daha yüksektir. 3500 d/dak motor hızından sonra ise LPG ile elde edilen tork düşerek benzin ile elde edilen motor torku artışa geçmiştir. 2000 d/dak motor hızında LPG ile 210 Nm motor torku üretilirken, aynı şartlarda benzin ile ancak 189 Nm tork üretilmiştir. Maksimum motor torku ise 268 Nm ile benzin ile elde edilmiştir. Aynı şartlarda LPG ile birlikteyse 255 Nm motor torku üretilmiştir. Motor devrinin artması ile birlikte motor torkunun artmasının nedeni olarak sıvı LPG’nin silindir içerisindeki püskürtülmesi ile birlikte havanın aşırı derecede soğuması ile açıklamak mümkündür. Çünkü sıvı LPG buharlaşmak için silindir içerisinden ısı çekecek böylelikle yanma sonu sıcaklığı düşecektir.



Şekil 4.2 Motor torkunun LPG kullanımı ile değişimi

4.2 Egzoz Emisyonları

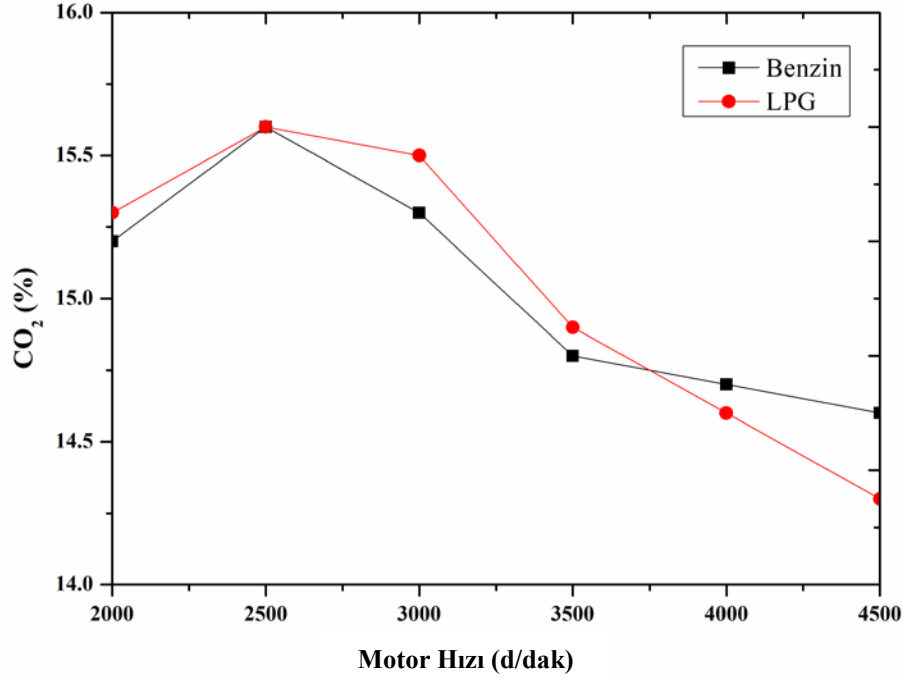
Şekil 4.3’de sıvı LPG ve benzin kullanımının motor hızına göre değişiminin CO emisyonlarına etkisi verilmektedir. CO emisyonları içten yanmalı motorlarda yakıtların tam olarak yanmaması sonucu oluşan eksik yanma reaksiyonudur. Turbo takviyeli GDI bir motorda CO emisyonlarının diğer motorlu araçlara göre az olması beklenen bir durumdur. Çünkü yakıtın yanması için tüm havanın motor silindirlerine alınması sağlanır. Buna rağmen CO emisyonları yakıtların tam atomize olmaması, hava ile yakıtın silindir içerisinde karışmaması gibi nedenlerle oluşabilmektedir (Duc ve Duy, 2018). Tüm motor devirlerinde benzin yakıtına göre LPG kullanımında azalma görülmektedir. Enjeksiyonlu araçlarda yakıtın silindir içerisinde püskürtülmesi sırasındaki silindir içerisindeki atomizasyonu oldukça önemlidir. Bu şekilde yakıt ile hava ideal şekilde karışır ve yanma verimi iyileşir. Benzine göre enjektörden püskürtülen sıvı LPG’nin tam atomizasyon olduğu ve yanmayı kısmen iyileştirmesi ile CO emisyonlarında azalma meydana geldiği düşünülmektedir. Genel olarak LPG ile araçların CO emisyonlarının azaldığı bilinmektedir. Fakat bu çalışmada enjektörden sıvı şekilde LPG’nin püskürtülmesi ekstra bir yanma verimi sağlamış ve CO emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. En yüksek iyileşme oranı %66,6 oranı ile 2000 d/dak motor hızında gerçekleşmiştir. En düşük iyileşme oranı ise %12,5 ile 3500 d/dak motor hızında elde edilmiştir.



