



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**Katmanlı Yanma Sistemine Sahip Benzinli Bir  
Araçta LPG Kullanımının Deneysel Olarak  
Araştırılması**

**Sena Nur KATIRCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran- 2021  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## **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.

Sena Nur KATIRCI

14/06/2021

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### KATMANLI YANMA SİSTEMİNE SAHİP BENZİNLİ BİR ARAÇTA LPG KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Sena Nur KATIRCI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

2021, 62 Sayfa

#### Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN  
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKKURT  
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÜNALDI

Bu çalışmanın amacı, katmanlı yanma sistemine sahip taşıtlarda daha önce uygulanamayan LPG sistemlerinin, Karma LPG teknolojisi ile uygulanabilirliğinin belirlenmesidir. Bu karma LPG sistemi ile ilgili daha önce yapılmış herhangi bir akademik çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu amaçla üzerinde AKL marka karma LPG sistemi monte edilmiş, dört zamanlı, dört silindri, direk enjeksiyonlu, bölüntülü emme manifoldlu, katmanlı yanma sistemli benzinli bir motora sahip olan Volkswagen Touran 1.6 FSI marka taşıt, dinamometre üzerinde kullanılarak, değişik vites aralıklarında ve hızlarında taşıt tekerlek güç ve egzoz emisyon değerleri DIN 70020'e göre ölçülmüştür.

Güç değerleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre yaklaşık olarak %10.23 güç kaybı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi; ilk olarak, benzin ve LPG yakıtlarının litre bazında kullanımla enerji değerleri açısından değerlendirildiğinde, LPG'nin benzine göre %30 daha az enerji vermesi, ikinci olarak, LPG yakıtının motor emme manifoldundaki hava ile birlikte yanma odasına gaz fazda girmesinden dolayı daha fazla yer kaplaması ile açıklanabilir.

Egzoz emisyon değerleri incelendiğinde ise, LPG modundaki çalışmada benzin moduna göre CO<sub>2</sub> ve CO değerleri için sırasıyla ortalama % 8.25 ve % 71.76 daha az emisyon meydana geldiği, HC değerlerinde LPG modunda çalışmada benzin moduna göre 3, 4 ve 5. vites kademelerindeki deneylerde ortalama % 27.15 daha az meydana geldiği, 6. vites kademesinde ise ortalama % 14.28 daha fazla meydana geldiği görülmektedir. LPG modundaki çalışmada benzin moduna göre O<sub>2</sub> değerlerine ise ortalama % 45.15 daha fazla meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, egzoz gazları içindeki lambda ( $\lambda$ ) değerlerinin değişimlerinin, LPG modundaki çalışmada benzin moduna göre 0.97-1.02 gibi daha ideal oranda olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, karma LPG sisteminin katmanlı yanma sistemine sahip benzinli motorlar üzerinde uygulanabilirliği görülmüş, taşıt performansı açısından güç kaybı olmasına rağmen, egzoz emisyonları ve yakıt tasarrufu açısından benzin yakıtı kullanımına göre LPG kullanımının avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile karma LPG'nin katmanlı yanma teknolojisine uygulanabilirliği tespit edilerek literatüre katkı sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Direk enjeksiyon, Egzoz emisyonu, FSI Motor, Karma LPG, Taşıt performansı.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USE OF LPG in a GASOLINE VEHICLE with a FUEL STRATIFIED INJECTION**

**Sena Nur KATIRCI**

**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  
2021, 62 Pages**

**Jury  
Dr. Fatih AYDIN  
Dr. Fatih AKKURT  
Dr. Mahmut ÜNALDI**

This study is intended to determine the applicability of LPG systems with hybrid LPG technology which could not be applied before in vehicles with layered combustion system. No previous academic studies have been found in the literature on hybrid LPG system. For this purpose, Volkswagen Touran 1.6 FSI brand vehicle, which had a four-stroke, four-cylinder, direct injection, split intake manifold, layered combustion system gasoline engine with AKL brand hybrid LPG system, was used on a dynamometer and vehicle wheel power and exhaust emission values were measured according to DIN 70020 at different gear ranges and speeds.

