



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**Yeni Nesil Yakıt Sistemine Sahip Benzinli
Motorlarda LPG'nin Deneysel Olarak
İncelenmesi**

İdris KIRMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

İdris KIRMAZ tarafından hazırlanan “Yeni Nesil Yakıt Sistemine Sahip Benzinli Motorlarda LPG’nin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 10.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÜNALDI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN
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.

İdris KIRMAZ

10.06.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yeni Nesil Yakıt Sistemine Sahip Benzinli Motorlarda LPG' nin Deneysel Olarak İncelenmesi

İdris KIRMAZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

2019, 52 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÜNALDI

Bu çalışmanın amacı, günümüzde kullanılmakta olan LPG sistemlerinin, benzin motorları üzerindeki uygulamalarının, güç ve egzoz emisyonları yönünden benzine göre farklarının araştırılmasıdır. LPG sistemlerinin geldiği son noktadaki direk enjeksiyonlu benzinli motorlarda kullanılan sıvı LPG sistemi incelenerek, sistem tanıtılmış, daha önce kullanılan LPG sistemlerinin problemlerine değinilmiştir.

Taşıt deneylerinde yakıt olarak kurşunsuz benzin ve LPG yakıtı kullanılmıştır. Üzerinde Prins marka sıvı LPG sistem cihaz monte edilmiş, dört zamanlı, dört silindirli, direk enjeksiyon sistemli, turbo benzinli bir motora sahip olan 2016 model 4x4 Hyundai Tucson 1.6 TGDI marka taşıt, dinamometre üzerinde kullanılarak, değişik vites aralıklarında ve hızlarda taşıt tekerlek güç değerleri ölçülmüştür. Egzoz emisyon cihazı ile de CO, CO₂, HC, O₂ ve lambda (λ) değerleri ölçülmüştür.

Güç değerleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre güç kaybı olmadığı aksine bir miktar artış da olduğu görülmektedir. Bunun sebebi LPG yakıtı sıvı olarak benzin enjektörlerini kullanarak çalıştığı için kayıplar minimum seviyededir ve ayrıca LPG yakıtını oluşturan propan ve bütan bileşimlerinin oktan sayıları ve ısı değerleri benzine göre daha yüksektir.

Egzoz emisyon değerleri incelendiğinde, egzoz gazları içindeki karbonmonoksit (CO) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha az meydana geldiği görülmektedir.

Karbondioksit (CO₂) emisyonlarının sera etkisiyle küresel ısınmaya neden olması, karbondioksit emisyonlarının oluşumunu sağlayan karbon atomlarının kullanılan yakıt içerisinde olmaması veya düşük oranda olması istenmektedir. LPG yakıtındaki karbon oranını benzine göre daha düşüktür. Egzoz gazları içindeki karbondioksit (CO₂) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha az meydana geldiği görülmektedir. Egzoz gazları içindeki hidrokarbon (HC) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha az meydana geldiği görülmektedir.

Egzoz gazları içindeki oksijen (O₂) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha fazla meydana geldiği görülmektedir.

Egzoz gazları içindeki lambda (λ) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha ideal oranda meydana geldiği görülmektedir.

Sonuç olarak, Sıvı LPG sisteminin benzinli motorlar üzerinde uygulanması ile daha önceki LPG sistemlerindeki eksiklikler giderildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direk enjeksiyon, Egzoz emisyonu, Sıvı LPG, Taşıt performansı.

ABSTRACT

MS THESIS

Experimental Investigation of LPG in Gasoline Engines with New Generation Fuel System

İdris KIRMAZ

The Graduate School of Natural and Applied Science of
Necmettin Erbakan University
The Degree of Master of Science in Energy Systems Engineering

Advisor: Dr. Fatih AYDIN

2019, 52 Pages

Jury

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Dr. Fatih AYDIN

Dr. Mahmut ÜNALDI

The aim of this study is to investigate the applications of LPG systems on gasoline engines in terms of power and exhaust emissions. The liquid LPG system used in the direct injection gasoline engines at the endpoint of the LPG systems was examined, the system was introduced and the problems of previously used LPG systems were mentioned.

Unleaded gasoline and LPG fuel were used in vehicle experiments. A 2016 model 4x4 Hyundai Tucson 1.6 TGDI, installed a Prins brand liquid LPG system, with 4-stroke, four-cylinder, direct injection system, turbocharged gasoline engine was driven on the dynamometer and wheel power values were measured at different gear intervals and speeds. CO, CO₂, HC, O₂ and lambda (λ) values were measured by exhaust emission device.

When the power values are examined, it is seen that there is no power loss in LPG mode compared to gasoline mode and, on the contrary, there is a slight increase. This is because LPG fuel is operated by using gasoline injectors fluidly and the losses are at a minimum level and octane numbers and the thermal values of the propane and butane compounds that form the LPG fuel are higher than those of gasoline.

When the exhaust emission values are examined, it is seen that the changes of carbon monoxide (CO) values in the exhaust gases occur less in the LPG mode than in the gasoline mode.

Since carbon dioxide (CO₂) emissions cause global warming due to greenhouse effect, carbon atoms that provide carbon dioxide emissions shouldn't be in the fuel or they should be very low. Carbon content in LPG fuel is lower than in gasoline. It is observed that the changes in carbon dioxide (CO₂) values in the exhaust gases occur less in the LPG mode than in the gasoline mode. It is observed that the changes in the hydrocarbon (HC) values in the exhaust gases are less in the LPG mode than in the gasoline mode.

It is seen that the changes of oxygen (O₂) values in exhaust gases occur more in LPG mode than in gasoline mode.

It is observed that the changes in lambda (λ) values in exhaust gases occur in LPG mode at a more ideal rate compared to gasoline mode.

As a result, it was discovered that the application of liquid LPG system on gasoline engines has made up the deficiencies of previous LPG systems.

Keywords: Direct injection, Exhaust emission, Liquid LPG, Vehicle performance.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır.

Çalışmada LPG sistemlerinin geldiği son noktadaki direk enjeksiyonlu benzinli motorlarda kullanılan sıvı LPG sistemi incelenerek, sistem tanıtılmış, üzerinde Prins marka sıvı LPG sistemli cihaz monte edilmiş, 2016 model Hyundai Tucson 1.6 TGDI marka direkt enjeksiyonlu benzinli turbo bir araç ile deneyler yapılarak, egzoz emisyonu ve taşıt performans değerleri tespit edilmiştir.

Tezin fikir aşamasından sonuçlanmasına kadar geçen süreçte her an bilimsel yönlendirmeleriyle büyük yardımlarını gördüğüm, bitmek tükenmek bilmeyen sabrı ile sürekli olumlu yönlendirme yaparak bana kılavuzluk eden ve cesaretlendiren değerli danışmanım Doktor Öğretim Üyesi Fatih AYDIN 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı yaparken birlikte zaman geçiremediğim ve ihmal etmek zorunda kaldığım, ancak buna rağmen bana gösterdiği hoşgörü ile çalışmamda manevi desteği eksik olmayan değerli eşim Hülya'ya, çocuklarım Mevlüt, Adil ve Tahir'e teşekkürü bir borç bilirim.

İdris KIRMAZ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. LPG Nedir?	3
1.2. LPG Eldesi	3
1.3. LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	4
1.4. LPG'nin Oktan Sayısı.....	6
1.5. LPG'nin Isıl Değeri	6
1.6. LPG'nin Kokulandırılması.....	6
1.7. LPG'nin Tam ve Teorik Yanma Denklemleri.....	7
1.8. LPG Yakıtının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi.....	8
1.9. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları	9
1.10. LPG'nin Avantajları	9
1.11. LPG'nin Dezavantajları	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Taşıt Üzerinde Bulunan Sıvı LPG Sisteminin Ekipmanları	13
3.1.2. Üzerinde Sıvı LPG Montajı Yapılmış Deney Taşıtı.....	19
3.1.3. Deneylerde Kullanılan Dinamometre	21
3.1.4. Deneylerde Kullanılan Egzoz Emisyon Cihazı	21
3.1.5. Deneylerde Kullanılan Soğutucu.....	23
3.1.6. Deneylerde Kullanılan Egzoz Havalandırma Sistemi.....	24
3.2. Metot.....	24
3.2.1. Tahrik Kuvveti.....	25
3.2.2. Tahrik Gücü.....	25
3.2.3. Egzoz Emisyonları	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	27
4.1. Taşıt Performans Deney Sonuçları	27
4.1.1. Tekerlek Tahrik Gücü	27
4.2. Taşıt Egzoz Emisyon Deney Sonuçları.....	30
4.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonu.....	30
4.2.2. Karbon Dioksit (CO ₂) Emisyonu.....	33
4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	36

4.2.4. Oksijen (O ₂) Emisyonu	39
4.2.5. Lambda (λ) Değeri.....	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
5.1 Sonuçlar	46
5.2 Öneriler	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ.....	52



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
°C	: Santigrat derece

Kısaltmalar

a/f	: air / fuel
ABS	: Anti-Lock Braking System
AC	: Alternatif Akım
AFR	: Hava / Yakıt Oranı
atm	: Atmosferik Basınç
BP	: British Petroleum
cc	: cubik centimeter
C ₂ H ₅ SH	: Etilmerkaptan
C ₃ H ₈	: Propan
C ₄ H ₄ S	: Fiyofen
C ₄ H ₁₀	: Bütan
C ₅ H ₁₁ SH	: Merkaptan
C ₈ H ₁₈	: Benzin
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CNG	: Compress Natural Gas
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
d	: Yoğunluk
DCT	: Dual Clutch Transmission
DLM	: Direct Liquimax
DOHC	: Double Over Head Cam
EBD	: Electronic Brake Force
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
FRU	: Yakıt Geri Dönüş Ünitesi
FSI	: Fuel Stratified Injection
FSU	: Yakıt Besleme Ünitesi

TGDI	: Turbo Gasoline Direct Injection
H ₂ O	: Su
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
HP	: Horse Power
Hz	: Hertz
ISO	: International Organization for Standardization
Kg	: kilogram
km/h	: Kilometre / saat
kW	: Kilowatt
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
Lt	: litre
mm	: milimetre
MON	: Motor Octane Number
MPI	: Multi Point Injection
Nm	: Newton metre
Nm ³	: Newton metre küp
N ₂	: Azot
NO _x	: Azotoksit
NŞA	: Normal Şartlar Altında
O ₂	: Oksijen gazı
ÖET	: Özgül enerji tüketimi (MJ/kWh)
Pb	: Kurşun
RON	: Research Octane Number
s	: Saniye
S	: Kükürt
SI	: Sequential Injection
SO ₂	: Kükürtdioksit
SPI	: Single Point Injection
SUV	: Sport Utility Vehicle
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TFSI	: Turbo Fuel Stratified Injection
TSI	: Turbo Supercharger Injection
V	: Volt

1. GİRİŞ

Yüz yılı aşkın bir süredir otto ve diesel ilkelerine göre çalışan otomobil motorlarının ana yakıtı petrol kökenli yakıtlar olmuştur. Uygarlığını devamının ulaşım amaçlı, ucuz, temiz ve kararlı yakıt teminiyle yakından ilişkili olduğu söylenebilir. Alternatif yakıtların; kaynak temini, emniyet, sağlığa zararlılık, taşıt performans ve emisyonları ve depolama gibi kriterler açısından incelenmesi gerekir [Çetinkaya, 2002].

LPG kullanımı bazı Avrupa ülkesinde teşvik edilmektedir. Ülkemizde teşvik edilmemesine rağmen maddi katkıları sebebiyle LPG'li araçlara ve LPG dönüşümüne doğal bir ilgi vardır. LPG ayrıca ülkemizde dökme gaz olarak mutfaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve doğalgazın ulaşamadığı bazı bölgelerde en önemli enerji kaynağıdır. LPG'li araçların kullanımının yasal hale gelmesiyle, denetimlerle güvenilirliği sağlanmış ve LPG kullanımı her geçen gün artmıştır [Sertçelik, 2010].

Otomotiv sektörünün gelişmesi ve yeni enerji kaynakları kullanımının gündeme gelmesi, alternatif enerji kaynakları arayışının hızlanmasına neden olmaktadır. Son zamanlarda LPG daha kolay bulunması, ekonomik olması, geleneksel yakıtlara göre egzoz emisyonlarının daha düşük olması ve oktan sayısının daha yüksek olması nedeniyle içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı daha uygun hale gelmiştir. Gelişmiş olan birçok ülkede LPG (İtalya, Fransa, Japonya, Belçika, Hollanda, Amerika) alternatif yakıt olarak otomobillerde daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Diğer ülkelerde ise kullanımları daha da yaygınlaşmaktadır [Özcan, 2010].

Benzinli motorlarda yakıt alternatifleri, maliyetleri düşürüp, kirletici emisyonun azaltılması sebebiyle kullanılmaktadır. Kullanılacak alternatif yakıtın mevcut taşıt performansını olumsuz yönde etkilememesi, taşıt üzerinde ağırlık ve hacim bakımından sorun oluşturmaması, emniyet koşullarını sağlaması ve dönüşüm sistem maliyetinin düşük fiyatlı olması da önem arz etmektedir [Öner, 2014].

Alternatif yakıtın maliyeti ve üretim kapasitesi de önem arz etmektedir. LPG'nin buji ateşlemeli benzinli motorlarda yakıt olarak kullanımında bazı avantajlar sağlamaktadır [Soruşbay, 2002].

Benzinli motorlarda kullanılan benzinin fiyatı LPG ile kıyaslandığında ekonomik değildir, egzoz gazı emisyon değerleri de LPG'ye göre yüksektir. Emisyon değerlerini düşürmek ve Avrupa standartlarına çekebilmek için üç yollu katalizörler (katalitik konverter) kullanılması zorunluluğu vardır. Kullanılan dönüştürücü sistemler hem taşıt fiyatını arttırmakta hem de işletme koşullarında daha fazla probleme sebep olmaktadır.

Bu nedenle otomotiv sektörü egzoz emisyonlarının aşağıya çekecek alternatif yakıtları kullanabilecek motorlar üretmeye yönelmiştir. LPG'li araçlarda silindirlere gönderilen gazın yanmasından sonra motor içerisinde asit ve karbon kalıntıları azaldığından aracın motor yağı daha uzun ömürlü olmaktadır [Can, 2009].

Motor yağının azalması ya da kirlenmesi silindirlerdeki aşınmayı hızlandırdığından LPG'li araçlarda temiz kalan motor yağı motor ömrünü uzatmaktadır. LPG'nin yakıt olarak benzinli motorlarda etkin olarak kullanılması ülkemizde de yaygınlaşmıştır. LPG yakıtı egzoz emisyonları yönünden diğer yakıtlara göre daha temizdir. Özellikle CO emisyonları benzine göre daha düşük değerlere inerken HC ve CO₂ miktarındaki düşüş az olmaktadır. LPG'nin oktan sayısının yüksek olması nedeniyle egzozdaki kirlenici emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Yakıt içerisinde kükürt olmaması nedeniyle, kükürt oksit emisyonu söz konusu değildir. Ayrıca is ve partikül emisyonları da oluşmamaktadır. Bunların yanı sıra LPG dönüşüm sistemindeki teknolojik gelişmeler LPG kullanılan araçlarda taşıt performansı üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaktadır [Can, 2009].

Performans arttırmak için yakıt sistemlerinde yapılan değişiklikler ve kullanılan farklı yakıtların dışında dolgu yapısıyla ilgili farklılıklar görülmektedir. Bunlar homojen dolgu sistemler ve kademeli dolgu sistemler diye ikiye ayrılmaktadır. Homojen dolgu sistemlerde karışım emme manifoldunda hazırlanarak motor içerisine alınır. Burada esas olan karışımın stokiyometrik olması ve silindir içerisindeki her noktada homojenliği korumasıdır. Günümüz benzinli motorlarının tamamına yakını homojen dolgu yöntemi ile doldurularak çalışacak şekilde tasarlanmıştır [Kutlar ve ark. 2000].

LPG yakıtının buji ateşlemeli motorlarda kullanımını sağlayan dönüşüm sistemleri, içten yanmalı motor teknolojisinin gelişmesi ile sürekli değişim göstererek LPG yakıtının motorlarda daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Yakıt dönüşüm sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak motorlar dört evrede incelenebilmektedir [Karamangil, 2007]. Bunlar;

1. Katalitik dönüştürücüsü olmayan karbüratörlü motorlar: Mikser ünitesi ile mekanik karışım içerir. (Birinci Kuşak LPG Sistemi)

2. Kapalı devre, karbüratörlü veya tek noktalı enjeksiyonlu, SPI motorlar: Mikser ünitesinin yanında kapalı devre otomatik karışım ayarı ve lamda sensörü içerir. Euro I-II normlarına uygundur. (İkinci Kuşak LPG Sistemi)

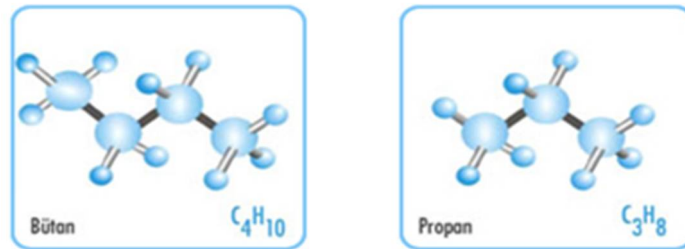
3. Kapalı devre çok nokta enjeksiyonlu, MPI motorlar: Grup enjeksiyon veya sürekli enjeksiyon özelliklerine sahip olan kapalı devre çok nokta enjeksiyon sistemidir. Euro II-III normlarına uygundur. (Üçüncü Kuşak LPG Sistemi)

4. Kapalı devre ve fakir yanmalı, sıralı enjeksiyonlu motorlar SI: Kapalı devre, sıralı ve çok noktalı gaz enjeksiyon sistemidir. Euro III-IV normlarına uygundur (Dördüncü Kuşak LPG Sistemi) [Çetinkaya, 2007], [Kocagöz, 2009].

1.1. LPG Nedir?

LPG, Bütan ve Propan gazlarının karışımından oluşmaktadır. Renksiz ve kokusuzdur, zehirleyici değildir. Bir kaçak halinde fark edilebilmesi için özel olarak kokulandırılmaktadır. LPG atmosfer basıncında gaz halinde olup, basınç altında sıvılaştırılarak depolanır, tanklara ve tüplere doldurularak taşınır. Stok tanklarına ve tüplere hacmin % 80-85'ini aşmayacak oranda sıvı olarak doldurulur. Hacmin kalan % 15-20'si buharlaşan LPG'den kaynaklanan gaz fazı halindedir. Ülkemizde kullanılan LPG, yaz aylarında genellikle % 30 Propan ve % 70 Bütan karışımından, kış aylarında ise genellikle % 50 Propan ve % 50 Bütan karışımından meydana gelmektedir. LPG, benzine karşı yakıt tüketim avantajı sağlamaktadır. Bütan ve Propan'ın RON ve MON değerlerinin yüksekliği vuruntu önleme gücüne sahip olduğunu göstermektedir. LPG, daha az zararlı emisyonlar üretir [Anonim, 2019 a].