Şekil 4.3 CO emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi

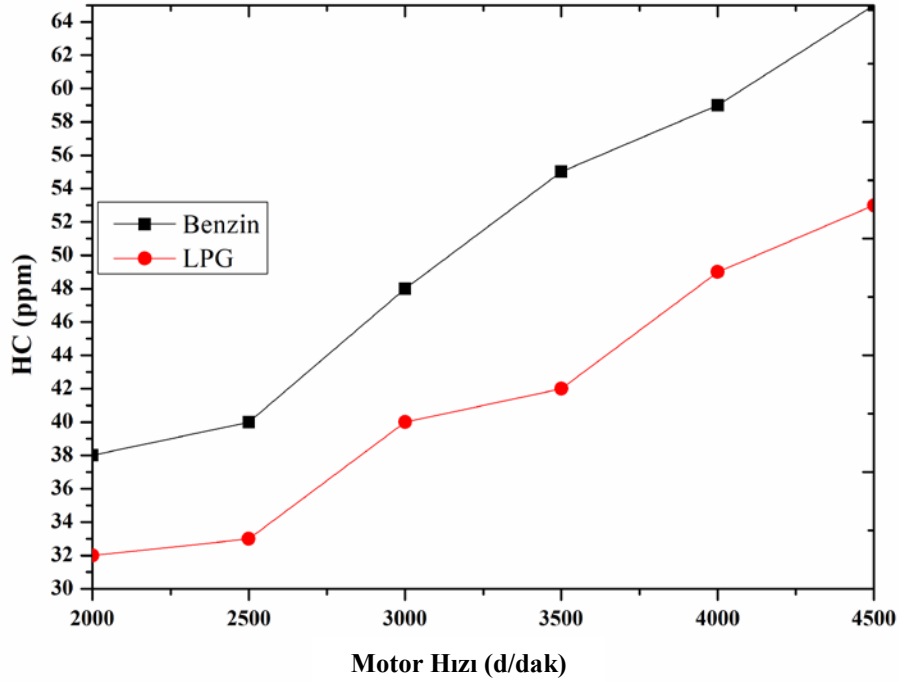
Şekil 4.4’de sıvı LPG ve benzin kullanımının motor hızına göre değişiminin CO₂ emisyonlarına etkisi verilmektedir. Motor silindiri içerisinde yakıtların oksijen ile tam manada yanması sonucunda CO₂ emisyonları, tam yanma sonrasındaki kalan yakıtların eksik yanması ile CO emisyonları, hiç yanmayan yakıtların egzozdan atılması ile HC emisyonları oluşmaktadır (Jamali ve ark., 2019).

Sıvı LPG ile birlikte 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/dak motor hızlarında CO₂ emisyonları artış eğilimi göstermektedir. Motor hızının 4000 ve 4500 d/dak motor hızına çıkması ile birlikteyse azalma olduğu görülmüştür. Özellikle düşük motor hızlarında yanma veriminin LPG ile daha yüksek olduğu fakat motor hızının artması ile birlikte sıvı LPG’nin yanma veriminin azalarak böylece CO₂ emisyonlarında azalmaya neden olduğu düşünülmektedir (Masi, 2012; Kim ve ark., 2017). Motor hızının artması ile birlikte silindir içerisine daha fazla yakıt gönderilmektedir. Böylelikle sıvı fazdaki LPG’nin silindir içerisinden çektiği ısı ile yanma sonu sıcaklığı düşüş göstermektedir. Bu durumda yanma verimi azalma eğilimi göstermektedir. En yüksek azalma eğilimi %13 oranı ile 3000 d/dak motor hızında elde edilmiştir.