When the power values were examined, it was determined that there was approximately 10.23% power loss in LPG mode compared to gasoline mode. When gasoline and LPG fuels are evaluated in terms of energy values in liter basis use; this can be first explained by the fact that LPG gives 30% less energy than gasoline, and secondly LPG fuel occupies more space because it enters the combustion chamber in gaseous phase with the air in the engine intake manifold.

When the exhaust emission values are analyzed, it is seen that respectively 8.25% and 71.76% less harmful emissions occur for CO<sub>2</sub> and CO values in LPG mode compared to gasoline mode. It is also observed that, in HC values, there was 27.15% less emission in 3rd, 4th and 5th gear levels in LPG mode compared to gasoline mode; and there was 14.28% more emission in 6th gear level. In LPG mode, it was determined that an average of 45.15% more emission occurred in O<sub>2</sub> values compared to gasoline mode. In addition, it was determined that the changes of lambda ( $\lambda$ ) values in exhaust gases occur in an ideal rate of 0.97-1.02 compared to gasoline mode in LPG mode.

As a result, it was observed that hybrid LPG system can be applied on gasoline engines with layered combustion system and although there is a loss of power in terms of vehicle performance, it was concluded that the use of LPG was advantageous compared to the use of gasoline fuel in regard to exhaust emissions and fuel saving. With this study, the applicability of hybrid LPG to layered combustion technology was determined and it was contributed to the literature.

**Keywords:** Direct Injection, Exhaust emission, FSI Engine, Hybrid LPG, Vehicle performance.

## ÖNSÖZ

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

Bu çalışmada LPG sistem teknolojilerinden biri olan ve direkt enjeksiyonlu katmanlı yanma sistemine sahip benzinli araçlarda kullanılan karma LPG sistemi tanıtılmış, üzerinde AKL marka karma LPG oto gaz dönüşüm sistemi monte edilmiş, Volkswagen Touran 1.6 FSI motora sahip bir araç ile DIN 70020 standardına göre deneyler yapılarak, egzoz emisyon değerleri ve taşıt performans değerleri belirlenmiştir.

Yüksek lisans eğitimi konusunda beni cesaretlendiren, çalışmaları esnasında değerli vaktini ayıran, tez konumun tespitinden son aşamasına kadar ilgi ve desteklerini esirgemeyen, kılavuzluk yapan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN'a, teşekkür ederim. Yoğun mesaisi arasında deney ortamını hazırlayan Dynomicron firması sahibi Osman ÖZCAN'a, Karma LPG sistemine sahip Volkswagen Touran marka aracımı deney yapmamız amacıyla bize güvenerek teslim eden Liva Otogaz Firması sahibi Harun GÖÇER'e, deney sırasında bizlere eşlik ve yardım eden Elektrik Mühendisi Yasin BAHTİYAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Sena Nur KATIRCI  
KONYA-2021

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. LPG Nedir? .....	2
1.2. LPG'nin Elde Edilmesi .....	3
1.3. LPG'nin Kokulandırılması .....	3
1.4. LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	5
1.5. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Avantajları.....	6
1.6. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Dezavantajları .....	7
1.7. LPG Oktan Sayısı .....	7
1.8. LPG'nin Isıl Değeri .....	8
1.9. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları .....	9
1.10. LPG'nin Yanma Denklemi .....	9
1.10.1 Benzinin yanma eşitliği .....	10
1.10.2. Propanın yanma eşitliği .....	10
1.10.3. Bütanın yanma eşitliği .....	10
1.10.4. %50 propan ve %50 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitliği .....	10
1.10.5. %30 propan ve %70 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitliği .....	11
1.10.6. %70 propan ve %30 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitliği .....	11
1.11. LPG Yakıtının Ekonomik Açından Değerlendirilmesi.....	11
1.12. Katmanlı Yanma Enjeksiyonu (FSI).....	12
1.12.1. Homojen Mod .....	14
1.12.2. Katmanlı Yanma Modu .....	14
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>20</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>30</b>
3.1. Materyal .....	30
3.1.1. Karma LPG Sistem Ekipmanları .....	30
3.1.2. Üzerinde Karma LPG Montajı Yapılmış Deney Taşıtı .....	35
3.1.3. Deneylerde Kullanılan Dinamometre .....	36
3.1.4. Deneylerde Kullanılan Egzoz Emisyon Cihazı .....	38
3.1.5. Deney Yakıtları .....	39
3.2. Metot .....	39
3.2.1. Tahrik Kuvveti .....	40
3.2.2. Tahrik Gücü .....	40
3.2.3. Egzoz Emisyonları .....	41
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>42</b>