Şekil 1.1. de LPG yi oluşturan gazlar görülmektedir.



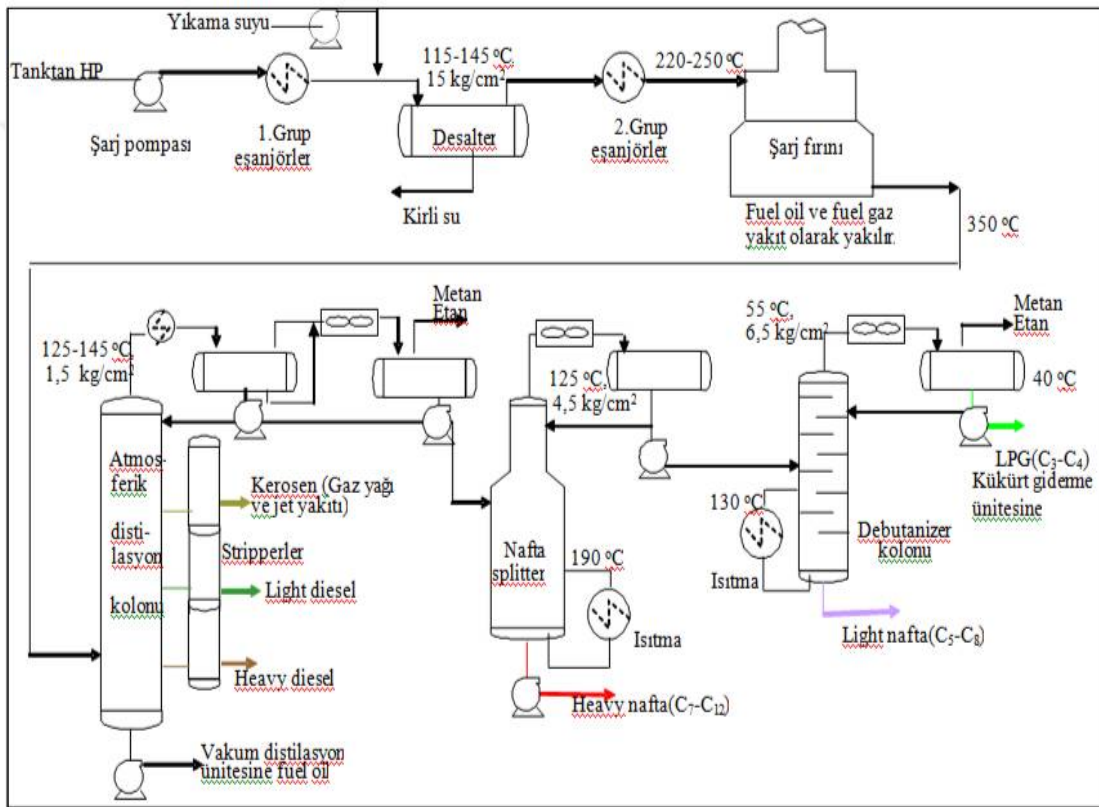
Şekil 1.1. Bütan ve Propanın kimyasal yapıları [Anonim, 2019 b]

1.2. LPG Eldesi

LPG doğalgaz kuyuları ve ham petrol rafinerileri olmak üzere iki ana kaynaktan elde edilir. Petrolün damıtılması ile elde edilen LPG, içerisindeki kükürt miktarı standartlara uygun duruma getirilebilmesi için sudan arıtılır. Ayrıca etilmerkaptan (C₂H₅SH) ile kokulandırılır. Parlayıcı ve patlayıcı bir gazdır. Oda sıcaklığı ve 1 atm basınçta gaz halinde olup, basınç uygulandığında sıvılaşır. Sıvılaşınca hacmi

azaldığından taşıma, depolama ve ölçme işlemleri sıvı haldeyken yapılır. Basınç düşürüldüğünde ve çevreden aldığı ısı ile gaz haline dönüşür ve gaz halindeyken kullanılır. LPG, havadan ağır ($d=2,6$ g/l) olmasından dolayı zemine çökerek ortama yayılır ve boğulmalara neden olur. LPG, benzine göre piyasaya daha ucuz fiyatlardan sunulmaktadır. LPG kullanımının taşıtlarda benzine göre yaklaşık % 50 daha düşük fiyatlı olduğu bilinmektedir. LPG ve benzin kullanım miktarları, mevsimlere göre ve araçtan araca değişiklik göstermektedir [Aydın, 2006].

Ham petrol ünitesinde LPG üretiminin akış şeması şekil 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.2. LPG üretim şeması [Anonim, 2012]

1.3. LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

LPG'yi oluşturan propan ve bütanın belirleyici temel özelliklerinden biri buharlaşma basıncıdır. Yazın aynı sıcaklıkta bütan karışım oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara sebep olur. Sıvılaştırılmış petrol gazının benzine göre farklı özellikleri vardır. Propan ve bütan arasındaki farklı özelliklerden biri kaynama noktasıdır. Propanın -42 °C'de gaz faza geçmesi sonlanıp sıvı fazda kalırken, bütan 0 °C'de kaynamaya başlar. Bu yüzden soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gereksinimi

ortaya çıkar. Çizelge 1.1’de LPG karışımını oluşturan propan ve bütanın bazı fiziksel özellikleri görülmektedir. [Anonim, 2000].

Çizelge 1.1. Motor Yakıtı Benzin ile LPG Karşılaştırılması [Anonim, 2012]

Özellikler	Yakıtlar		
	Benzin	Propan	Bütan
Stokiyometrik Hava / Yakıt Oranı	16.1/1	15.1/1	15/1
NŞA’daki Fiziksel Hâli	Sıvı	Gaz	Gaz
Yoğunluk (kg/l - 15 °C)	0,73-0,78	0,508	0,584
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	44	46,4	45,6
Buharlaştırma Gizli Isısı (Kj/kg)	300	426	385
NŞA Stokiyometrik Orandaki Karışımı Yakmak İçin Gereken Tutuşma Enerjisi (Mj)	1	0,3	0,3
Kaynama Noktası °C	30-225	-42	- 0,5
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	96-98	111	103
Motor Oktan Sayısı (MON)	85-87	97	89

Soğuk iklimli bölgelerde kullanılan LPG’nin içerisindeki propan oranının artırılarak sıvı fazdan gaz faza geçiş kolaylaştırılmalıdır. Bazı ülkelerde otomobiller kullanılan LPG’nin propan ve bütan karışım oranları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Gaz hâlindeki LPG’ye basınç uygulandığında toplam hacim, içerisindeki bütan ve propan yüzdelere bağlı olarak 1/230 ile 1/267 oranında küçülür. 267 m³ gaz hâlindeki LPG sıkıştırıldığında sıvı hâlde 1 m³’lük bir hacme sığar [Anonim, 2012].

Çizelge 1.2. Bazı Ülkelerde LPG içerisindeki propan ve bütan oranları [Anonim, 2012]

Ülke Adı	Propan / Bütan Oranları (%)	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Almanya	Propan	Propan
Danimarka	30/70	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan

1.4. LPG'nin Oktan Sayısı

Oktan, renksiz bir hidrokarbondur ve 125 °C derecede kaynar. Ancak bizi esas ilgilendiren tarafı en basit olarak yakıtın tutuşma kalitesini gösteren değerdir. Bu nedenle de “Oktan Sayısı” olarak belirtmek daha doğrudur. Bu sayı yükseldikçe yakıtın tutuşması zorlaşır. Tutuşmanın zorlaşması sonucu “Erken tutuşma - vuruntu” ihtimali azalır. Erken tutuşma riski, yüksek sıkıştırma oranına sahip motorlarda daha fazla olduğu için yakıtın geç tutuşması istenir. Bu nedenle yüksek oktanlı yakıt kullanmak gerekir [Anonim, 2018]. LPG yakıtının oktan sayısı Çizelge 1.1’de de görüldüğü gibi benzine göre daha yüksektir.

1.5. LPG'nin Isıl Değeri

LPG'nin ana bileşimi olan bütan ve propanın ısıl değeri diğer gaz yakıtlardan oldukça yüksektir. Bundan dolayı bütan ve propana yüksek kalorili gazlar denir. Çizelge 1.3’de ısıl değerler verilmiştir.

Çizelge 1.3. Çeşitli gazlara ait ısıl değerleri [Balki, 2005]

Yakıt Cinsi	Alt Isıl değeri
Hidrojen	2839 (Kcal/Nm ³)
Havagazı	4717 (Kcal/Nm ³)
Doğalgaz	9790 (Kcal/Nm ³)
Asetilen	13127 (Kcal/Nm ³)
Propan	22447 (Kcal/Nm ³)
Bütan	29089 (Kcal/Nm ³)

1.6. LPG'nin Kokulandırılması

LPG, kaçak ve sızıntı sonucu emniyet açısından zararlı olabilir. Herhangi bir sızıntı durumunda patlayıcı, parlayıcı ve sağlığa zararlı karışım meydana getirmeden fark edilmesi için içerisine koku verici maddeler karıştırılmaktadır [Anonim, 2019 c].

Genel olarak 1 ton LPG içerisine katılan maddeler;

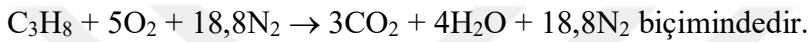
- 21g Etilmerkaptan C₂H₅SH
- 30g Merkaptan C₅H₁₁SH
- 137g Fiyofen C₄H₄S dir.

1.7. LPG'nin Tam ve Teorik Yanma Denklemleri

Yanma süreçlerinde gerekli olan oksijen havadan sağlanmaktadır. Atmosfer havası hacimsel olarak % 20,95 Oksijen, % 78,09 Azot, % 0,03 Karbondioksit ve % 0,93 Argondan meydana gelmektedir. Yanma süreci incelenirken argon ve karbondioksit gazları göz önüne alınmaz ve havanın hacimsel olarak % 21 Oksijen ve % 79 Azot'tan olduğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28,851 g/mol'dür ve içerisinde 1 mol oksijene karşılık 3,76 mol azot bulunmaktadır [Ciniviz, 2001].

Ülkemizde kış aylarında LPG'nin hacimsel olarak % 50 propan / % 50 bütan karışım oranlarındaki yanma denklemi aşağıda verilmiştir.

Propanın yanma eşitliği;



Burada kimyasal olarak doğru oranda (Teorik tam yanma için) hava kullanılmıştır.

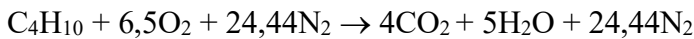
Reaksiyon hava (a) / yakıt (f) mol oranı;

$$a/f = (5 + 18,8)/1 = 23,8/1 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı ise;

$$a/f = (3,32 + 18,8 \times 28)/(3 \times 12 + 8 \times 1) = 15,6/1 \text{ kghava/ kgyakıt olmaktadır.}$$

Bütanın yanma eşitliği;



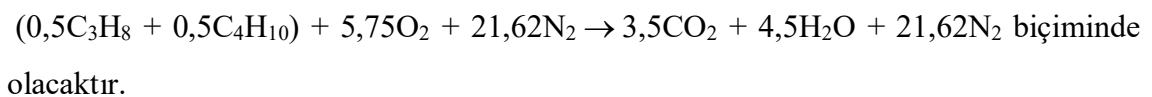
Reaksiyonun hava / Yakıt mol oranı;

$$a/f = (6,5 + 24,44)/1 = 30,94/1 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı ise;

$$a/f = (6,5 \times 32 + 24,44 \times 28)/(4 \times 12 + 10 \times 1) = 15,38/1 \text{ kg hava/ kg yakıt, olmaktadır.}$$

Bu durumda, % 50 propan ve % 50 bütandan oluşan LPG karışımının eşitliği;



Benzer şekilde propan-bütan karışımı için reaksiyon hava/yakıt mol oranı;

$$a/f = (23,8 + 30,94)/2 = 27,37/1 \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

Ağırlık oranı ise;

$a/f = (15.6 + 15.38)/2 = 15.49/1$ kg hava/kg yakıt olarak hesap edilmektedir [Ciniviz, 2001].

% 30 Propan / % 70 Bütan oranlarındaki LPG yakıtının yanma denklemi

$(0,3C_3H_8 + 0,7C_4H_{10}) + 6,05O_2 + 22,748N_2 \rightarrow 3,7CO_2 + 4,7H_2O + 22,748N_2$ biçiminde olacaktır.

Benzer şekilde propan-bütan karışımı için reaksiyon hava/yakıt mol oranı;

$a/f = 23.8 \times 0.3 + 30.94 \times 0.7 = 28.798/1$ kmol hava / kmol yakıt,

Ağırlık oranı ise;

$a/f = (15.6 \times 0.3 + 15.38 \times 0.7) = 15.446/1$ kg hava / kg yakıt olarak hesap edilmektedir.

1.8. LPG Yakıtının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Otomotiv sektöründe taşıtlarda egzoz gaz emisyon sınırlarının sağlanabilmesi için temiz yakıt olarak, LPG, doğalgaz, alkol esaslı yakıtlar, iyileştirilmiş benzin ve hidrojen den bahsedilebilir [Aydın, 2006].

Şehir içerisinde taşıtlarda ortalama; 9 lt benzin 10 lt LPG tüketilmektedir. Günümüzde 10.06.2019 tarihi itibarıyla yaklaşık olarak kurşunsuz benzin 7,2 TL/lt ye, LPG ise 3,3 TL/lt ye satılmaktadır.

- Kurşunsuz benzin $\rightarrow 7,2 * 9/100 = 0,648$ TL/km
- LPG $\rightarrow 3,3 * \frac{10}{100} = 0,33$ TL/km

Fark = 0,318 TL/km

Ekonomik Fayda $\rightarrow 1 - \frac{LPG}{Kurşunsuz Benzin} = 1 - \frac{0,33}{0,648} = 0,491 = \%49,1$

1.9. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları

Taşıtlardan kaynaklanan kirleticiler, azot oksitler (NO_x), kurşun (Pb), karbon monoksit (CO), kükürt (S), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller olarak sıralanabilir. İnsan ve çevre sağlığına zararlı olan bu kirleticiler, egzoz gazlarının hacimsel olarak % 1'ini oluşturmaktadır. Dünyanın en önemli sorunlarından birisi, hava kirliliğinin artması ve küresel ısınmadır. Bu durum için önlemler alınırken, otomotiv sanayisinde de alternatif yakıtlar üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu alternatif yakıtlardan bir tanesi de LPG'dir. Hem benzin hem de motorine göre daha temiz bir yakıt olan LPG, içinde kükürt, kurşun bileşiği, aromatik hidrokarbonlar ve polimerler bulundurmamakta ve karbon birikintisi oluşturmamaktadır [Can, 2009].

1.10. LPG'nin Avantajları

- Daha ucuz bir yakıttır ve daha verimli yanma özelliği bulunmaktadır.
- Yanma odasında daha az artık maddeler meydana gelir.
- Yakıt sistemi kapalıdır. Tamamen kapalı yakıt sistemi olması nedeni ile akıtma ve buharlaşma kayıpları yoktur [Uğurlu, 2008].
- Benzin ve dizel yakıtına göre egzoz emisyonu açısından daha az kirleticidir. LPG içerisinde, kurşun tetra etil bulunmamaktadır. Bu durum LPG kullanılan bir motorun egzoz emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. LPG'nin içeriğinde kükürt olmaması sebebiyle, kükürt oksit(SO₂) emisyonu da söz konusu değildir [Sayın ve ark., 2005].
- LPG'nin daha yüksek bir oktan sayısına sahip olması, detonasyon oluşumunu önlemekte ve motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına imkan vermektedir. Ancak çift yakıtlı (benzin \ LPG) araçlarda sıkıştırma oranı tasarım olarak başlangıçta benzine göre belirlendiğinden dolayı, bu tip araçlarda daha yüksek bir sıkıştırma oranı ancak motor modifikasyonu ile sağlanabilmektedir [Yoong ve Watkins, 2001].

1.11. LPG'nin Dezavantajları

- Basınç altında sıvılaştırılarak depo edildiği için depolanması ve dağıtımını zordur.
- Deponun ağır oluşu, dönüşüm yapılan araçta ek bir ağırlık oluşturur.
- Depodan dolayı taşıtın bagaj hacmi küçülür.
- LPG yakıtına katkı maddesi eklemek mümkün değildir.
- Araç üzerinde dönüşümü ek maliyet getirmektedir [Özertaş, 2014].

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dinler ve Yücel, (2002), Çalışmalarında farklı silindir hacimlerine sahip iki motorda LPG'yi egzoz emisyonları açısından belirlemişlerdir. Her iki motorda da aynı marka LPG dönüşüm kitini monte etmişler ve sabit motor hızında motor yükünü yüksüz ve tam yük arasında değiştirerek deneyleri yapmışlardır. Her iki yakıtta da hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişim gösterdiğini bulmuşlardır.

Soruşbay (2002), Yaptığı çalışmada benzinli motora sahip taşıtların LPG'ye dönüşümünü sağlamış, deneylerini kirletici emisyonlar ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından incelemiştir. Ayrıca fiyat politikaları ve yakıt ekonomisi bakımından da LPG'yi değerlendirmiştir.

Wang et al. (2002), Dört zamanlı, su soğutmalı, 125 cc toplam silindir hacmine sahip bir motosiklet motorunu, LPG yakıt kullanımı için modifiye etmişlerdir. Deneyler sonucunda LPG kullanımında güç çıkışının benzine göre % 5 azaldığını, emisyon karakteristiklerinde ise LPG kullanımında HC ve CO emisyon seviyelerinin önemli ölçüde azaldığı tespit etmişlerdir.

Yamin and Bardan (2002), Çalışmalarında benzinli motora dönüşüm yaparak yakıt olarak LPG'yi kullanmışlar ve sıkıştırma oranı, bujinin yeri, karışım oranı ve farklı hızlardaki yanma süresi parametrelerinin, motorun ısı kayıpları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Isı kayıplarındaki artışın, silindir tepe basıncını ve sıcaklığını azalttığını ve bu yüzden motor gücünün düşmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Mishra and Rahman (2003), çalışmalarında %30 bütan ve %70 propan karışımına sahip LPG ile hava karışımının alevlenme limitleri ile ilgili deneyler yapmışlardır. LPG ile hava karışımının alevlenebileceği en fakir hacimsel karışım oranının %1,81, en zengin hacimsel karışım oranının ise %8,86 olduğunu tespit etmişlerdir.