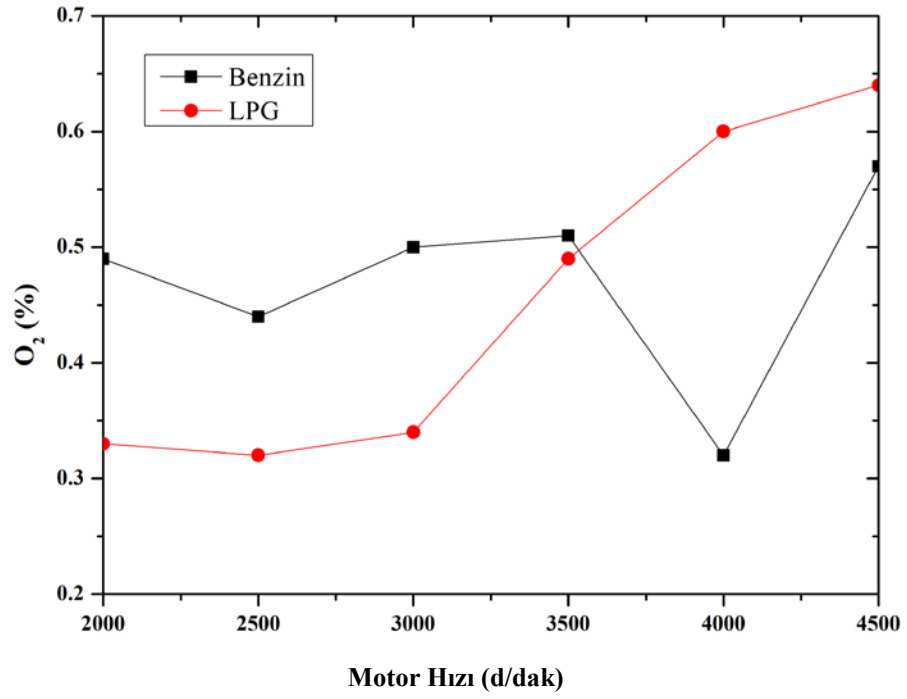
Şekil 4.4 CO₂ emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi

Şekil 4.5’de sıvı LPG ve benzin kullanımının motor hızına göre değişiminin HC emisyonlarına etkisi verilmektedir. Tüm motor hızlarında HC emisyonları sıvı LPG kullanımı ile azalma eğilimi göstermiştir. Sıvı LPG kullanımı ile benzinle benzer HC emisyon profili elde edilmiştir. HC emisyonlarındaki azalma eğilimi klasik sisteme sahip LPG’li araçlarda da beklenen bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır. HC emisyonları açısından en olumlu sonuç 3500 d/dak motor hızında %26 ile elde edilmiştir. En düşük iyileşme oranı %15,7 ile 2000 d/dak motor hızında ölçülmüştür. Sıvı LPG’nin enjektörden püskürtme ile atomize olarak hava ile ideal karıştığı ve yanma verimini arttırdığı HC emisyonları açısından da olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışma sonuçları itibariyle literatürdeki Masi (2012) ve Boretti (2017) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.5 HC emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi

Şekil 4.6'da sıvı LPG ve benzin kullanımının motor hızına göre değişiminin O_2 emisyonlarına etkisi verilmektedir. Klasik benzinli araçlarda karbüratörden hava geçerken benzin de alınır ve ideal bir karışımın oluşması sağlanırdı. Bu tip motorlarda oksijenin azlığı birçok yanma parametresini etkiler ve emisyonların olumsuz olarak ortaya çıkmasını sağlardı. Fakat günümüzde turbo ile desteklenmiş enjektörlü motorlar ile silindir içerisindeki oksijen varlığı ayarlana bilinmektedir. Bu sayede birçok emisyon azalmaktadır. LPG'nin oktan sayısı ve yanıcılığı bu tip motorlarda verimli yanmanın da önünü açan önemli özelliklerin başında gelmektedir. 2000 d/dak, 2500 d/dak ve 3000 d/dak motor hızlarında egzozdan daha az oksijen çıkması yanmanın kısmen iyileştiğinin de göstergesidir. Fakat motor devrinin artması ile birlikte sıvı LPG kullanımı ile birlikte oksijen içeriği artış eğilimi göstermiştir. Bu durumu yanmanın kısmen kötüleştiği ile ifade etmek mümkündür.