4.1. FSI Taşıt Performans Sonuçları .....	42
4.2. FSI Taşıt Emisyon Sonuçları .....	43
4.2.1. Karbon Dioksit (CO <sub>2</sub> ) Emisyonları.....	44
4.2.2. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları .....	46
4.2.3. Oksijen (O <sub>2</sub> ) Emisyonları.....	48
4.2.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonları .....	50
4.2.5. Lambda ( $\lambda$ ) Değerleri .....	52
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>54</b>
5.1 Sonuçlar .....	54
5.2 Öneriler .....	56
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>57</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>62</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

- % : Yüzde  
°C : Santigrat Derece  
 $\lambda$  : Hava Fazlalık Katsayısı

### Kısaltmalar

- A/F : Hava/Yakıt  
AFR : Hava-Yakıt Oranı  
B<sub>20</sub> : Hacimce %20 Biyodizel  
BG : Beygir Gücü  
C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> : Propan  
C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> : Bütan  
CAD : Krank Açısı Derecesi  
cc : Santimetre küp  
CFD : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği  
CNG : Sıkıştırılmış Doğalgaz  
CO : Karbonmonoksit  
CO<sub>2</sub> : Karbondioksit  
CRDI : Common Rail Direct Injection  
d/d : Devir / Dakika  
DI : Direkt Enjeksiyon  
DTBP : Di-Tert-Bütil Peroksit  
ECU : Elektronik Kontrol Ünitesi  
EGR : Egzoz Gazı Devridaimi  
FSI : Katmanlı Yanma Enjeksiyonu  
FTP-75: EPA Federal Test Prosedürü  
GDI : Benzin Direkt Enjeksiyon  
H/Y : Hava / Yakıt  
H<sub>2</sub> : Hidrojen Gazı  
H<sub>2</sub>O : Su  
HC : Hidrokarbon  
HFK : Hava Fazlalık Katsayısı

HHO : Hidroksi Gazı  
KDV : Katma Değer Vergisi  
kg : Kilogram  
kJ : Kilojoule  
km/s : Kilometre/Saniye  
kPa : Kilopaskal  
kW : Kilowatt  
kWh<sup>-1</sup> : Kilowatt/Saat  
LE<sub>10</sub> : %10 etanol + %90 LPG  
LE<sub>20</sub> : %20 etanol + %80 LPG  
LE<sub>5</sub> : %5 etanol + %95 LPG  
LPDI : Doğrudan LPG Enjeksiyon Motoru  
LPG : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı  
lpm : Dakikada Litre  
l : Litre  
m/s : Metre / Saniye  
m<sup>3</sup> : Metreküp  
mA : Miliamper  
MBT : En İyi Tork İçin Minimum Kıvılcım İlerlemesi  
mg : Miligram  
MIR : Maksimum Artımlı Reaktivite  
MJ : Megajoule  
mm : Milimetre  
MON : Motor Oktan Sayısı  
MPI : Çok Nokta Enjeksiyon  
ms : Milisaniye  
N/m : Newton / Metre  
N<sub>2</sub> : Azot  
N<sub>2</sub>O : Azot Protoksit  
NO : Azot Oksit  
NO<sub>2</sub> : Diazot Oksit  
NO<sub>3</sub> : Nitrat  
NO<sub>x</sub> : Azotoksit  
NŞA : Normal Şartlar Altında