Sayın ve ark. (2005), çalışmalarında benzin ve çift yakıt (Benzin+LPG) kullanımının motor performans ve emisyonuna etkisini incelemişlerdir. Kütleli olarak LPG yakıtının enerji değerinin benzine karşı daha yüksek olmasına rağmen, motor silindirlerine gaz olarak girmeleri sonucu hacimsel verimin düşmesine sebep olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, LPG'nin %10'dan daha fazla gönderilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Selim (2005), Çalışmasında çift yakıtlı motorlarda gaz yakıtı tipinin motor parametreleri üzerine etkisini incelemiştir. LPG kullanımında metana göre daha fazla yanma gürültüsü meydana geldiğini ve tasarım parametrelerinin motor yanma gürültüsünü etkilediğini belirtmiştir.

Solmaz (2005), 4 silindirli su soğutmalı benzinli bir motoru LPG yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye etmiştir. Çalışmasında, farklı çevre sıcaklıklarında ve motor üzerine modifiye ettiği ısıtma sistemi ile sistem devrede ve devrede değil iken ölçümler yapmıştır. Isıtma sistemi devredeyken çevre sıcaklığı -10°C de motorun 5 sn'lik sürenin sonunda ilk harekete geçtiğini gözlemlemiştir.

Aydın (2006), çalışmasında, üzerinde Lovato marka Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemli cihaz monte edilmiş, MPI yakıt sistemli 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS marka araç üzerinde deneyler yapmıştır. Aracı LPG ve kurşunsuz benzinle çalıştırarak emisyon ve güç değerlerini tespit etmiştir. Deneyler sonucunda performans kaybının olmadığını ve LPG kullanımından % 40 yakıt tasarrufu elde edildiğini tespit etmiştir.

Can (2009), çalışmasında, benzinli bir motorda sıralı yakıt püskürtme sistemi kullanarak LPG dönüşümü yapmıştır. Motorun hava geçiş yolunu ve yakıt enjeksiyon sistemini modifiye edip, motora kademeli dolgu uygulamıştır. Performans deneyleri sonucunda, uygulanan kademeli dolgu sisteminin tüm çalışma koşullarında daha az yakıt tükettiğini, motor performansının ve egzoz emisyonunun da daha iyi olduğu tespit etmiştir.

Kocagöz (2009), Farklı oranlardaki benzin + LPG karışımlarından oluşan yakıtların kullanımında volumetrik verim ve buna bağlı olarak motor performansı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının değişimini incelemiştir. Deney sonuçları; karışım içerisindeki LPG oranının artması ile volumetrik verim de azalma olduğunu göstermiştir. Egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi açısından ise en iyi sonuçların %100 LPG kullanımında elde edildiğini tespit etmiştir.

Özcan (2010), buji ateşlemeli bir motorun matematiksel modelini oluşturarak, LPG ve CNG yakıtlarının kullanımı ile silindir basınç değişimi, indike güç, efektif güç gibi performans parametrelerinin ve egzoz emisyonlarının değişimini belirlemiştir. Deney sonuçlarında maksimum silindir basıncının benzine göre LPG'de ortalama % 4,46 ve CNG'de ise % 7,26'lık bir azalma meydana geldiğini, motor gücünün benzine göre LPG'de % 4,93 ve CNG'de % 7,65 azaldığını, özgül yakıt tüketiminin LPG'de ortalama % 5,88 ve CNG'de ortalama % 17,64 azaldığını tespit etmiştir.

Masi and Gobbato (2012), buji ateşlemeli bir motora çift yakıtla çalıştırılabilme için ikinci bir evaporatör ilave etmişler, LPG ile yapılan çalışmalarda benzin ile yapılan çalışmalara nazaran %4'lük bir güç azalması olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca ikincil olarak kullanılan evaporatör içerisinde gerçekleştirilen aşırı ısıtma işleminin motor performansını açısından olumsuz etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Solak (2013), tek silindirli, direkt püskürtmeli, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda, dizel yakıtı yerine kütleli olarak %30 LPG + %70 Biyodizel içeren yakıt kullanılarak, değişik yük ve farklı püskürtme avansı koşullarında, performans ve emisyonların değişimi araştırmıştır. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda LPG/ Biyodizel çift yakıtla çalışmada, püskürtme avansının artırılmasıyla; efektif verimde artma, yakıt tüketiminde azalma, ÖET de iyileşme, EGS da düşük yüklerde azalma yüksek yüklerde artma, CO, HC ve is emisyonlarında azalma, NO_x emisyonunda ise artma tespit etmiştir.

Öner (2014), çalışmasında, farklı LPG sıcaklığında motor performansının ve çevrimsel farkların nasıl değiştiği araştırmıştır. Özellikle yüksek motor yüklerinde LPG sıcaklığının artmasının motor efektif gücünü yaklaşık %1.90 oranında azalttığını, buna paralel olarak ortalama indike efektif basıncın LPG yakıt sıcaklığının artışı ile yaklaşık olarak %1.92 azaldığını belirlemiştir. LPG sıcaklığı arttığında CO emisyonunda neredeyse bir değişiklik olmadığını, HC emisyonunun artan LPG sıcaklığı ile kısmen arttığını, özellikle 40°C'nin üzerindeki LPG regülatör çıkış sıcaklıklarında CO, HC ve CO₂ emisyonlarında ortaya çıkan değişikliğin çok düşük seviyelerde olduğunu, NO emisyonunun artan LPG sıcaklığı ile önemli seviyede arttığını, bu artışın yaklaşık %7 oranında olduğunu ortaya koymuştur.

Özertaş (2014), çalışmasında dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı bir motorda % 100 LPG, % 2 H₂ + %98 LPG, % 4 H₂ + %96 LPG ve % 6 H₂ + %94 LPG gaz karışımli yakıtlar ile farklı devir ve sabit hava fazlalık katsayılarında deneyler yapmıştır. Sonuç olarak hidrojen miktarı artmasıyla performansın düştüğünü, egzoz emisyonlarında ise CO ve CO₂ iyileşirken, NO_x miktarının arttığını belirlemiştir.

Desrial and Garcia (2018), çalışmalarında tek silindirli 8 HP gücündeki su soğutmalı bir dizel motorda çift yakıtlı dizel + LPG karışımı kullanmışlardır. Motorun emme manifoldunda LPG'nin karışım özelliklerini analiz etmek için CFD kullanarak simülasyon yapmışlardır. Emme giriş havasına LPG'yi %20 ile % 40 arasında vererek performans testi yapmışlardır. En iyi sonucu % 30 LPG + % 70 dizel yakıtı karışımında elde etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Taşıtlarda kullanılan LPG teknolojileri, motorun güç kaybını önlemek ve egzoz emisyon değerlerini yeni normlara uygun hale getirmek için, içten yanmalı motorlardaki gelişmelere paralel olarak sürekli yenilenmektedir. Taşıtlar üzerinde kullanılan günümüzdeki son LPG teknolojisi Sıvı LPG uygulamalarıdır.

Prins'in direkt enjeksiyonlu araçlar için özel olarak ürettiği ve dünyada bir ilki gerçekleştiren otogaz dönüşüm sistemi Direct LiquiMax (DLM) Otogaz Dönüşüm Kiti, güvenilir bir yüksek teknoloji ürünüdür. Sıvı LPG'yi yüksek basınç altında motor silindiri içine enjekte etmek için modifiye edilmiş sistem, benzin sisteminin enjektörlerini bir yüksek basınç yakıt pompası vasıtasıyla kullanır. Sıvı LPG sistemi motorda yer alan mevcut elektronik düzenekler ve bileşenlerden en yüksek düzeyde faydalanır. Araç sürücülerinin yüksek konforlu sürüş keyfi yaşamalarını sağlar. Direct Liquimax (DLM) Otogaz Dönüşüm Kiti'nde; pompa işlemcisi, yakıt geri dönüşüm ünitesi, yakıt modülü, yakıt besleme ünitesi, boost pump, AFC-2 sistem beyni, LPG yakıt tankı ve yakıt anahtarı bulunmaktadır. Sıvı LPG sisteminin eski sistemlerden farkı LPG'yi sıvı olarak püskürterek daha fazla tasarruf ve daha yüksek performans elde ederek, %100 LPG kullanımına olanak tanınmasıdır [Prins, 2019 a].

3.1.1. Taşıt Üzerinde Bulunan Sıvı LPG Sisteminin Ekipmanları

3.1.1.1. Yakıt Modülü

Yakıt modülü LPG'nin sisteme yaklaşık olarak 10 ile 15 bar basınçta gönderilmesini sağlar. Multi valf ve yakıt modülü LPG deposu içerisinde bulunur. Üzerinde seviye ikaz, aşırı akış valfi, check valf, basınç tahliye valfi, geri dönüş sistemi ve seviye ölçüm sistemi bulunmaktadır. Pompa, LPG içerisindeki meydana gelebilecek kirliliğe karşı, süzgeç ve filtre ile entegre edilmiştir. Yakıt modülü, LPG'nin sistemden depoya geri dönüşünde buharlaşmasını önleyerek, bir sonraki çalışmaya sistemi hazırlar [Prins, 2019 a].



Şekil 3.1. Yakıt Modülü [Prins, 2019 b]

3.1.1.2. Pompa İşlemcisi

LPG pompasının devrini ve kontrolünü sağlar. ECU tarafından kontrol edilir. LPG pompasının yaklaşık olarak 10 ile 15 bar basınçta çalışma şartını oluşturur. Hata kodlarını işleyerek, ECU'ya bildirir. Sistemi kuru çalışmaya karşı korur. Voltaj kontrolünü yapar. Pompanın tüm çalışma şartlarındaki değerlerini işler [Prins, 2019 a].



Şekil 3.2. Pompa İşlemcisi [Prins, 2019 b]

3.1.1.3. FSU - Yakıt Besleme Ünitesi

Benzin ve LPG geçişlerinin yapılmasını sağlar. Yakıt anahtarından yapılan isteğe göre elektronik sistemi ECU tarafından kontrol edilir. LPG'nin depoya geri dönüşünde basıncını kontrol ederek, aracın tekrar çalışmasına kolaylık sağlar [Prins, 2019 a].



Şekil 3.3. Yakıt Besleme Ünitesi (FSU) [Prins, 2019 b]

3.1.1.4. FRU - Yakıt Geri Dönüş Ünitesi

LPG tankına LPG yakıtının geri dönüşünü kontrol eder. ECU tarafından kontrol edilir. Araç benzindeyken yakıt geri dönüş ünitesi tamamen kapalıdır. Üzerine Basınç sensörü entegre edilmiştir [Prins, 2019 a].



Şekil 3.4. Yakıt Geri Dönüş Ünitesi (FRU) [Prins, 2019 b]

3.1.1.5. Boost Pump

Sıvı LPG sisteminde kullanılan benzin pompasıdır. Benzin normal şartlarda benzin, deposu 5 bar basınç ile sisteme gönderilir. LPG ise sisteme yaklaşık 10 ile 15 bar ile gönderildiği için Boost pump benzin basıncını 20 bara yükselterek benzine geçişte sistemin çalışmasında sorun olmamasını sağlar. Benzin ile LPG arasındaki geçişlerde benzin basıncının optimum seviyede sabitlenmesini sağlar. ECU tarafından kontrol edilir [Prins, 2019 a].



Şekil 3.5. Boost Pump [Prins, 2019 b]

3.1.1.6. AFC 2 -Elektronik Kontrol Ünitesi

Sistemin beyni AFC-2 (ECU) dur. Parametrelerin işlenmesi, geçiş stratejileri, yakıt enjeksiyonu ve Direct Liquimax (DLM) sisteminin kontrolünü yapar. Yakıt değerlerini kontrol eder. Boost pump, pompa sürücüsü, yakıt geri dönüş ünitesi (FRU), yakıt besleme ünitesi (FSU), LPG göstergesi değerlerini kontrol ve kumanda eder [Prins, 2019 a].



Şekil 3.6. Elektronik Kontrol Ünitesi (AFC -2) [Prins, 2019 b]

3.1.1.7. LPG Yakıt Anahtarı

Manuel yakıt seçim imkanı sağlar. Dokunmatik ve hassastır. Ses ikazları ve LED ışıklarıyla yakıt seviyesini, seçilen yakıt ve uyarıları gösterir [Prins, 2019 a].



Şekil 3.7. Yakıt Anahtarı [Prins, 2019 b]

3.1.1.8. Yakıt Tankı (LPG)

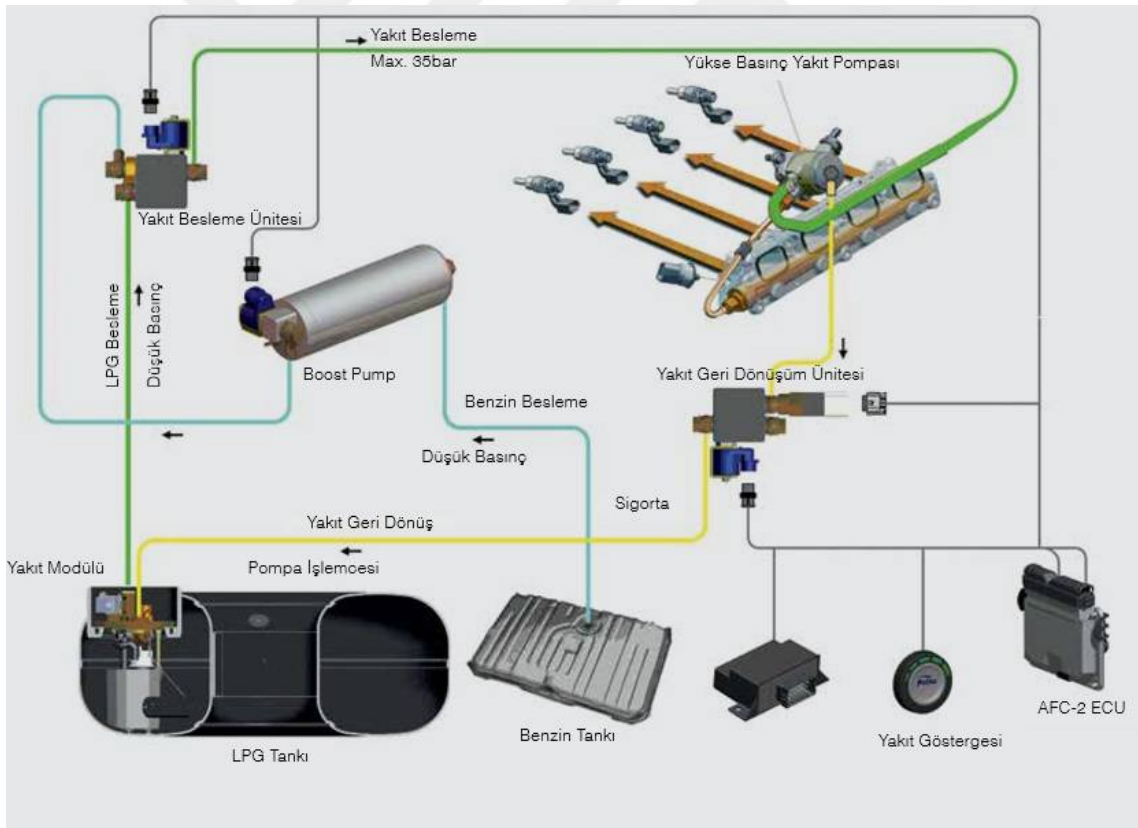
LPG nin depolan masını sağlar. İçerisinde yakıt modülünü bulundurur. Pompa bağlantısı için diğer LPG tanklarına göre daha geniş ağızlı üretilmiştir [Prins, 2019 a].



Şekil 3.8. LPG Deposu [Prins, 2019 b]

3.1.1.9. DLM Sistemi ve Şeması

Sıvı LPG sistemi, taşıtın orijinal benzin enjeksiyonu ile eş değer bir teknolojiye sahiptir. Motorda yer alan mevcut elektronik bileşenlerden maksimum derecede faydalanır. Bu sayede benzin ile LPG arasında sürüş farkı hissedilmez. Benzinli araç performansı ile LPG'li araç performansı birbirine eş değer seviyede olur. Sıvı LPG sisteminde araç ilk çalışmadan itibaren LPG tüketir. Bu nedenle aracı çalıştırmak için dahi benzine ihtiyaç duyulmaz. Bu özellik %100 LPG tüketerek daha çok tasarruf yapılmasını sağlar. Sıvı LPG sistemi direkt enjeksiyonlu araçlarda, yüksek basınç altında silindirin içine sıvı LPG'nin enjekte edilmesi için modifiye edilmiş bir yüksek basınç pompası ile benzin sisteminin yakıt enjektörleri kullanılır. Bu sayede taşıtın emme manifoldu da delinmemiş olur. LPG periyodik bakımı eski sistemlerde 10.000 km'de bir yapılırken, sıvı LPG sisteminin takılı olduğu araçlarda 25.000 km'de bir yapılır. Sistemin devre şeması şekil 3.9' da verilmiştir [Prins, 2019 a].



Şekil 3.9. DLM Sistem Şeması [Prins, 2019 b]

Sıvı LPG sisteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Bu sistem Likit Otogaz Enjeksiyonunu kullanan yenilikçi, patentli en son teknolojidir.
- Benzine göre yakıt tüketim masraflarını yaklaşık olarak %50 ye kadar azaltmaktadır.
- Daha düşük karbondioksit salınımı ile çevreyi korumaya yardımcı olur.
- Motorun yönetimi aracın kendi orijinal ECU'su tarafından yapıldığı için mükemmel sürüş imkânı sağlamaktadır.
- Bu sistemde araç direk LPG ile çalışmaktadır.
- Daha az bakım gerektirmektedir.
- Güç ve performans kaybı bulunmamaktadır.
- Aracın orijinal yakıt parçalarını kullanılmaktadır.
- Otogaz karışımından, ortam sıcaklığından, nem veya rakım farklılıkları gibi harici faktörlerden etkilenmemektedir.
- Sıvı LPG sisteminin tüm parçaları ECE R 67-01 standartlarına göre sertifikalandırılmıştır [Anonim, 2019 d].

3.1.2. Üzerinde Sıvı LPG Montajı Yapılmış Deney Taşıtı

Üzerinde Prins marka sıvı LPG sistemli cihaz monte edilmiş, 2016 model Hyundai Tucson 1.6 turbo direkt enjeksiyon sistemli araç üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney taşıtı Şekil 3.10'da verilmiştir.