Şekil 4.6 O_2 emisyonunun LPG kullanımı ile değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, sıvı LPG sistemine sahip turbo direkt benzin enjektörlü (TGDI) motor teknolojisine sahip taşıtta sıvı LPG kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri tespit edilmiştir. Bu amaçla 2017 model 1.6 turbo GDI motor teknolojisine sahip bir taşıta Prins marka sıvı LPG sistemi entegre edilmiştir. Deney taşıtının motorunda kullanılan benzin ve LPG yakıtları Muş OPET bayisinden temin edilmiştir. Taşıt bir yakıt anahtarı ile benzin ve sıvı LPG ile ayrı ayrı çalıştırılabilmektedir. Motor ya da egzoz sistemi üzerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Deney taşıtı DYNORACE 2WD marka taşıt test dinamometresi üzerinde 5. vites kolu konumunda iken 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak, 3500 d/dak, 4000 d/dak, 4500 d/dak motor hızlarında kullanılarak yapılan testlerde motor torku, motor gücü ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiştir. Egzoz gaz emisyonları (CO, CO₂, HC ve O₂) Capelec CAP3201 marka emisyon cihazı ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Elde edilen bulgular göstermektedir ki;

Sıvı LPG kullanımı ile her motor hızında motor güç değerlerinde artış elde edilmektedir. En yüksek artış oranı ise 4500 d/dak motor hızında elde edilmiştir. Sıvı LPG kullanımı ile maksimum motor gücü 169 BG ölçülürken bu rakam benzin ile 166 BG düşmektedir. Sıvı LPG kullanımı ile maksimum motor gücünde yaklaşık %1,7'lik bir artış elde edilmiştir.

Sıvı LPG kullanımı ile birlikte motor tork değeri 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak ve 3500 d/dak motor hızlarında artış gösterirken, 3500 d/dak motor hızından sonra ise LPG ile elde edilen tork düşerek benzin ile elde edilen motor torku artışa geçmiştir. En yüksek artış oranı 2000 d/dak motor hızında sıvı LPG ile 210 Nm motor torku üretilirken, aynı şartlarda benzin ile ancak 189 Nm tork üretilmiştir. Sıvı LPG ile en yüksek azalma 4500 d/dak motor hızında ölçülmüştür. Maksimum motor torku ise 268 Nm ile benzin ile elde edilmiştir. Aynı şartlarda LPG ile birlikteyse 255 Nm motor torku üretilmiştir.

Tüm motor devirlerinde sıvı LPG ile çalışma modunda CO emisyon değerlerinde benzin yakıtı çalışma moduna göre azalma görülmektedir. En yüksek iyileşme oranı %66,6 oranı ile 2000 d/dak motor hızında gerçekleşmişken, en düşük iyileşme oranı ise %12,5 ile 3500 d/dak motor hızında tespit edilmiştir.

Sıvı LPG kullanımı ile birlikte 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/dak motor hızlarında CO₂ emisyonlarında artışın olduğu, motor hızının 4000 ve 4500 d/dak motor hızına

çıkması ile birlikte ise CO₂ emisyon değerlerinde düşüşün meydana geldiği görülmüştür. Test sonuçları incelendiğinde en yüksek azalma eğilimi %13 oranı ile 3000 d/dak motor hızında gerçekleşmiştir.

Tüm motor hızlarında sıvı LPG kullanımı ile birlikte HC emisyonlarında benzin ile kullanıma göre azalma meydana geldiği görülmüştür. HC emisyon değerleri incelendiğinde en yüksek azalma miktarı 3500 d/dak motor hızında %26 ile elde edilmiş iken en düşük iyileşme oranı ise %15,7 ile 2000 d/dak motor hızında tespit edilmiştir.