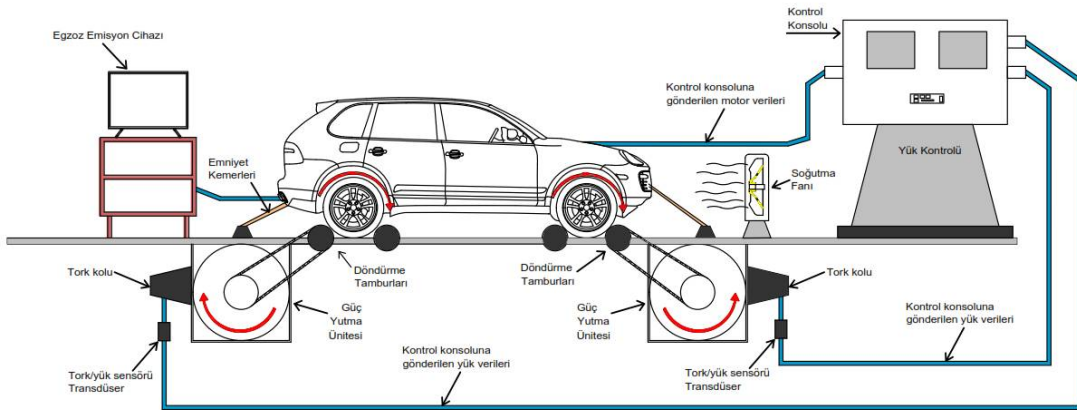
Şekil 3.10. Sıvı LPG Montajı Yapılmış Deney Taşıtı

Deney taşıtının teknik özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney Taşıtı Teknik Özellikleri [Hyundai, 2016]

Markası	Hyundai
Versiyon Adı	Tucson 1.6 T-GDI DCT 4x4
Kategori	SUV
Motor Tipi	Turbo GDI
Enjeksiyon Tipi	Direkt Enjeksiyon
Renk	Kum Beyazı
Motor Hacmi (cc)	1591
Maksimum hız (km/h)	201
Maksimum Güç (HP)	177 / 5500 min ⁻¹
Maksimum Tork (Nm)	265 / 4500 min ⁻¹
Çalışma Prensibi	4 Zamanlı
Silindir Sayısı	4
Supap Sayısı	16 Supap DOHC
Soğutma Sistemi	Su ile Soğutmalı
Şanzıman (Vites Kutusu) Tipi	DCT 7 ileri
Uzunluk (mm)	4480
Genişlik (mm)	1850
Yükseklik (mm)	1660
Dingil Mesafesi (mm)	2670
Bagaj Hacmi (lt)	513
Jantlar - Ön ve arka	7.5 Jx19
Lastikler - Ön ve arka	245/45R19
Ön Süspansiyon	Bağımsız Mac Pherson Tip, Helezon Yaylar ve Denge Çubuğu
Arka Süspansiyon	Çok nokta bağlantılı helezon yayalar ve denge çubuğu
Amortisörler	Gazlı Tip Teleskopik Amortisörler
Ön ve arka fren	Disk / Disk (ABS + EBD)
Yedek Lastik	Alan Kazanımlı Yarım Boy

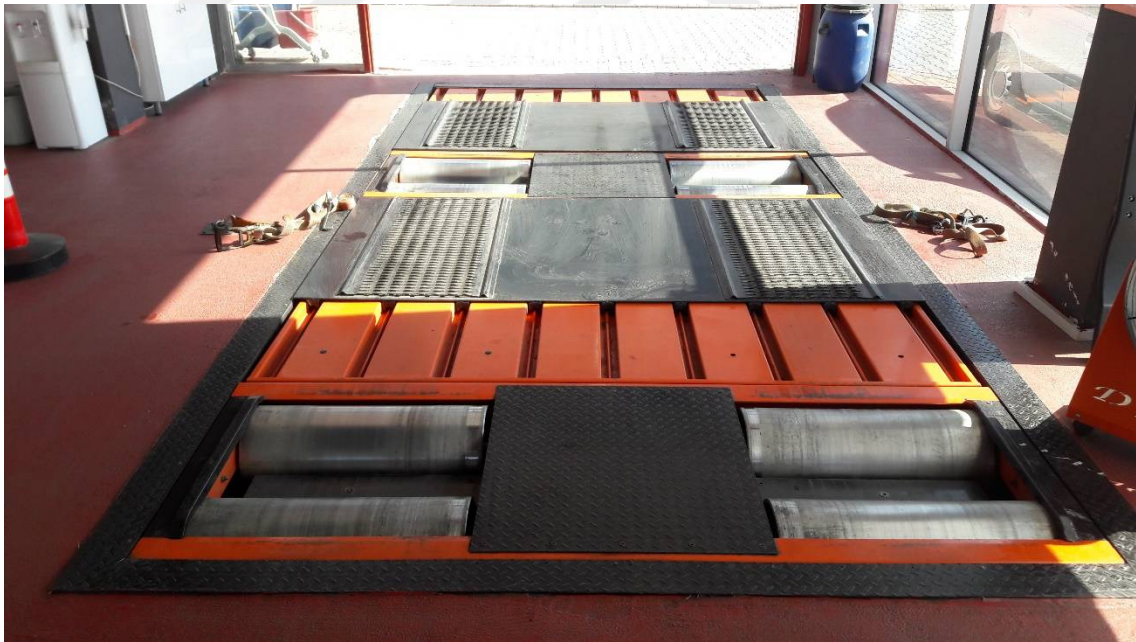
Deney düzeneği şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Deney Düzeneği

3.1.3. Deneylerde Kullanılan Dinamometre

Deneylerde, Şekil 3.12’de gösterilen DYNOBİL XR 4WD-600 marka taşıt dinamometresi kullanılmıştır. Kullanılan taşıt dinamometresi tekerlekteki ve motordaki gücü, tekerlekteki ve motordaki torku, devir, hız, çekiş gücü, hız göstergesi testi ve yol simülasyon ölçümleri yapabilmektedir.



Şekil 3.12. Taşıt Dinamometresi [Dynobil, 2019]

3.1.4. Deneylerde Kullanılan Egzoz Emisyon Cihazı

Deneylerde kullanılan egzoz emisyon cihazı Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13. Egzoz Emisyon Cihazı [Bilsa, 2019]

Çizelge 3.2. Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri [Bilsa, 2019]

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO (%)	0 - % 10	% 0,001
CO ₂ (%)	0 - % 20	% 0,001
HC (ppm)	0 – 10000	1 ppm
O ₂ (%)	0 - % 25	% 0,01
CO Corr. (%)	0 - % 10	% 0,001
Lambda	0,5 - 2	0,001
AFR	5 - 30	
Motor Yağ Isısı	0 – 150 °C	1 °C
Devir (rpm)	0 – 9990 d/d	10 d/d
Opasite (pusluluk derecesi)	% 0 - 100	% 0,1
K (Karartma katsayısı)	0-9,99	0,01m ⁻¹
Çalışma ortam sıcaklığı	0 °C ...+ 40 °C	% 0,01
Algılama süresi	< 5 sn	
Ölçüm odası sıcaklığı	70 – 100 °C	
Besleme Voltajı ve Frekansı	220 V AC / 50 Hz	

3.1.5. Deneylerde Kullanılan Soğutucu

Deney sırasında aracın soğutulması için aracın önüne soğutma ünitesi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.14. Soğutma Ünitesi

3.1.6. Deneylerde Kullanılan Egzoz Havalandırma Sistemi

Otomatik hortum sarma makarası 180 °C ile 650 °C ısıya dayanıklı özel bir yanmaz hortumdur. Deney sırasında aracın egzozuna takılarak, araç egzozundan çıkan zehirli gazların dış ortama atılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.15. Egzoz Havalandırma sistemi

3.2. Metot

Taşıt deneylerinde yakıt olarak kurşunsuz benzin ve LPG yakıtı kullanılmıştır. Üzerinde Prins marka sıvı LPG sistem cihaz monte edilmiş, dört zamanlı, dört silindirli, direk enjeksiyon sistemli, turbo benzinli bir motora sahip olan 2016 model 4x4 Hyundai Tucson 1.6 TGDI marka taşıt, dinamometre üzerinde kullanılarak, değişik vites aralıklarında ve hızlarda taşıt tekerlek güç değerleri ölçülmüştür. Egzoz emisyon cihazı ile CO, CO₂, HC, O₂ ve lambda (λ) değerleri ölçülmüştür. Deneylerde, güç parametreleri DIN 70200 standartlarına, Egzoz emisyon değerleri ise TS ISO 3930 standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Deneyler üçer kez tekrarlanarak elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması grafiklerin çiziminde kullanılmıştır. Ölçülen değerlerle taşıtın karakteristik eğrileri çizilmiştir. Motor yağlama yağı olarak motor kataloğunda belirtilen CASTROL 5W-30 tam sentetik motor yağı kullanılmıştır. Çalışma aşağıdaki ana başlıklar altında gerçekleşmiştir;

- Sıvı LPG montajı yapılmış Euro 6 emisyon standardını sağlayan benzinli bir taşıtın temini,
- Aracın güvenli bir şekilde şasi dinamometresine bağlanması,
- Aracın benzin ile alıştırma testlerinin yapılması,
- Aracın benzin ile güç ve egzoz emisyon testlerinin yapılması,
- Aracın LPG ile güç ve egzoz emisyon testlerinin yapılması.

3.2.1. Tahrik Kuvveti

Motor, tekerlere güç aktarma organları ile bağlı olduğundan her motor devri belli bir taşıt hızını karşılar. Tahrik kuvveti motor momenti ile orantılı olduğundan tahrik kuvvetinin taşıt hızı ile değişimi motor devrinin motor momenti ile değişimine bağlıdır. Tekerlek tahrik kuvvetine etki eden diğer parametreler diferansiyel dişli oranı, vites kutusu dişli oranı ve dirençlerdir [Örs, 2007].

Tekerlek tahrik kuvveti formül 3.1’de gösterilmiştir.

$$F_w = \frac{M_e \cdot \dot{I}_o}{r_w} \eta_{tr} \quad (3.1)$$

F_w : Tekerlek tahrik kuvveti (N)

M_e : Motor Momenti (Nm)

\dot{I}_o : Toplam Transmisyon oranı

η_{tr} : Transmisyon verimi

r_w : Tekerlek yarıçapı (m)

3.2.2. Tahrik Gücü

Tekerlek gücüne taşıt hızı ve tahrik kuvveti olmak üzere iki faktör etki eder. Tekerlek kuvveti maksimum olduğu an tekerlek gücü maksimumdur. Taşıt hızlandıkça tekerlek kuvvetinin düşmesine rağmen tekerlek gücü artar. Ancak belirli bir devirden sonra taşıt hızındaki artış tekerlek tahrik gücündeki düşmeyi karşılayamayacağından ve motor gücündeki düşüşten dolayı tekerlek gücünde azalmaya başlar [Örs, 2007].

Tekerlek tahrik gücü formül 3.2’de gösterilmiştir.

$$P_w = \frac{F_w \cdot V}{3600} \quad (3.2)$$

P_w : Tekerlek tahrik gücü (kW)

F_w : Tekerlek tahrik kuvveti (N)

V : Taşıt hızı (km/h)

3.2.3. Egzoz Emisyonları

Motorlu taşıtlar; egzoz emisyonu, yakıt - yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma - paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla çevreyi kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan CO, HC, NO_x ve partikül maddelerdir. Bunlardan NO_x ve partikül maddeler daha çok dizel taşıtlardan kaynaklanmaktadır [Örs, 2007].

Yanma ürünleri arasında CO emisyonu bulunmasının temel nedeni yanma odasındaki oksijenin yetersiz olmasıdır. CO emisyonu eksik yanma sonucu olduğundan büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Ancak reaksiyon hızlarının düşük olması nedeniyle fakir karışımlarda CO'nun CO₂'ye dönüşümü tam olarak gerçekleşmez [Topgül, 2006].

Renksiz ve yanmayan bir gaz olan CO₂, karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmasıyla ortaya çıkar. Bu nedenle CO₂ egzoz emisyonları için önemli bir parametredir [Köse 2012].

Egzoz gazları içerisindeki HC bulunması yakıtın tam olarak yakılmadığını gösterir. Hidrokarbon oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda (HFK 1' den küçük yani zengin karışım) yanmanın tamamlanamamasıdır [Ergeneman ve ark., 1998].

Oksijen miktarı içten yanmalı motorlarda yanmanın gerçekleştirilmesi için önemli bir parametredir. Oksijen miktarının fazla olması hava yakıt oranını önemli ölçüde etkilemektedir [Aydın, 2014].

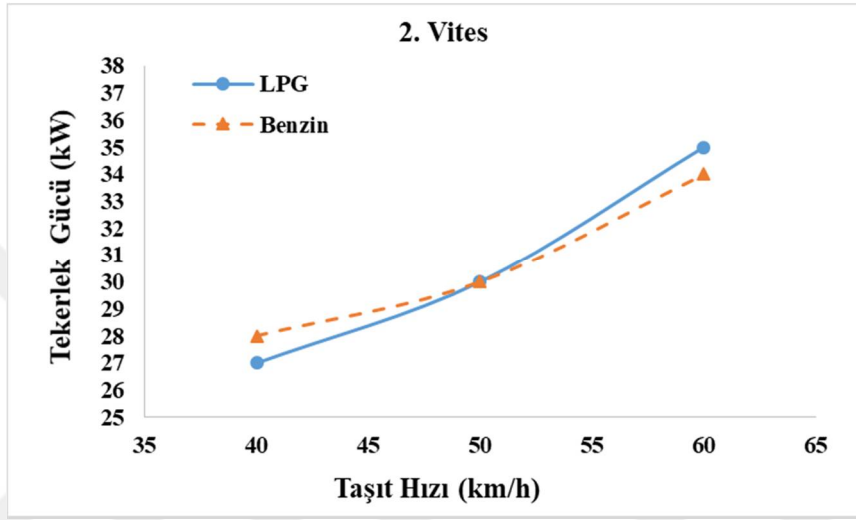
Deneylerin tekerlek tahrik gücü ölçümleri esnasında, anlık taşıt hızı ve vites durumunda CO, CO₂, HC, O₂ ve Lambda (λ) ölçümleri yapılmıştır. Egzoz emisyon cihazının, ölçüm alma probu taşıtın egzoz borusuna yerleştirilerek, her bir yakıt ve vites durumu için, tekerlek tahrik gücü değerlerinin alındığı taşıt hızındaki emisyon değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Taşıt Performans Deneş Sonuçları

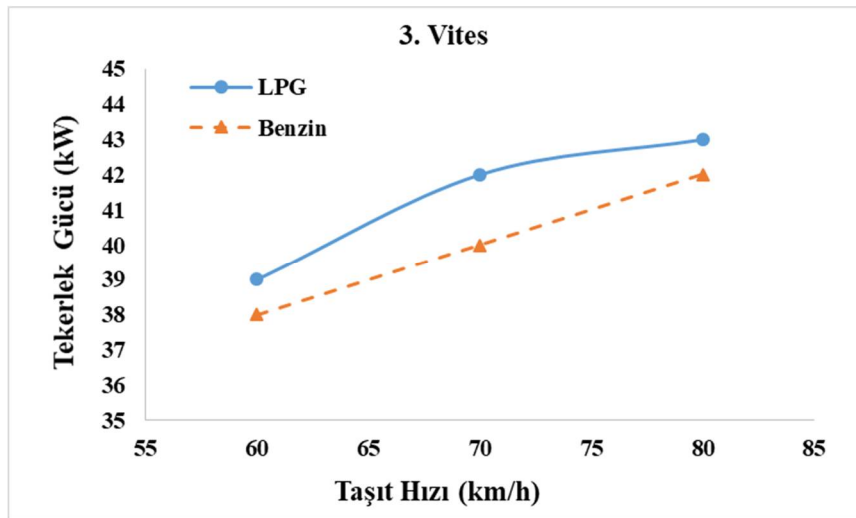
4.1.1. Tekerlek Tahrik Gücü

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 2. vites tekerlek güç değeri şekil 4.1'de verilmiştir. Maksimum güç 60 km/h hızda LPG yakıtında 35 kW olarak ölçülmüştür. Benzin yakıtı ile karşılaştırıldığında % 2,94 artış görülmektedir.



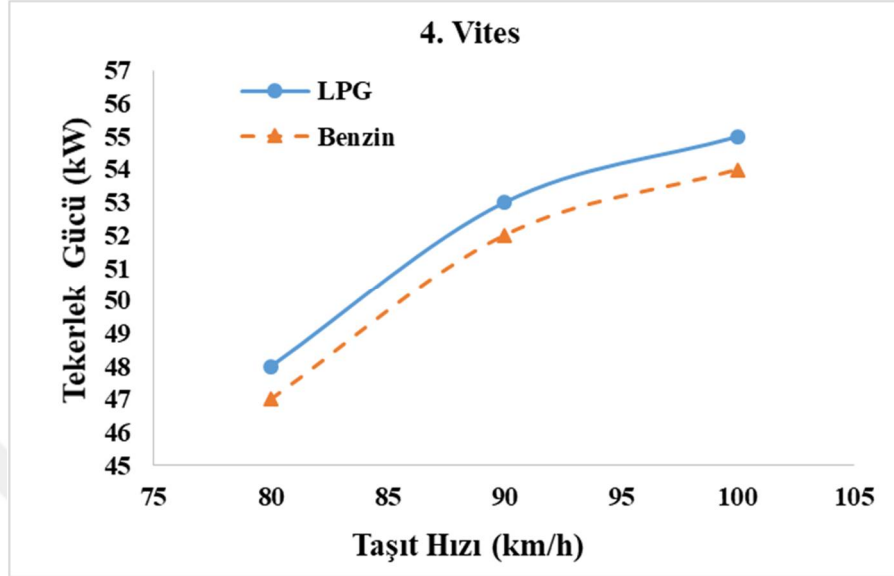
Şekil 4.1. Farklı taşıt hızlarında 2. vites tekerlek güç değeri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites tekerlek güç değeri Şekil 4.2'de verilmiştir. Maksimum güç 80 km/h hızda LPG yakıtında 43 kW olarak ölçülmüştür. Benzin yakıtı ile karşılaştırıldığında % 2,38 artış görülmektedir.



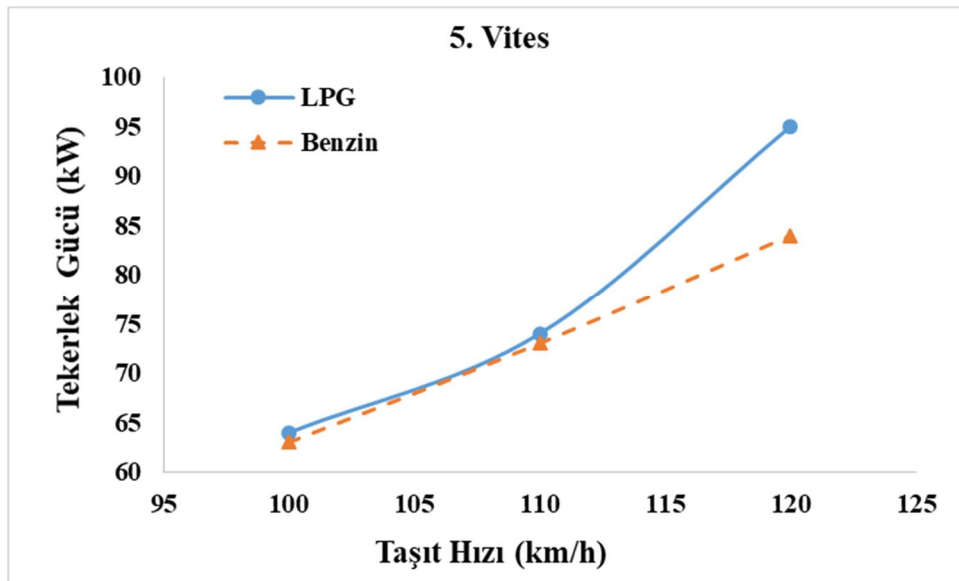
Şekil 4.2. Farklı taşıt hızlarında 3. vites tekerlek güç değeri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Maksimum güç 100 km/h hızda LPG yakıtında 55 kW olarak ölçülmüştür. Benzin yakıtı ile karşılaştırıldığında % 1,85 artış görülmektedir.