Sıvı LPG kullanımı ile birlikte 2000 d/dak, 2500 d/dak, 3000 d/dak ve 3500 d/dak motor hızlarında O₂ miktarı azalırken 4000 d/dak ve 4500 d/dak motor hızlarında artış eğilimi göstermiştir.

Deneyler sırasında elde edilen tecrübeler LPG sisteminin bazı problemlerinin olduğunu ve bu konular üzerinde araştırmanın genişletilmesinin sistemin çalışması açısından olumsuz sonuçların elde edilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle aşağıdaki öneriler sıralanmıştır;

Sıvı LPG sistemi entegre edilmiş taşıtlarda bu tür sistemlerin çalışması sırasında gürültü meydana gelmektedir. Gürültünün azaltılmasına yönelik çalışmalar yürütülebilir.

Silindir içerisine püskürtülen sıvı LPG yüksek basınç altında püskürtülmektedir. Ayrıca malzemeler üzerinden ısı çekerek ani olarak ısınma ve soğuma süreçlerinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durumun motor malzemeleri üzerindeki uzun soluklu etkileri ile ilgili çalışılması sistemin entegrasyonu açısından önemlidir.

LPG sisteminin çalışma parametrelerinin değiştirilerek (enjektör püskürtme basıncı, zamanlaması, hava/yakıt oranı) deneylerin gerçekleştirilmesi sistemin entegrasyonu açısından son derece önemlidir.

Motor yağlama yağına ait özellikler incelenerek yağlama üzerindeki etkileri de incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Aliustaoğlu, S., Ayhan, V. 2019. Direk Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorda LPG-Dizel Çift Yakıt Karışımının Performans ve İS Emisyonlarına Etkileri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 109-116.
- Anonim, 2021a, Aygaz, LPG'nin Teknik Özellikleri ve İçeriği, <https://www.aygaz.com.tr/tupgaz/lpgnin-teknik-ozellikleri> [Erişim Tarihi: 04/05/2021].
- Anonim, 2021b, LPG Tüketicisinin El Kitabı T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/18-1002-181/lpg-tuketicisinin-el-kitabi> [Erişim Tarihi: 04/05/2021].
- Anonim, 2021c, Prins Otogaz Dönüşüm Sistemleri, Direct LiquiMax (DLM) Otogaz Dönüşüm Kiti, https://www.prins.com.tr/dosyalar/Prins_DLM.pdf [Erişim Tarihi: 04/05/2021].
- Anonim, 2021d, Prins Otogaz Dönüşüm Sistemleri, Direct LiquiMax Sistemi, <https://www.prins.com.tr/direct-liquimax-sistemi> [Erişim Tarihi: 04/05/2021].
- Anonim, 2021e, Prins, Otogaz Dönüşüm Sistemleri, Sıralı Sistem LPG, <https://www.prins.com.tr/sirali-sistem-lpg> [Erişim Tarihi: 04/05/2021].
- Anonim, 2021f, Taşıtlarda Kullanılan Dinamometreler, Dynorace 2WD, <https://www.dimsport.it/tr/dyno/dynorace-2wd-7/> [Erişim Tarihi: 04/05/2021].
- Aslam, M., Maşjuki, H., Kalam, M., Abdesselam, H., Mahlia, T., Amalina, M. 2006. An experimental investigation of CNG as an alternative fuel for a retrofitted gasoline vehicle, *Fuel*, 85 (5-6), 717-724.
- Aydın, A. (2017), "Bir dizel motorlu jeneratörde kısmi LPG kullanımının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, Batman, 59.
- Aydın, F. (2006), "Sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sisteminin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya, 91.
- Aydın, M., Afsar, M., Çelik, M.B., 2016, Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016) 3-5 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey*.
- Barakat, H., Kamal, M., Saad, H., Ibrahim, B. 2019. Blending effect between the natural gas and the liquefied petroleum gas using multiple co-and cross-flow jets on NO_x emissions, *Ain Shams Engineering Journal*, 10 (2), 419-434.
- Bayrakçeken, H., Kuş, R. 2006. Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (1), 125-144.
- Boretti, A. 2017. Numerical study of the substitutional diesel fuel energy in a dual fuel diesel-LPG engine with two direct injectors per cylinder, *Fuel Processing Technology*, 161, 41-51.
- Can, İ. (2009), "LPG ile çalışan benzinli bir motora kademeli dolgu yapılmasının performans üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 137.
- Chitragar, P., Shivaprasad, K., Nayak, V., Bedar, P., Kumar, G. 2016. An experimental study on combustion and emission analysis of four cylinder 4-stroke gasoline engine using pure hydrogen and LPG at idle condition, *Energy Procedia*, 90, 525-534.

- Çalık, A. 2018. Hidrojen ile Yakıt Zenginleştirmenin Dizel Motorun Motor Performansı ve Emisyon Özelliklerine Etkisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (3), 255-262.
- Çavgun, E. (2019), "Çift yakıtlı bir dizel motorda sıkıştırma oranının LPG kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, Batman, 68.
- Çiçek, A. (2018), "Oksijen ile zenginleştirilmiş emme havasının LPG yakıtlı buji ateşlemeli bir motorun performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 69.
- Datta, A., Mandal, B.K. 2016. A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for compression ignition engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 799-821.
- Demirci, O.K., Çınar, C. 2019. HCCI-DI Bir Motorda Doğal Gaz Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7 (2), 317-330.
- Deviren, H., İlkılıç, C., Aydın, S. 2017. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7 (2/2), 79-89.
- Duc, K.N., Duy, V.N. 2018. Study on performance enhancement and emission reduction of used fuel-injected motorcycles using bi-fuel gasoline-LPG, *Energy for Sustainable Development*, 43, 60-67.
- Ergüder, T.O. (2019), "Erzincan şehir merkezinde motorlu taşıt emisyonları kaynaklı hava kirliliği düzeyinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, TC Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, 108.
- Erkuş, B. (2011), "Otto motorlarının farklı yakıt tiplerinde optimum performanslarının araştırılması", Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 82.
- Eyidoğan, M., Çanakcı, M., Özsezen, A.N., Alptekin, E., Türkcan, A., Kılıçaslan, İ. 2011. Etanol-Benzin Ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Parametrelerine Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 26 (3).
- Fırat, M. 2019. Doğalgazlı Buji Ateşlemeli Direkt Enjeksiyonlu Bir Motorda Erken ve Geç Ateşlemenin Yanma ve Emisyon Oluşumuna Etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1), 453-461.
- Fırat, M., Okcu, M., Varol, Y. 2017. Dizel Motorlarda Yakıtta Hidrojen Katkısının Yanma, Performans ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (1), 101-107.
- Göktaş, M. (2019), "Farklı alkol yakıt kullanılan buji ateşlemeli motorlarda performans, emisyon ve yanma karakteristiklerindeki değişimlerin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 165.
- Gümüş, M. 2009. Çift Yakıt Enjeksiyonlu Buji Ateşlemeli Bir Motorda LPG Kullanım Oranının Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2).
- Haşimoğlu, C., Civiniz, M., Gürol, U. 2006. Günümüzde İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Yakıtının Kullanılması, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 1 (1).
- İlhak, M.İ., Akansu, S.O., Kahraman, N., Ünalın, S. 2018. Experimental study on an SI engine fuelled by gasoline/acetylene mixtures, *Energy*, 151, 707-714.