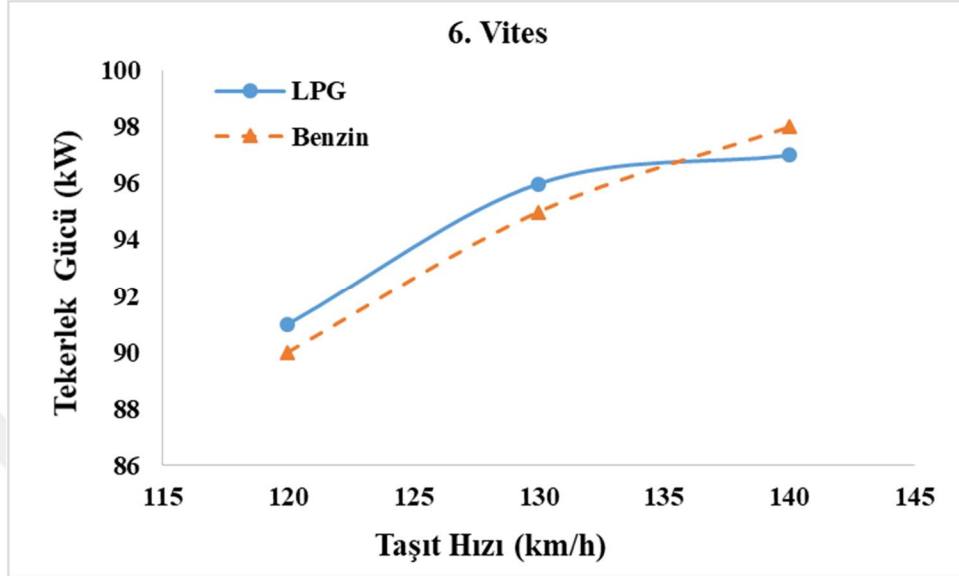
Şekil 4.3. Farklı taşıt hızlarında 4. vites tekerlek güç değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir. Maksimum güç 120 km/h hızda LPG yakıtında 95 kW olarak ölçülmüştür. Benzin yakıtı ile karşılaştırıldığında % 13 artış görülmektedir.



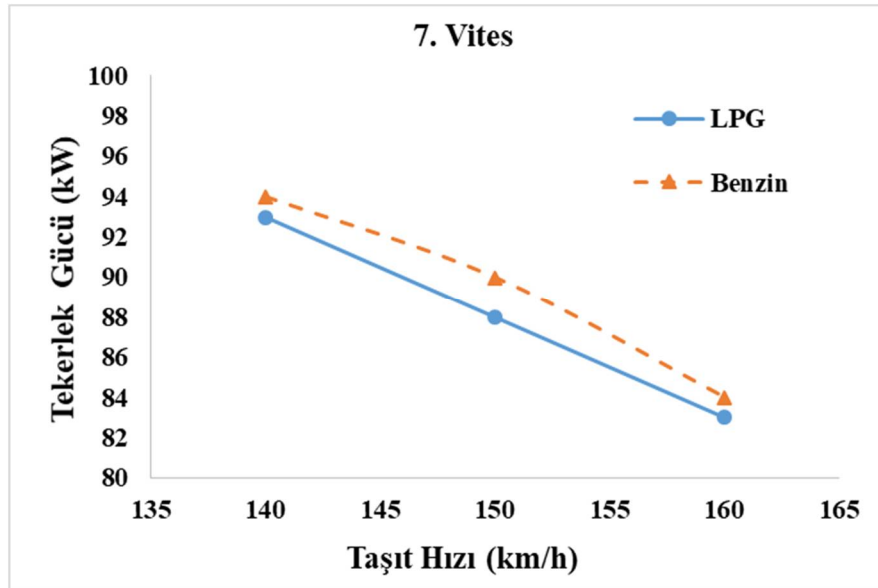
Şekil 4.4. Farklı taşıt hızlarında 5. vites tekerlek güç değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Maksimum güç 140 km/h hızda Benzin yakıtında 98 kW olarak ölçülmüştür. LPG yakıtı ile karşılaştırıldığında % 1,03 artış görülmektedir.



Şekil 4.5. Farklı taşıt hızlarında 6. vites tekerlek güç değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 7. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Maksimum güç 140 km/h hızda Benzin yakıtında 94 kW olarak ölçülmüştür. LPG yakıtı ile karşılaştırıldığında % 1,07 artış görülmektedir.



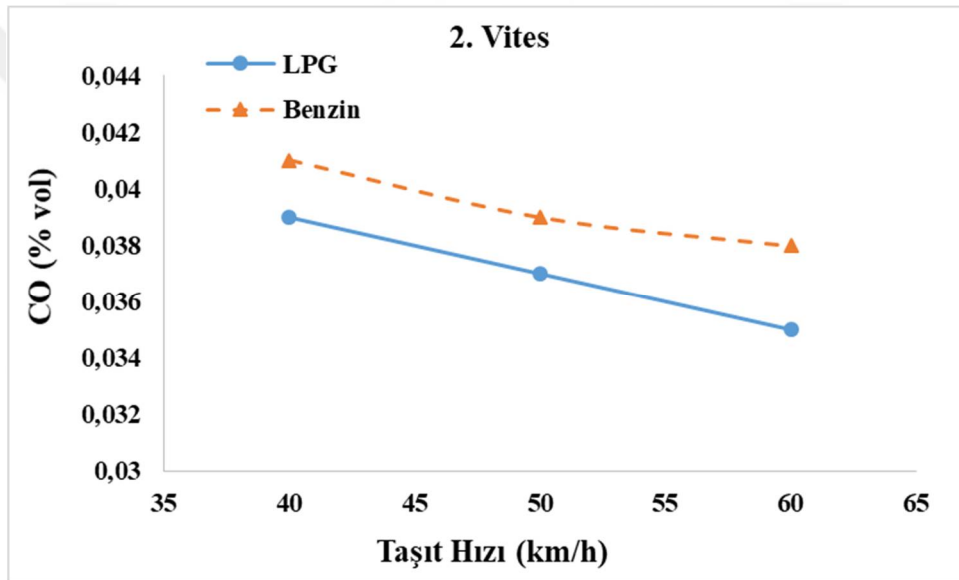
Şekil 4.6. Farklı taşıt hızlarında 7. vites tekerlek güç değerleri

4.2. Taşıt Egzoz Emisyon Deney Sonuçları

Egzoz emisyonları karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbon (HC), oksijen (O₂) ve lambda (λ) olmak üzere beş başlıkta incelenmiştir.

4.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonu

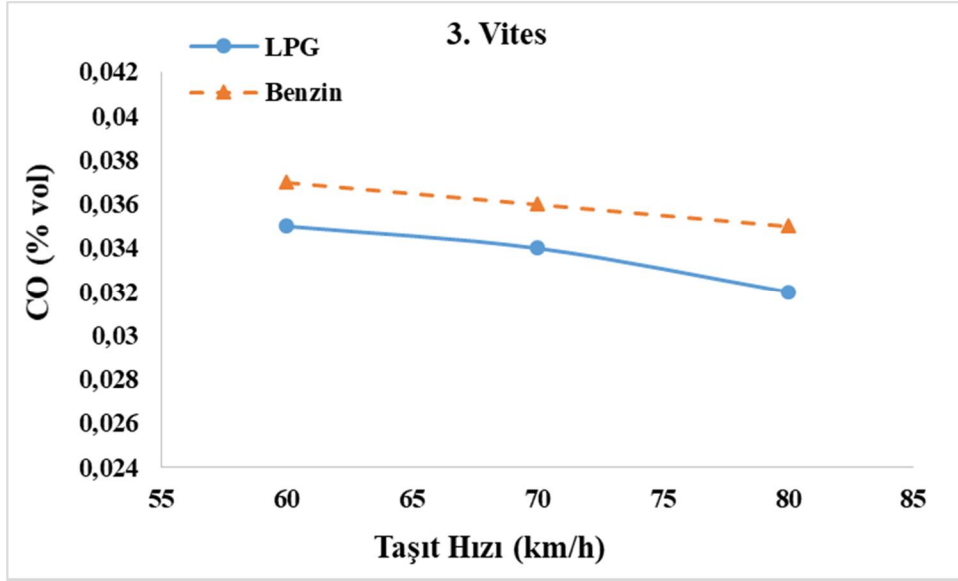
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 2. vites durumunda karbonmonoksit (CO) değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 60 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbonmonoksit (CO) emisyon değerine göre % 8,57 artış meydana geldiği görülmektedir.



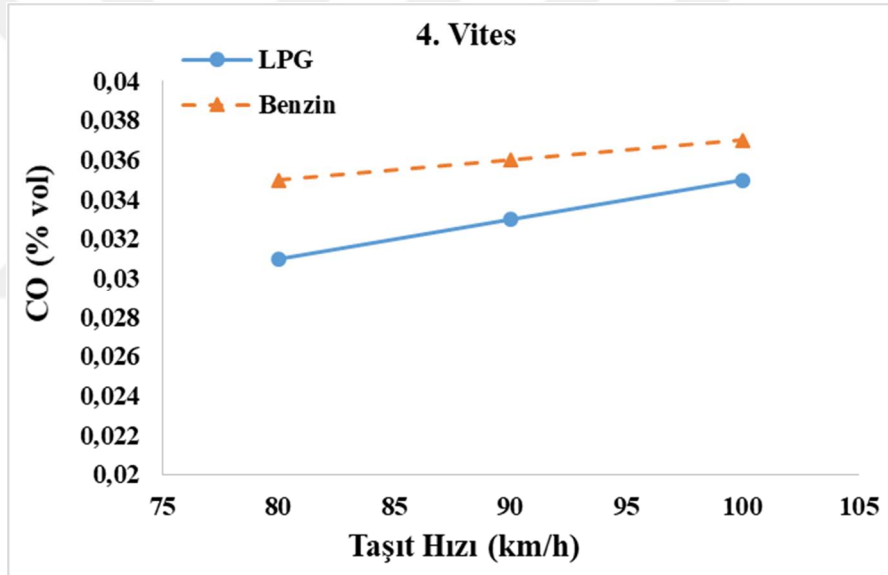
Şekil 4.7. Farklı taşıt hızlarında 2. vites CO emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda karbonmonoksit (CO) değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 80 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbonmonoksit (CO) emisyon değerine göre % 9,37 artış meydana geldiği görülmektedir.

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda karbonmonoksit (CO) değerleri Şekil 4.9’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbonmonoksit (CO) emisyon değerine göre % 5,71 artış meydana geldiği görülmektedir.

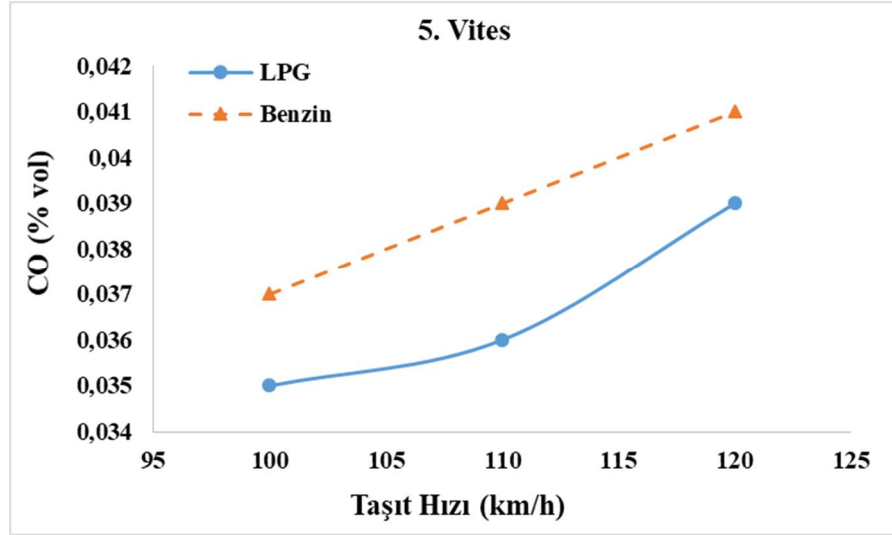


Şekil 4.8. Farklı taşıt hızlarında 3. vites CO emisyon değerleri



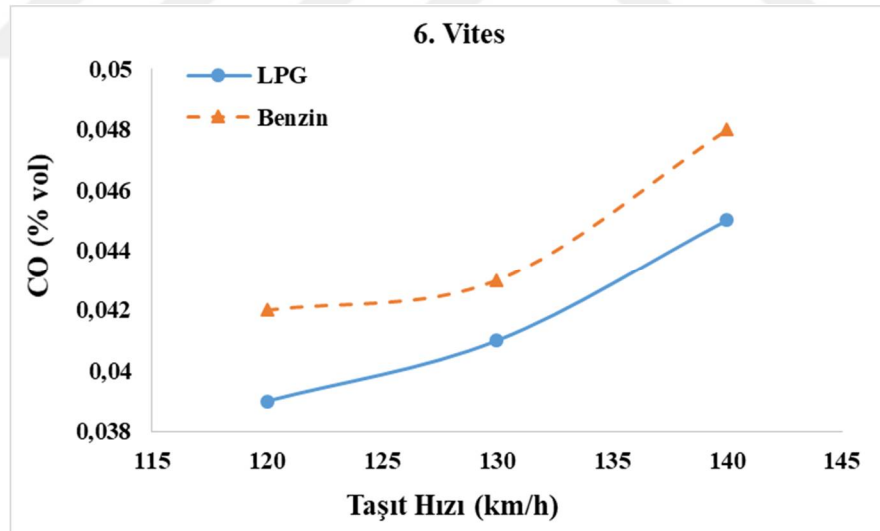
Şekil 4.9. Farklı taşıt hızlarında 4. vites CO emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda karbonmonoksit (CO) değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbonmonoksit (CO) emisyon değerine göre % 5,12 artış meydana geldiği görülmektedir.



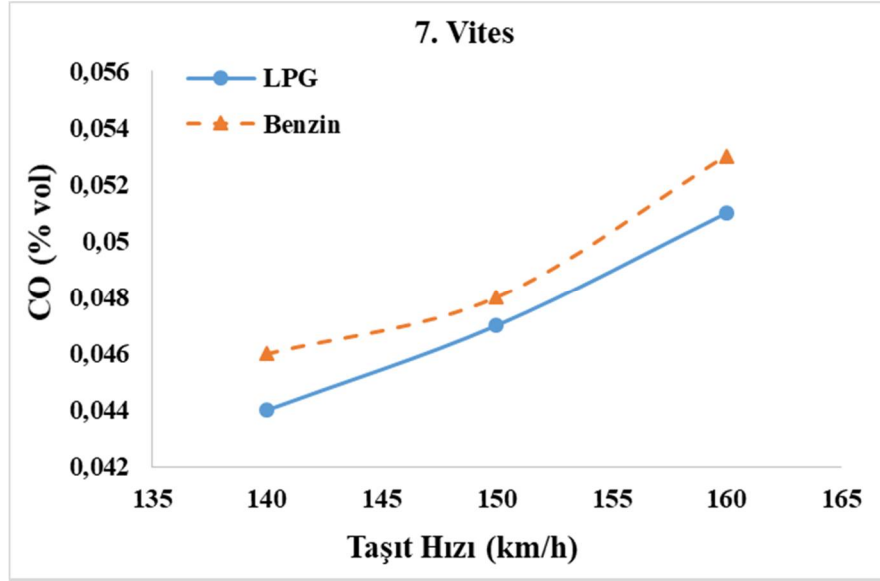
Şekil 4.10. Farklı taşıt hızlarında 5. vites CO emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda karbonmonoksit (CO) değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbonmonoksit (CO) emisyon değerine göre % 6,66 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.11. Farklı taşıt hızlarında 6. vites CO emisyon değerleri

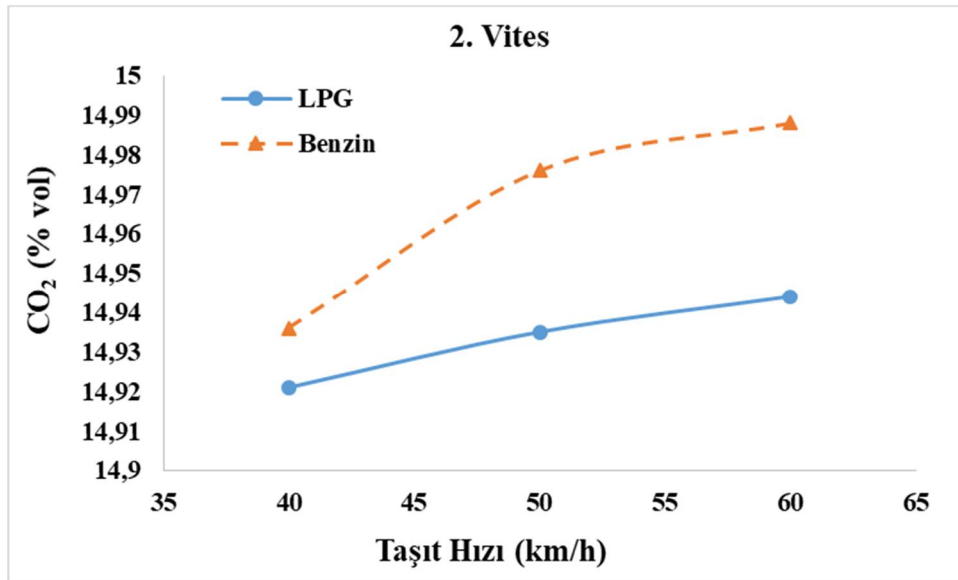
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 7. vites durumunda karbonmonoksit (CO) değerleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbonmonoksit (CO) emisyon değerine göre % 4,54 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı taşıt hızlarında 7. vites CO emisyon değerleri

4.2.2. Karbon Dioksit (CO₂) Emisyonu

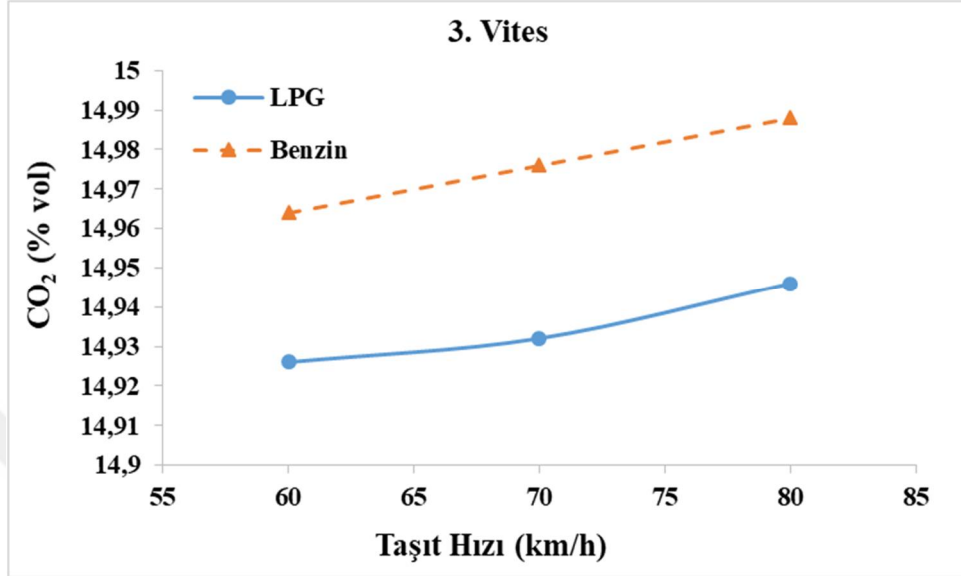
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 2. vites durumunda karbondioksit (CO₂) değerleri Şekil 4.13'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 60 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbondioksit (CO₂) emisyon değerine göre % 0,29 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.13. Farklı taşıt hızlarında 2. vites CO₂ emisyon değerleri

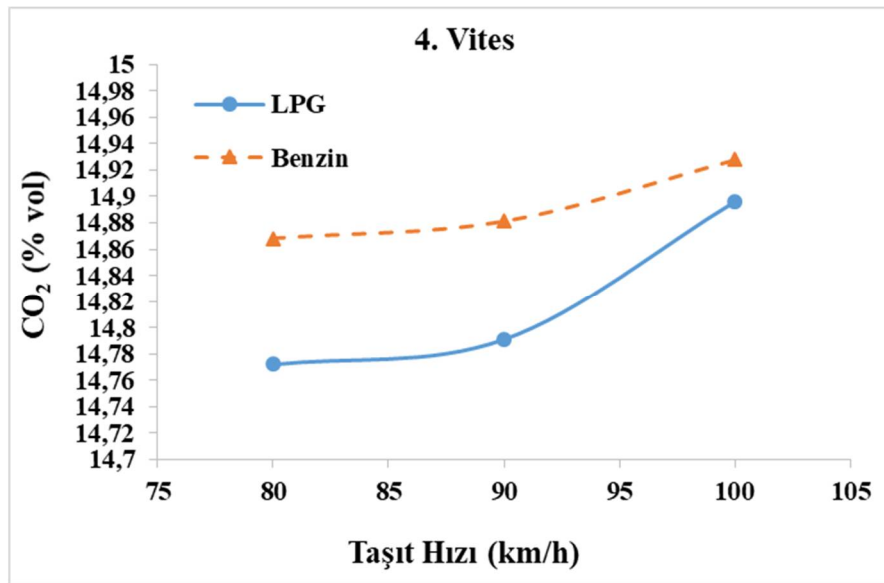
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda karbondioksit (CO₂) değerleri Şekil 4.14'de verilmiştir.

Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 80 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbondioksit (CO₂) emisyon değerine göre % 0,28 artış meydana geldiği görülmektedir.



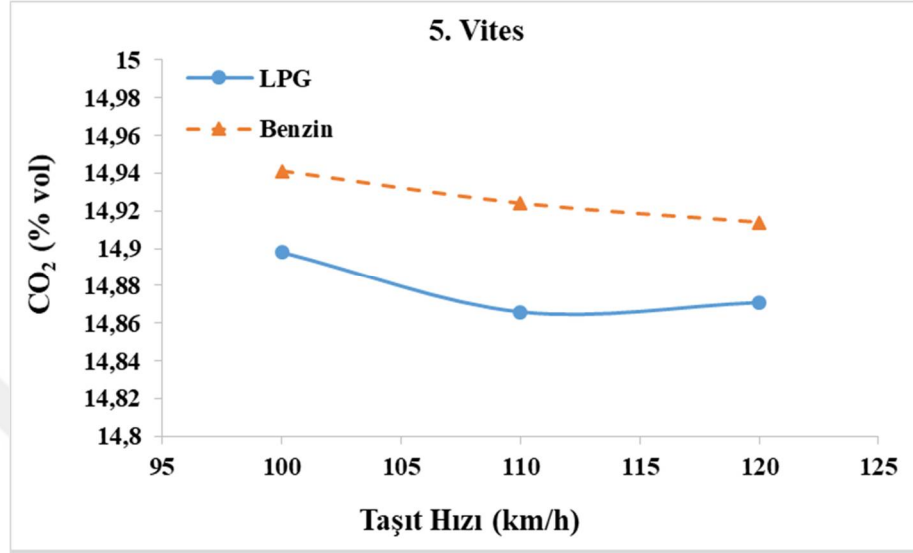
Şekil 4.14. Farklı taşıt hızlarında 3. vites CO₂ emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda karbondioksit (CO₂) değerleri Şekil 4.15’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbondioksit (CO₂) emisyon değerine göre % 0,21 artış meydana geldiği görülmektedir.



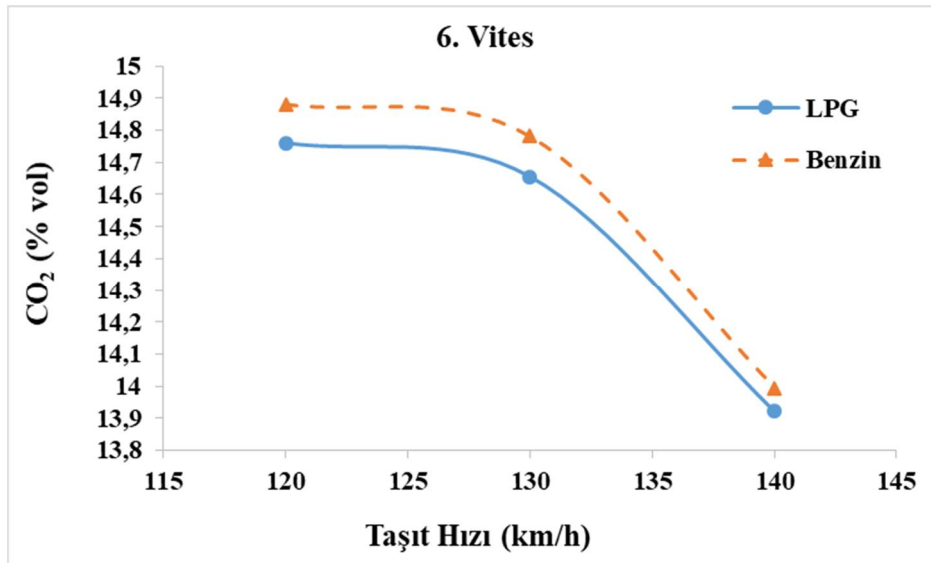
Şekil 4.15. Farklı taşıt hızlarında 4. vites CO₂ emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda karbondioksit (CO_2) değerleri Şekil 4.16’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbondioksit (CO_2) emisyon değerine göre % 0,28 artış meydana geldiği görülmektedir.



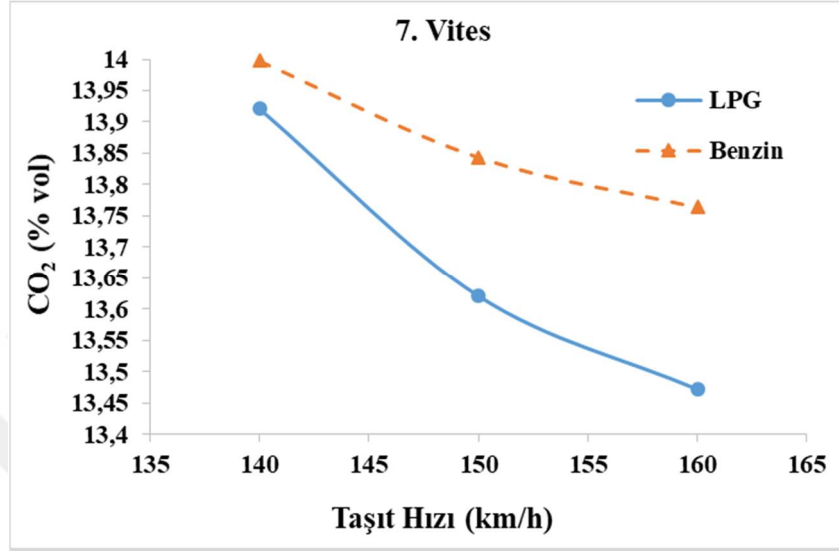
Şekil 4.16. Farklı taşıt hızlarında 5. vites CO_2 emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda karbondioksit (CO_2) değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbondioksit (CO_2) emisyon değerine göre % 0,51 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.17. Farklı taşıt hızlarında 6. vites CO_2 emisyon değerleri

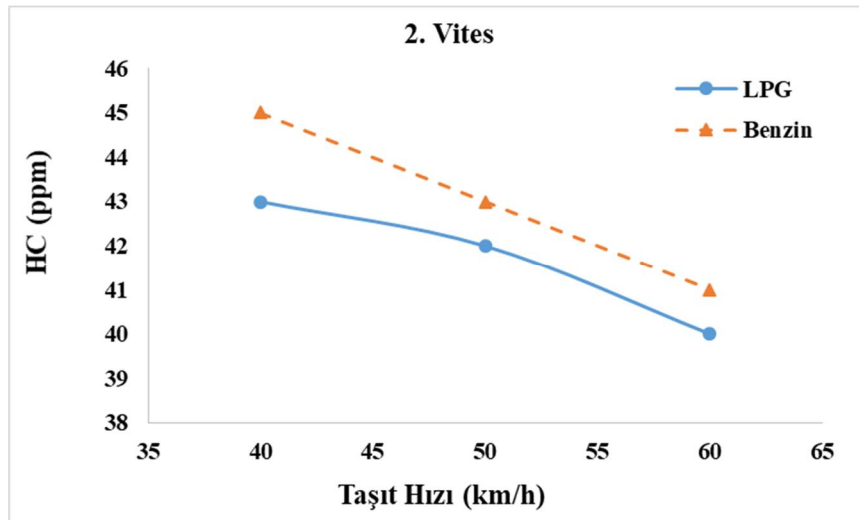
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 7. vites durumunda karbondioksit (CO_2) değerleri Şekil 4.18’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu karbondioksit (CO_2) emisyon değerine göre % 0,55 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.18. Farklı taşıt hızlarında 7. vites CO_2 emisyon değerleri

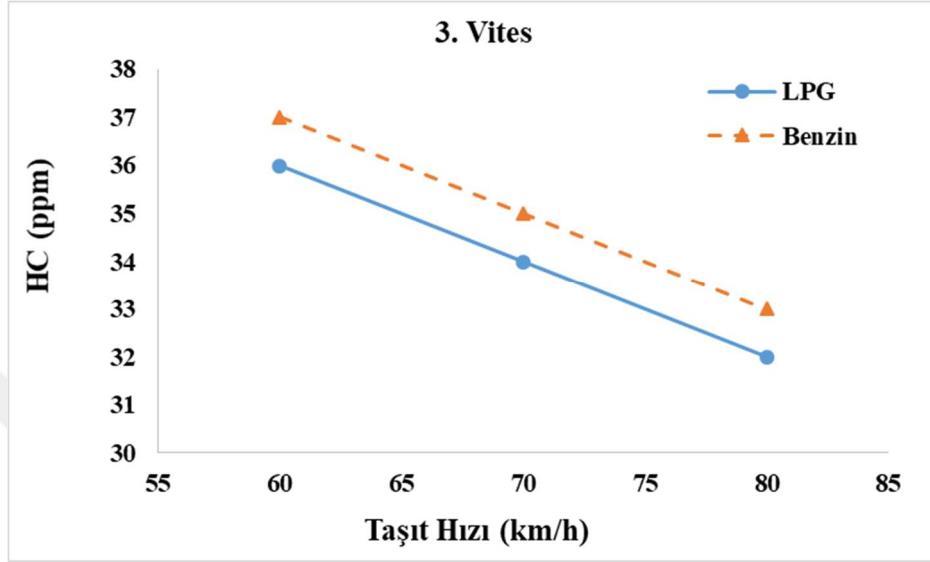
4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 2. vites durumunda hidrokarbon (HC) değerleri Şekil 4.19’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 60 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu hidrokarbon (HC) emisyon değerine göre % 2,5 artış meydana geldiği görülmektedir.



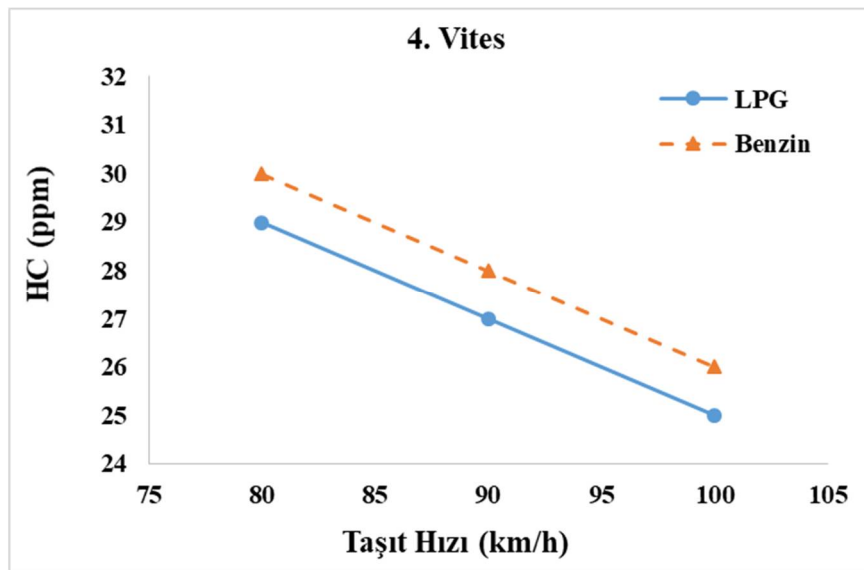
Şekil 4.19. Farklı taşıt hızlarında 2. vites HC emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda hidrokarbon (HC) değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 80 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu hidrokarbon (HC) emisyon değerine göre % 3,12 artış meydana geldiği görülmektedir.



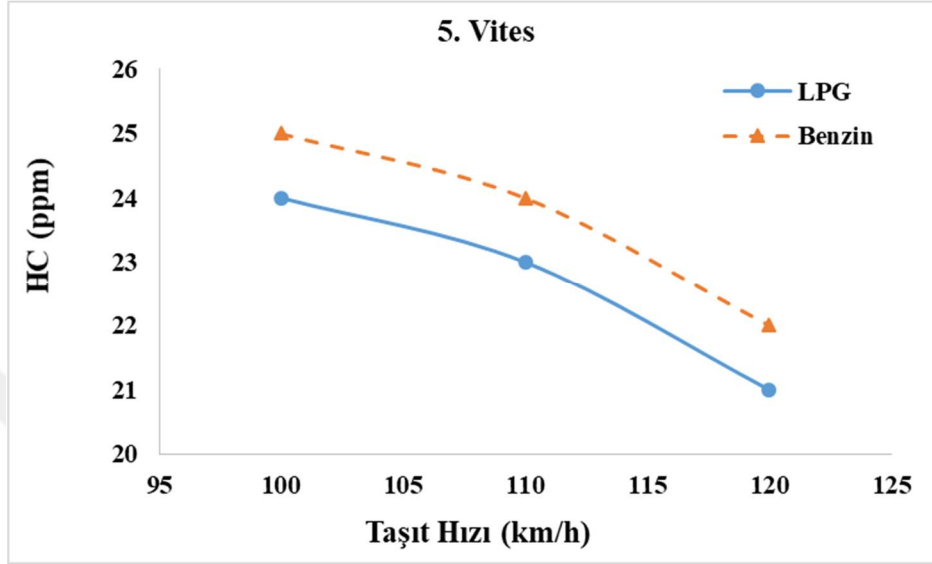
Şekil 4.20. Farklı taşıt hızlarında 3. vites HC emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda hidrokarbon (HC) değerleri Şekil 4.21’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu hidrokarbon (HC) emisyon değerine göre % 4 artış meydana geldiği görülmektedir.



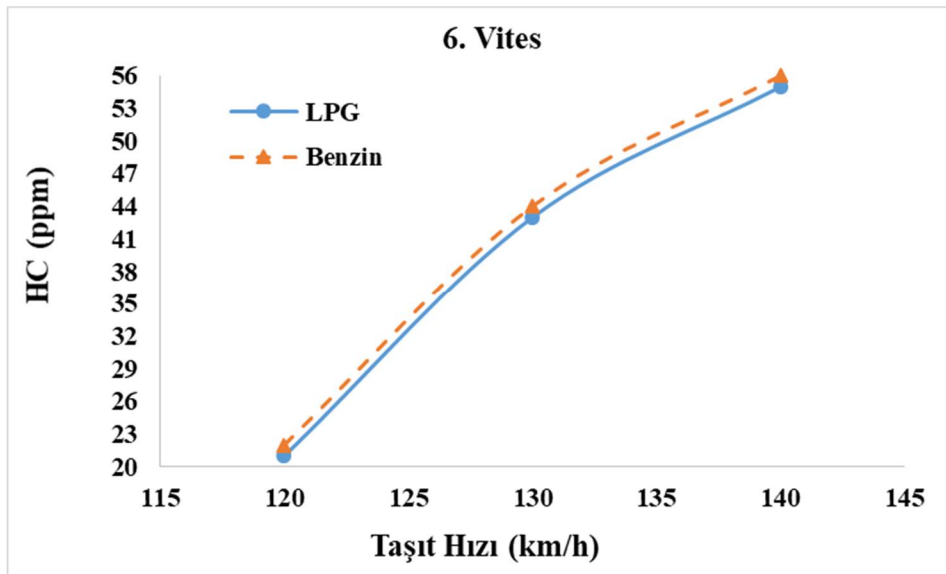
Şekil 4.21. Farklı taşıt hızlarında 4. vites HC emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda hidrokarbon (HC) değerleri Şekil 4.22’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu hidrokarbon (HC) emisyon değerine göre % 4,76 artış meydana geldiği görülmektedir.