- Jamali, Q., Bhatti, M., Qazi, Q., Kaurejo, B., Qazi, I., Solangi, S., Jamali, A. 2019. Analysis of CO₂, CO, NO, NO₂, and PM particulates of a diesel engine exhaust, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9 (6), 4912-4916.
- Kaptan, A. (2015), "Taşıt LPG tanklarının patlatma basınçları ve yorulma performanslarının incelenmesi", Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 176.
- Karagöz, Y., Sandalcı, T., Yüksek, L., Dalkılıç, A.S., Wongwises, S. 2016. Effect of hydrogen–diesel dual-fuel usage on performance, emissions and diesel combustion in diesel engines, *Advances in Mechanical Engineering*, 8 (8), 1687814016664458.
- Karamangil, M.I. 2007. Development of the auto gas and LPG-powered vehicle sector in Turkey: A statistical case study of the sector for Bursa, *Energy policy*, 35 (1), 640-649.
- Kenanoğlu, R. (2016), "Dizel motorda alternatif gaz yakıt kullanımının avl programı ile simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 60.
- Kim, K., Kim, J., Oh, S., Kim, C., Lee, Y. 2017. Lower particulate matter emissions with a stoichiometric LPG direct injection engine, *Fuel*, 187, 197-210.
- Kırmaz, İ. (2019), "Yeni Nesil Yakıt Sistemine Sahip Benzinli Motorlarda LPG' nin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 52.
- Kunt, M. (2019), "Hava soğutmalı bir motorda LPG uygulamasının araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 48.
- Li, J., Wu, B., Mao, G. 2015. Research on the performance and emission characteristics of the LNG-diesel marine engine, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 27, 945-954.
- Lu, G., Li, L. 2011. Study on combustion parameters of liquefied petroleum gas engine, *Energy Procedia*, 12, 897-905.
- Majidi Dolat Abadi, M. (2017), "İçten Yanmalı Motorlarda Farklı Yanma Modlarının Sad Yaklaşımı Kullanarak Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 287.
- Masi, M. 2012. Experimental analysis on a spark ignition petrol engine fuelled with LPG (liquefied petroleum gas), *Energy*, 41 (1), 252-260.
- Morganti, K.J., Brear, M.J., da Silva, G., Yang, Y., Dryer, F.L. 2015. The autoignition of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in spark-ignition engines, *Proceedings of the Combustion Institute*, 35 (3), 2933-2940.
- Munzuroğlu, Ü. (2010), "İstanbul trafiğindeki ticari taksilerin emisyon açısından olumsuz etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 153.
- Mustafa, K., Gitano-Briggs, H., 2009, Liquefied petroleum gas (LPG) as an alternative fuel in spark ignition engine: Performance and emission characteristics, *2009 3rd International Conference on Energy and Environment (ICEE)*, IEEE, 189-194.
- Naik, R., Babu, M., Das, L. 2018. Performance Studies on CNG Enriched with LPG Operated Variable Speed Spark Ignition Engine, *AJIRSET*, 1 (3), 6.
- Nayak, V., Rashmi, G., Chitragar, P., Mohanan, P. 2016. Combustion characteristics and cyclic variation of a LPG fuelled MPFI four cylinder gasoline engine, *Energy Procedia*, 90, 470-480.