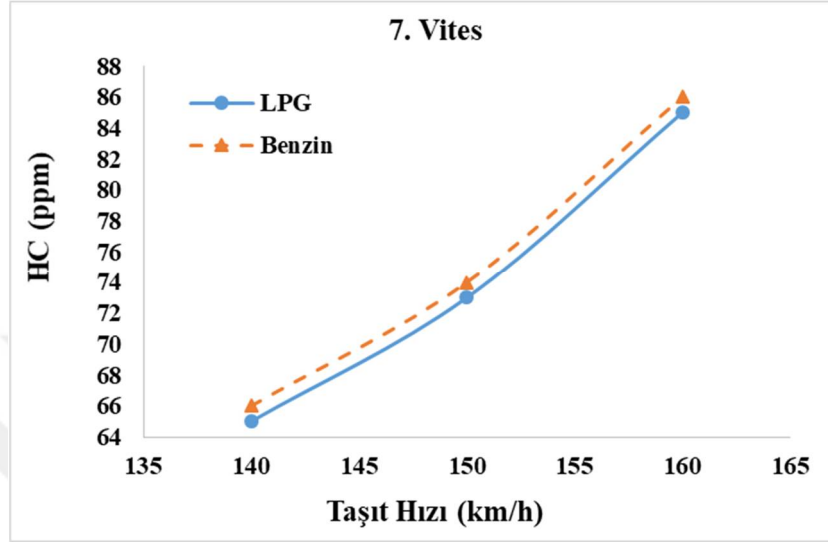
Şekil 4.22. Farklı taşıt hızlarında 5. vites HC emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda hidrokarbon (HC) değerleri Şekil 4.23’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu hidrokarbon (HC) emisyon değerine göre % 1,81 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.23. Farklı taşıt hızlarında 6. vites HC emisyon değerleri

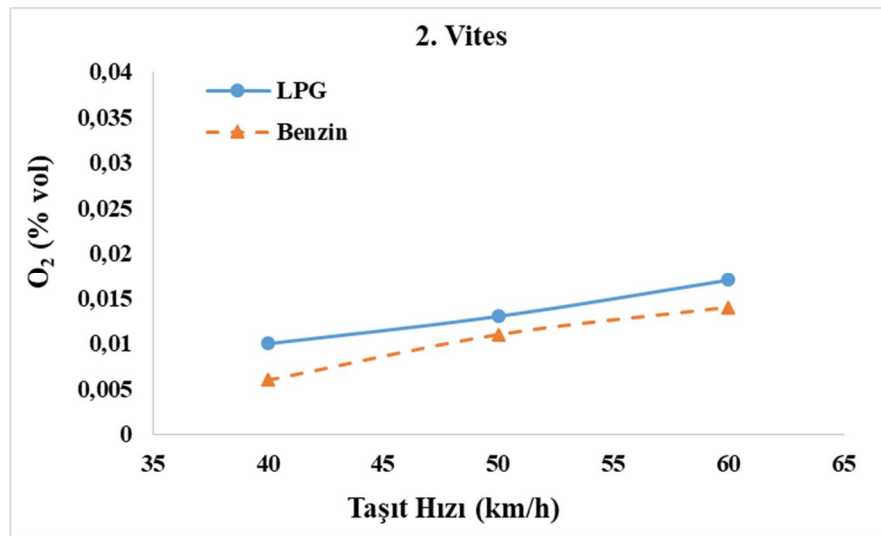
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 7. vites durumunda hidrokarbon (HC) değerleri Şekil 4.24’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu hidrokarbon (HC) emisyon değerine göre % 1,53 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.24. Farklı taşıt hızlarında 7. vites HC emisyon değerleri

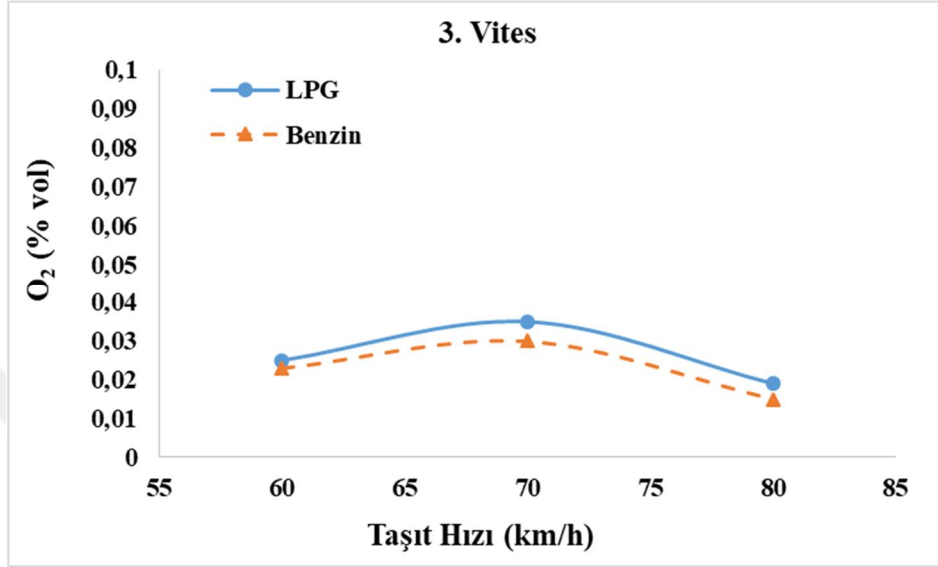
4.2.4. Oksijen (O₂) Emisyonu

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 2. vites durumunda oksijen (O₂) değerleri Şekil 4.25’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 60 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen (O₂) emisyon değerine göre % 21,42 artış meydana geldiği görülmektedir.



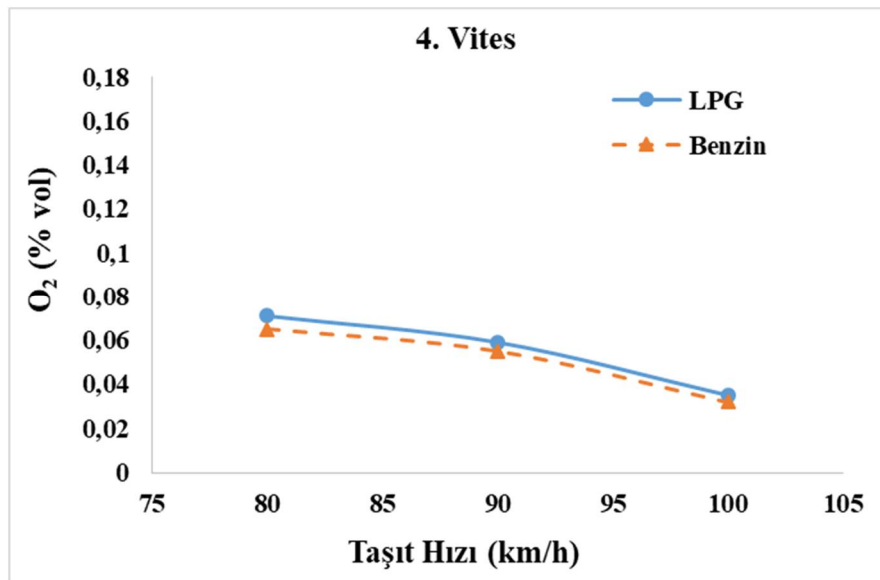
Şekil 4.25. Farklı taşıt hızlarında 2. vites O₂ emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda oksijen (O_2) değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 80 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen (O_2) emisyon değerine göre % 26,6 artış meydana geldiği görülmektedir.



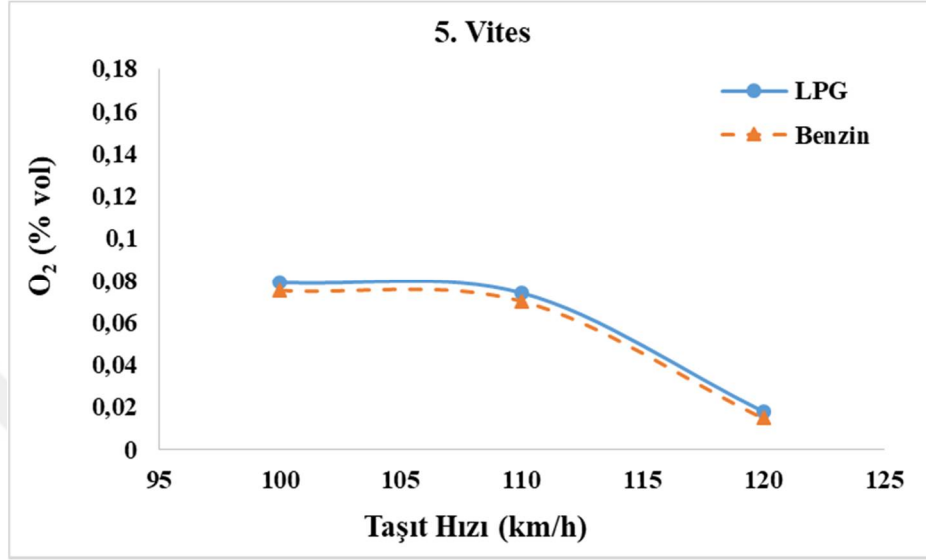
Şekil 4.26. Farklı taşıt hızlarında 3. vites O_2 emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda oksijen (O_2) değerleri Şekil 4.27'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen (O_2) emisyon değerine göre % 9,37 artış meydana geldiği görülmektedir.



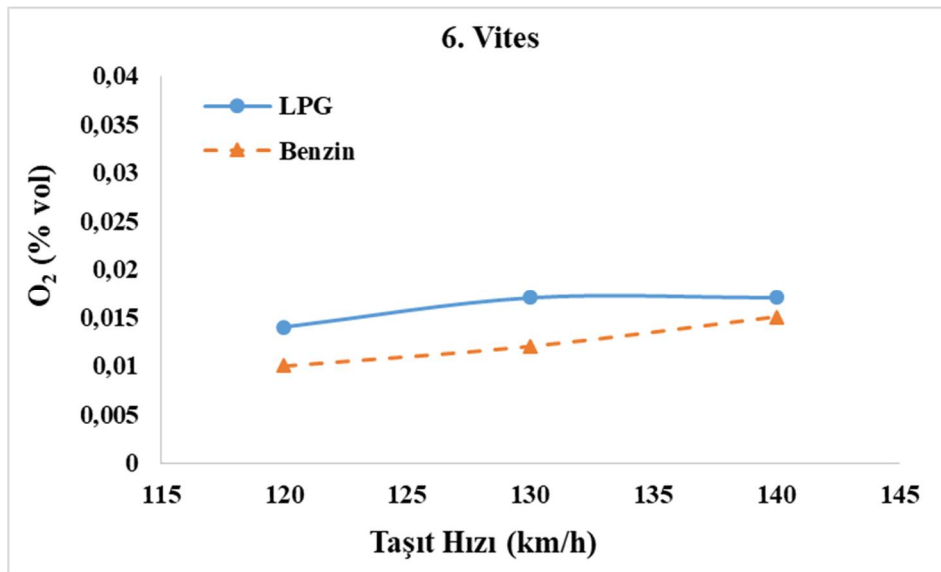
Şekil 4.27. Farklı taşıt hızlarında 4. vites O_2 emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda oksijen (O_2) değerleri Şekil 4.28’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen (O_2) emisyon değerine göre % 20 artış meydana geldiği görülmektedir.



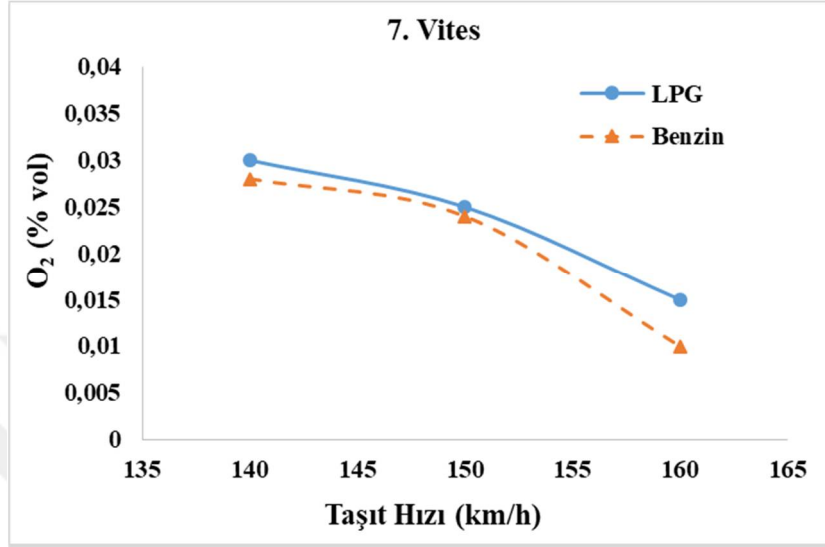
Şekil 4.28. Farklı taşıt hızlarında 5. vites O_2 emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda oksijen (O_2) değerleri Şekil 4.29’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen (O_2) emisyon değerine göre % 13,3 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.29. Farklı taşıt hızlarında 6. vites O_2 emisyon değerleri

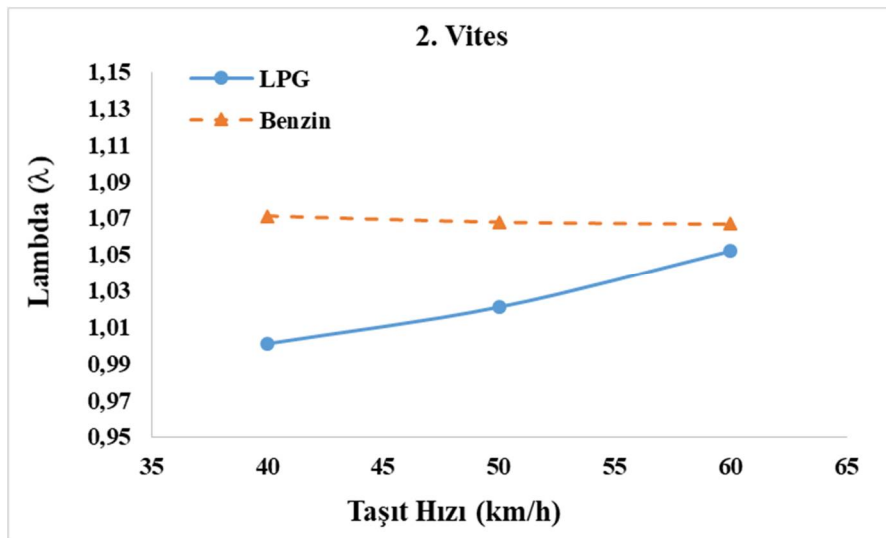
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 7. vites durumunda oksijen (O_2) değerleri Şekil 4.30'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen (O_2) emisyon değerine göre % 7,4 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.30. Farklı taşıt hızlarında 7. vites O_2 emisyon değerleri

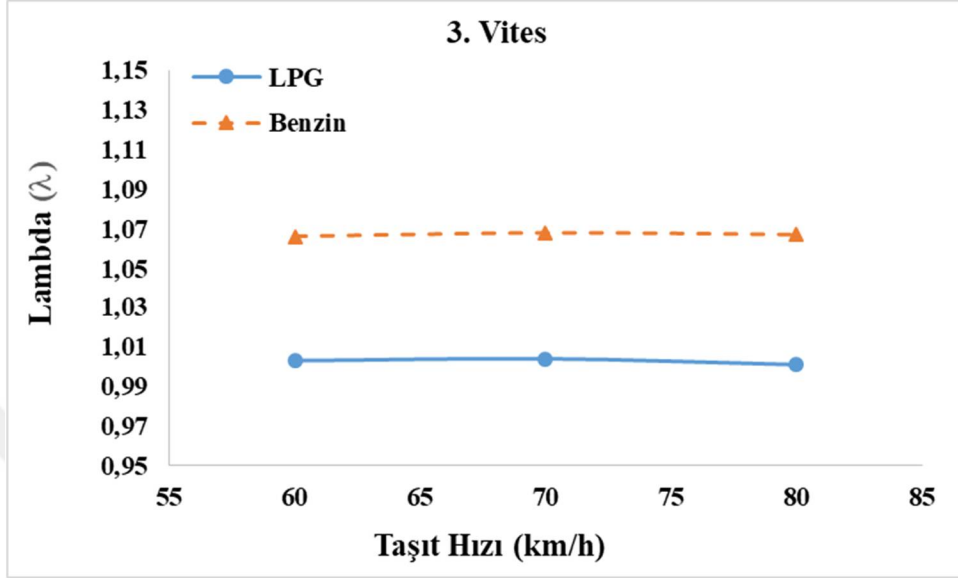
4.2.5. Lambda (λ) Değeri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 2. vites durumunda lambda (λ) değerleri Şekil 4.31'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 60 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu lambda (λ) değerine göre % 1,42 artış meydana geldiği görülmektedir.



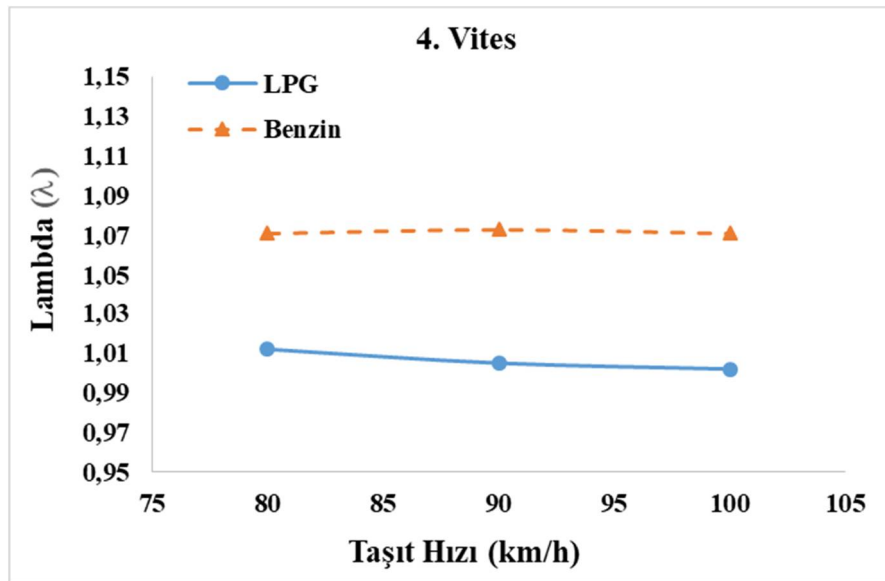
Şekil 4.31. Farklı taşıt hızlarında 2. vites Lambda (λ) değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda lambda (λ) değerleri Şekil 4.32’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 80 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu lambda (λ) değerine göre % 6,59 artış meydana geldiği görülmektedir.