- Organ, B., Huang, Y., Zhou, J.L., Surawski, N.C., Yam, Y.-S., Mok, W.-C., Hong, G. 2019. A remote sensing emissions monitoring programme reduces emissions of gasoline and LPG vehicles, *Environmental research*, 177, 108614.
- Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., Tektaş, M. 2020. Geleceğin ulaşım tercihi elektrikli araçlar, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3 (1), 34-50.
- Özcan, F. (2010), "Buji ateşlemeli bir motorda LPG ve CNG (sıkıştırılmış doğal gaz) kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi"Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 85.
- Özdemir, H.A., Dulupçu, M.A. 2018. Türkiye'nin Ulaşımında Enerji Sorununa Çözüm Ortağı CNG, *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 23 (1), 123-144.
- Özer S., Vural, E. 2021. Turboşarjlı enjeksiyonlu benzinli bir motorda LPG kullanımının emisyonlar ve motor performansı açısından incelenmesi, *Politeknik Dergisi* 24 (1), 143-150.
- Öztornacı, E. 2019. Enerji Piyasaları Bağlamında Kamu Politikaları, *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (1), 25-37.
- Raslavičius, L., Keršys, A., Mockus, S., Keršienė, N., Starevičius, M. 2014. Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 513-525.
- Saputro, W., Garcia, P. 2018. Design and Performance of LPG Fuel Mixer for Dual Fuel Diesel Engine, *E&ES*, 147 (1), 012022.
- Sezer, İ. 2017. Dizel Yakıtına Etanol ve Dietil Eter Katılmasının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38 (1), 61-68.
- Synák, F., Čulík, K., Rievaj, V., Gaňa, J. 2019. Liquefied petroleum gas as an alternative fuel, *Transportation Research Procedia*, 40, 527-534.
- Szpica, D., Czaban, J. 2014. The assessment of correctness of engine adaptation for alternative LPG fueling based on full load engine characteristics of performance, *Combustion Engines*, 159 (4), 3-11.
- Şimşek, D., Çolak, N.Y. 2019. Biyodizel/Propanol Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (1), 166-174.
- Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E. 2005. Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 325-334.
- Ünal, İ., Doğan, B. 2014. Yüksek Basıncılı CNG Kompresörlerinin Çalışma Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi, *Engineer & the Machinery Magazine*, 55 (648), 44-50.
- Vinoth, T., Vasanthakumar, P., Krishnaraj, J., ArunSankar, S., Hariharan, J., Palanisamy, M. 2017. Experimental Investigation on LPG+ Diesel Fuelled Engine with DEE Ignition Improver, *Materials Today: Proceedings*, 4 (8), 9126-9132.
- Yağız, S. (2019), "Pamuk yağı ve atık pamuk yağı biyodizelinin dizel motorlu bir jeneratörde yakıt olarak kullanım olanaklarının araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, Batman, 54.
- Yalçın, Y., Akcan, Ş., 2015. Toplu taşımada sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) kullanımının sera gazı emisyonlarına etkisi, *ICCI Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 182-184.
- Yaman, H., Çelık, M.B. 2004. Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Teknoloji*, 7 (4), 681-691.

- Yaşar, F. (2016), "Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması", Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, Batman, 134.
- Yelmen, B., Çakır, M.T., 2011, Yeşil enerji kaynakları ve teknolojileri, 2. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri*, EMO, İzmir, 11.
- Yıldız, A. (2017), "Atık Trafo yağlarının dizel motorlu bir jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, Batman, 58.
- Yılmaz, G. 2008. Kentsel Ulaşımındaki Yeni Eğilimler: Alternatif Enerji Teknolojileri Üzerine, İMO, Van, 372-383.
- Yılmaz, İ.T., Yavuz, M., Gümüş, M. 2020. Dizel-biyogaz çift yakıtla çalışan bir motorda dizel yakıt miktarının emisyonlara etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (4), 683-688.
- Yılmaz, İ.T., Gümüş, M. 2017. Biyogaz-dizel çift yakıtlı dizel motor üzerine bir araştırma, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 919-927.
- Yontar, A.A. (2016), "Buji ateşlemeli motorda saf ve karışımli alternatif yakıtların motor performansına ve emisyonlarına etkilerinin sayısal ve deneysel incelemesi" Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 272.
- Zengin, Y. (2019), "Yakıt Hücresinde Hidrojen Tüketiminin Zamana Bağlı Değişiminin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, Batman, 74.
- Zhang, C.-H., Song, J.-T. 2016. Experimental study of co-combustion ratio on fuel consumption and emissions of NG–diesel dual-fuel heavy-duty engine equipped with a common rail injection system, *Journal of the Energy Institute*, 89 (4), 578-585.
- Zhu, G., Liu, J., Fu, J., Xu, Z., Guo, Q., Zhao, H. 2018. Experimental study on combustion and emission characteristics of turbocharged gasoline direct injection (GDI) engine under cold start new European driving cycle (NEDC), *Fuel*, 215, 272-284.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bahtiyar BAĞATUR

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Polatlı Teknik Lisesi, Polatlı, Ankara	2001
Üniversite	: Sakarya Üniversitesi, Merkez, Sakarya	2006
Yüksek Lisans	: Muş Alparslan Üniversitesi, Merkez, Muş	2021
Doktora	:	

UZMANLIK ALANI

Yakıtlar ve yanma, içten yanmalı motorlar, alternatif enerji sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Özer, S., Bağatur, B. 2021. Investigation of The Effects of Liquid LPG Use in A Gasoline Injection Turbocharged Engine, *International journal automotive science and techonolgy*.5(3), 172-178. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)