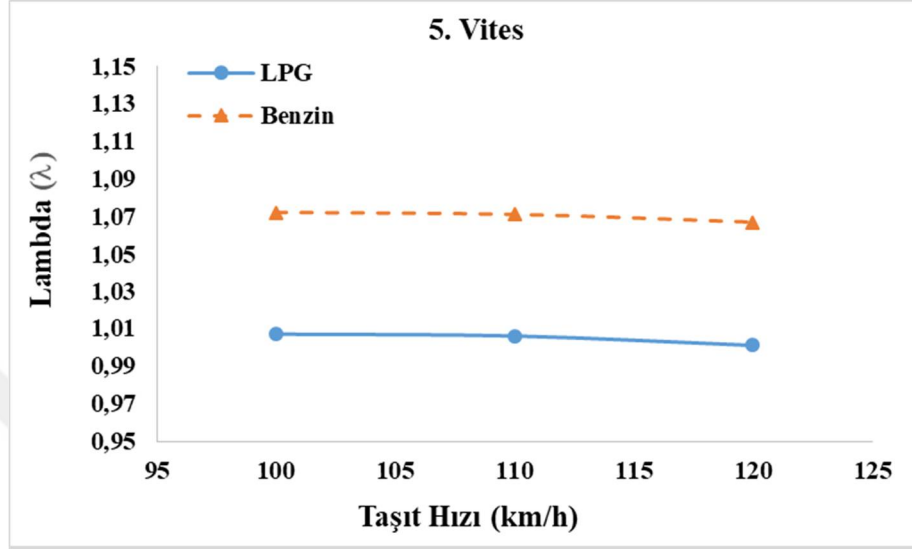
Şekil 4.32. Farklı taşıt hızlarında 3. vites Lambda (λ) değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda lambda (λ) değerleri Şekil 4.33’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu lambda (λ) değerine göre % 6,88 artış meydana geldiği görülmektedir.



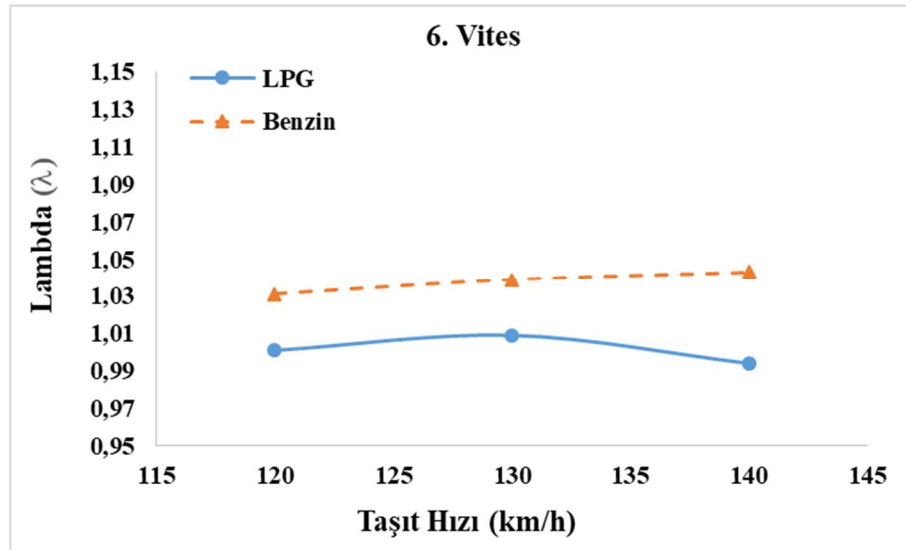
Şekil 4.33. Farklı taşıt hızlarında 4. vites Lambda (λ) değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda lambda (λ) değerleri Şekil 4.34’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu lambda (λ) değerine göre % 6,59 artış meydana geldiği görülmektedir.



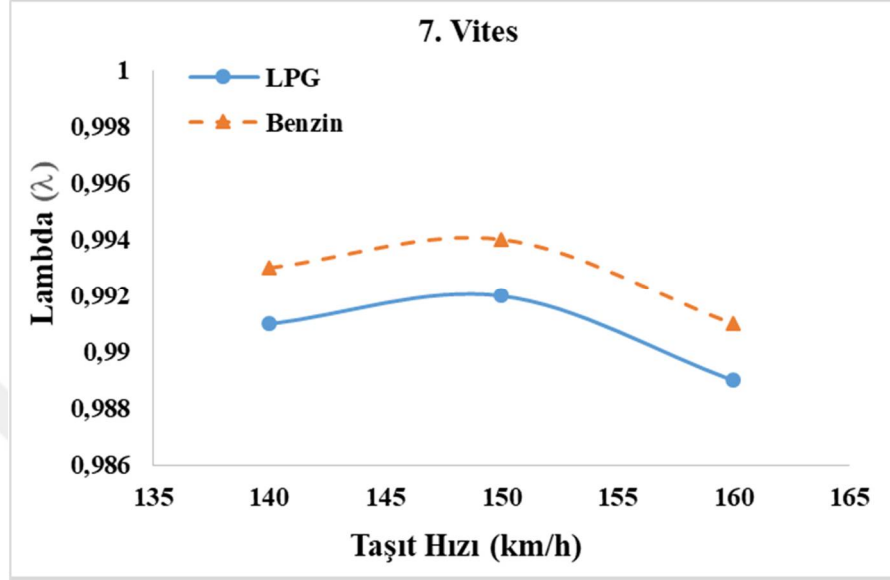
Şekil 4.34. Farklı taşıt hızlarında 5. vites Lambda (λ) değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda lambda (λ) değerleri Şekil 4.35’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu lambda (λ) değerine göre % 4,92 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.35. Farklı taşıt hızlarında 6. vites Lambda (λ) değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 7. vites durumunda lambda (λ) değerleri Şekil 4.36'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 140 km/h hızda Benzin yakıt modunda çalışma durumunda LPG yakıt modu lambda (λ) değerine göre % 0,20 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.36. Farklı taşıt hızlarında 7. vites Lambda (λ) değerleri

Taşıt deneylerinde elde edilen güç ve egzoz emisyonları karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbon (HC), oksijen (O₂) ve lambda (λ) miktarları incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Balki (2005) ve Özcan (2010) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, günümüzde kullanılmakta olan LPG sistemlerinin, benzin motorları üzerindeki uygulamaları, taşıt gücü ve egzoz emisyonları yönünden benzine göre farkları araştırılmıştır. LPG sistemlerinin geldiği son noktadaki direk enjeksiyonlu benzinli motorlarda kullanılan sıvı LPG sistemi incelenerek, sistem tanıtılmış, üzerinde Prins marka sıvı LPG sistemli cihaz monte edilmiş, 2016 model Hyundai Tucson 1.6 TGDI marka direkt enjeksiyonlu benzinli turbo bir araç ile deneyler yapılarak, egzoz emisyonu ve taşıt güç değerleri tespit edilmiştir. Taşıtlar üzerinde kullanılan günümüzdeki son LPG teknolojisi Sıvı LPG uygulamalarıdır.

Taşıt deneylerinde yakıt olarak kurşunsuz benzin ve LPG yakıtı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yakıtlar piyasadan BP petrol firmasından temin edilmiştir. Deneyler, DYNOBIL XR 4WD-600 marka taşıt dinamometresi üzerinde kullanılarak, değişik vites aralıklarında ve hızlarda taşıt güç değerleri ölçülmüştür.

BİLSA MOD 2210 marka egzoz emisyon cihazı ile de CO, CO₂, HC, O₂ ve lambda (λ) değerleri ölçülmüştür. Deneylerde, güç parametreleri DIN 70200 standartlarına, Egzoz emisyon değerleri ise TS ISO 3930 standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Deneyler üçer kez tekrarlanarak elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması yazılmıştır. Ölçülen değerlerle taşıtın karakteristik eğrileri çizilmiştir. Taşıt üzerinde motor yağlama yağı olarak motor katalogunda belirtilen CASTROL 5W-30 tam sentetik motor yağı kullanılmıştır.

Güç değerleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre güç kaybı olmadığı aksine bir miktar artış da olduğu görülmektedir. Bunun sebebi LPG yakıtı sıvı olarak benzin enjektörlerini kullanarak çalıştığı için kayıplar minimum seviyededir ve ayrıca Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi LPG yakıtını oluşturan propan ve bütan bileşimlerinin oktan sayıları ve ısıl değerleri benzine göre daha yüksektir. 5. Vites kademesine kadar artış durumunda olan taşıt tekerlek güç değerlerinin daha sonra azalmaya başlamaktadır. Bunun sebebi belirli bir hızdan sonra motor içerisinde meydana gelen pompalama ve sürtünme kayıplarındaki artıştan dolayı yakıt enerjisinin bu kayıplara harcanması ile taşıt hızında artış olsa bile güçte azalma meydana gelmiştir.

Egzoz emisyon değerleri incelendiğinde, egzoz gazları içindeki karbonmonoksit (CO) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha az meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi, LPG nin hava ile homojen bir şekilde

karışarak verimli ve temiz yanmasıdır. Karbonmonoksit (CO) oluşumu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına bağlıdır.

Karbondioksit (CO₂) emisyonlarının sera etkisiyle küresel ısınmaya neden olması, karbondioksit emisyonlarının oluşumunu sağlayan karbon atomlarının kullanılan yakıt içerisinde olmaması veya düşük oranda olması istenmektedir. LPG yakıtındaki karbon oranı benzine göre daha düşüktür (Benzin: C₈H₁₈, LPG : %30 Propan C₃H₈ + %70 Bütan C₄H₁₀). Egzoz gazları içindeki karbondioksit (CO₂) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha az meydana geldiği görülmektedir. Benzin modunda karbondioksit (CO₂) değerinin yüksek çıkması, Benzinin hava fazlalık katsayısının LPG'ye göre fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Egzoz gazları içindeki hidrokarbon (HC) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha az meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi fakir karışımlarda da yanma kötüleştiğinden veya eksik yanma sonucu yanmamış HC emisyonları hızlı bir şekilde arttığından dolayı, Benzin modunda çalışmada LPG moduna göre daha fakir karışım oranlarında çalışmakta ve bu durum lambda değerlerinden görülmektedir.

Egzoz gazları içindeki oksijen (O₂) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha fazla meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi benzin yakıtına göre LPG yakıtının yoğunluk değerinin düşük olmasıdır. LPG yakıtının yoğunluğunun benzine göre düşük olması, yanma odasında daha fazla yer kaplamasından ve giren hava miktarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Egzoz gazları içindeki lambda (λ) değerlerinin değişimleri LPG modunda çalışmada benzin moduna göre daha ideal oranda meydana geldiği görülmektedir.

Sonuç olarak, Sıvı LPG sisteminin benzinli motorlar üzerinde uygulanması ile daha önceki LPG sistemlerindeki eksikliklerin giderildiği tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Bu konuda çalışmaların ve sonuçların daha tutarlı ve somut hale gelmesi için:

- Farklı yakıt sistemlerine sahip FSI, TSI, TFSI gibi motor tiplerine de LPG sistemleri montajı yapılabılır, güç ve emisyon denemeleri yapılabilir.
- LPG sistemlerinin genel uygulamaları 4(dört) zamanlı motorlar üzerinedir. 2 (iki) zamanlı motorlar üzerinde de uygulamalar araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2000, Araçlarda LPG dönüşümü Mühendis El Kitabı, II. Baskı, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 217/2, Ankara.
- Anonim, 2012, Lpg Üretimi ve Lpg Kükürt Giderme Ünitesi, Kimya Teknolojisi, T.C. M.E.B., Yayın No: 524KI0312, Ankara, 9-11.
- Anonim, 2018, <https://www.sekizsilindir.com/2017/05/oktan-sayisi-nedir.html>, [Erişim Tarihi: 07.10.2018].
- Anonim, 2019 a, <http://www.tgsotogaz.com.tr/index.php/lpg-hakknda/21-lpg-hakknda/4-otogaz-lpg-nedir>, [Erişim Tarihi: 30.01.2019].
- Anonim, 2019 b, <http://www.ipragaz.com.tr/lpg-nedir.asp>, (Erişim Tarihi: 04.02.2019).
- Anonim, 2019 c, <https://candanmuhendislik.wordpress.com/author/candan34istanbul/>, [Erişim Tarihi: 06.02.2019]
- Anonim, 2019 d, <http://www.akabeotogaz.com.tr/otogaz-hakkinda/sivi-lpg-sistemi-nedir>, Date of visit: [01.03.2019].
- Aydın, F., 2006, Sıralı Gaz Fazı Lpg Enjeksiyon Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-88.
- Aydın F., 2014, E-B Motorin Yakıtlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına, Emisyonlara Ve Yağlama Yağına Etkileri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya 67-68.
- Balki, M.K., 2005, Buji Ateşlemeli Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Lpg Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 20-21.
- Bilsa, 2019, Bilsa Mod 2210 Egzoz Emisyon Cihazı, <https://www.bilsaltd.com/egzoz-emisyon-cihazlar>, (Erişim Tarihi: 10.04.2019).
- Can, İ., 2009, Lpg ile Çalışan Benzinli Bir Motora Kademeli Dolgu Yapılmasının Performans Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-137.
- Ciniviz, M., 2001, Dizel Motorlarında Dizel Yakıt + LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 18-19.

- Çetinkaya, S., 2002, Benzin ve Dizel Motorlarının Doğalgaz Motoruna Dönüştürülmesi, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Yayın No: E/2003/315, Ankara.
- Çetinkaya, S., 2007, Taşıtlarda Yakıt Olarak CNG Kullanımının Teknolojik ve Ekonomik Acıdan Değerlendirilmesi, 3. LPG-CNG Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 11-34.
- Desrial, W.S. and Garcia, P.P., 2018, Design and Performance of LPG Fuel Mixer for Dual Fuel Diesel Engine, *Earth and Environmental Science* 147;1-8.
- Dinler, N. ve Yücel, N., 2002, Alternatif Yakıt Olarak LPG Kullanan iki Motorun Performansının Deneysel incelenmesi, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu, MMO Yayın No: E/2003/315, Ankara.
- Dynobil, 2019, Dynobil XR 4WD-600 Model Full Sistem Oto Test Dinamometresi, <https://www.dynobil.com/online-katalog>, Date of visit: [12.04.2019].
- Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A. ve Arslan, H., 1998, Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 13-14.
- Hyundai, 2016, <https://www.hyundai.com/content/dam/hyundai/tr/tr/data/marketing/brochure/product/tucson/tucson-ebrochure.pdf>, Date of visit: [04.04.2019].
- 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, 640–649.
- Kocagöz, S., 2009, Çift Yakıtlı (Lpg-Benzin) Buji Ateşlemeli Bir Motorda Hacimsel Verimin Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-68.
- Köse, H., 2012, Hidrojenin Çift Yakıt Modunda İlavesinin Motor Performans ve Emisyon Üzerine Etkisinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 65-66.
- Kutlar, O., A., Arslan, H. ve Çalık, A., T., 2000, Benzin (Otto) Motorunda Kısmi Yükte Yakıt Tüketimini Azaltmaya Yönelik Bir Yöntem: Fakir Karışımlı Kademeli Dolgulu Motor, *Mühendis Makine*, sayı 483, 46-51.
- Masi, M. and Gobato, P., 2012, Measure of the volumetric efficiency and evaporator device performance for a liquefied petroleum gas spark ignition engine, *Energy Conversion And Management*, 60, 18-27.
- Mishra, D.P. and Rahman, A., 2003, An Experimental Study of Flammability Limits of LPG / Air Mixtures, *Fuel*, 82, 7: 863–866.

- Öner, İ. V., 2014, Lpg Kullanan Motorlarda Yakıt Sıcaklığının Motor Performansı ve Çevrimsel Farklara Etkileri, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 1-132.
- Örs, İ., 2007, Benzin-Etanol Karışımlarının Taşıt Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 25-27.
- Özcan, F., 2010, Buji Ateşlemeli Bir Motorda LPG ve CNG (Sıkıştırılmış Doğal gaz) Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-99.
- Özertaş, Z., 2014, LPG'ye Hidrojen İlavesinin Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-74.
- Prins, 2019 a, High Pressure Liquid LPG Injection General Manuel, Netherlands.
- Prins, 2019 b, <http://www.prins.com.tr/direct-liquimax-sistemi>, Date of visit: [02.02.2019].
- Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçaslan, İ. ve Özsezen, N.,2005, Benzinli Bir Motorda Benzin + LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 117-127.
- Selim, M.Y.E., 2005, Effect of Engine Parameters and Gaseous Fuel Type on the Cyclic Variabilty of Dual Fuel Engines, *Fuel*, 84,7-8:961-971.
- Sertçelik, N., 2010, Çift Yakıtlı Dizel Motorlarda Lpg Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-3.
- Solak, S., 2013, Biyodizel/Lpg Çift Yakıtlı Bir Motorda Püskürtme Zamanının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-77.
- Solmaz, Ö., 2005, LPG Dönüşümü Yapılmış Bir Motorun Soğukta İlk Hareketini Kolaylaştırıcı Sistemin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-85.
- Soruşbay, C., 2002, Taşıtlarda LPG Kullanımının Teknolojik ve Ekonomik Açılardan Değerlendirilmesi, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 87-91.

- Topgöl, T. 2006. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol-Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-23.
- Uğurlu, A., 2008, Taşıtlı LPG Dönüşüm Regülatörlerindeki Soğuk Çalıştırma Probleminin Çözümünde Faz Değiştiren Malzemelerin (PCM) Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8-10.
- Wang, Z., Deng B., Han Y. and Wang H., 2002, Combustion and Emissions Characteristics of a Small Spark-Ignited LPG Engine, SAE Paper No: 2002-011738.
- Yamin, J. A. and Bardan O.O., 2002, Analytical Study to Minimise the Heat Losses From a Propane Powered 4-Stroke Spark Ignition Engine, *Renewable Energy*, 27, 3:463-478.
- Yoong, A.P.F. and Watkins, A.P., 2001, Study of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Spray Modelling, Thermo fluids, Department of Mechanical, Aerospace & Manufacturing Engineering, Manchester, UK.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İdris KIRMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Viranşehir, 24.10.1985
e-mail : idriskrmz@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: İçeri Çumra Çok Programlı Lise, KONYA.	2003
Üniversite	: Yakın Doğu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa KIBRIS.	2010
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D., KONYA.	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013 - 2017	FMC Hidrolik Sistemleri Ltd.Şti	Makine & Kaynak Mühendisi
2018 – Devam	Özar İç ve Dış Tic.Paz. Ltd. Şti.	Makine & Kaynak Mühendisi

UZMANLIK ALANI

NDT, Kaynaklı İmalat, Enerji.

YABANCI DİLLER

İngilizce, Arapça

YAYINLAR

Aydın, F. and Kırmaz, İ., 2019, Investigation of Liquid LPG Injection System Applied to Gasoline Engines, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2019), 4(1):141-144, April 19-21, 2019, Ankara, Turkey. **(Yüksek Lisans Tezinden yapılmıştır)**