O<sub>2</sub> : Oksijen gazı  
OBD : On-Board Diagnostics  
PFI : Port Yakıt Enjeksiyon  
PN : Partikül Sayısı  
ppm : Milyonda Bir  
RDE : Gerçek Sürüş Emisyonları  
RON : Araştırma Oktan Sayısı  
rpm : Dakikadaki Devir Sayısı  
SI : Kıvılcım Ateşleme  
TFSI : Turbo Katmanlı Yanma Enjeksiyonu  
T-GDI : Turbo Benzin Direkt Enjeksiyon  
THC : Tetrahidrokannabinol  
THT : Tetra Hidro Tiyofen  
T-LPDi: Turbo Şarjlı Doğrudan LPG Enjeksiyon Motoru  
TS 2834: Bulutlanma Noktasının Tayini Türk Standartı  
TS 4453: Kaynama Aralığı Deneyi Türk Standartı  
TS 4946: Gaz Kromatografisi Metodu Türk Standartı  
TS 5906: Buharlaştırma Kalıntısı Deneyi Türk Standartı  
TSI : Turbo Supercharger Injection  
ULP : Kurşunsuz Benzin  
VOC : Uçucu Organik Bileşikler  
VSI-DI: LPG Otogaz Dönüşüm Kiti

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda dünya nüfusunda meydana gelen artışla birlikte insanların enerjiye olan bağılılığı ve enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca en büyük enerji ihtiyaçlarından birini oluşturan taşıtların ulaşımdaki sayısı ve buna paralel olarak konvansiyonel fosil yakıtların kullanımı da hızla artmaktadır. Bu durum insanlığı; çevre kirliliği, küresel ısınma ve fosil yakıtların tükenme tehlikesi gibi sorunlarla yüzleşmek zorunda bırakmıştır. İçten yanmalı motorlar için en büyük enerji kaynağı olarak kullanılan petrol fiyatlarında yaşanan artıştan dolayı özellikle Japonya, Almanya ve Türkiye gibi petrol ithal eden ülkelerde bulunan otomobil üreticileri için yakıt ekonomisi önemli bir faktör olmuştur. Böylece, taşıtlarda fosil bir yakıt olan petrole kıyasla daha çevreci ve ekonomik alternatif bir yakıt kullanımı bir ihtiyaç haline gelmiştir. CNG (sıkıştırılmış doğal gaz), biyodizel ve LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) içten yanmalı motorlarda sıklıkla kullanılan alternatif yakıtlara örnek olarak verilebilir. Fakat bunların içinde LPG, kolay taşınabilir, nakledilebilir, depolanabilir ve dünyanın hemen hemen her yerinde kullanılabilir olması ve ayrıca yeterli rezerve sahip olmasından dolayı otomotiv sektöründe en çok kabul gören alternatif yakıttır (Aliustaoğlu ve Ayhan, 2019).

LPG kullanımı son on yılda artmıştır ve bugün de yaygın olarak kullanılmaktadır. LPG kullanımının artış sebebi kısmen daha düşük emisyonlarla birlikte daha verimli ateşleme özellikleri sayesinde olabilir. Daha yüksek oktan özellikleri, kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları, daha belirgin yanıcılık ve daha hızlı alev yayma kapasiteleri, LPG ile çalışan motorları kârlı bir fırsat olarak sunmaktadır (Usman et al., 2020).

Motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan LPG kullanılırsa, motor gücünde bir miktar düşme olmaktadır. LPG yakıtının oktan sayısı, benzine göre daha yüksek olduğundan, yüksek sıkıştırma oranlarında LPG ile çalışıldığında motor gücü artmakta ve yakıt tüketimi azalmaktadır. Sıkıştırma oranının artmasıyla sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte, dolayısıyla ortalama efektif basınç ve verim artmaktadır (Çelik ve Balki, 2006). Sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Bunlar, yanma odası hacmini büyütüp küçülterek, biyel boyunu veya piston yüksekliğini, krank mili ana veya biyel muylu çapını değiştirerek, silindir kapağını hareket ettirerek veya başka şekillerde olabilmektedir (Sekmen ve ark.,2007). Motorun sıkıştırma oranının artırılması ile birlikte motor performansını ve verimini arttırmak mümkün olmaktadır (Çelikten ve Korkmaz,2009).

LPG, önemli ölçüde daha az CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları üretir. LPG ayrıca dizel motorlara göre %90 daha az partikül yayar. Geleneksel dizel motorda LPG'nin yakıt olarak kullanılmasının ana dezavantajları; setan sayısı düşüktür ve yaklaşık 10:1 civarında düşük bir sıkıştırma oranına ihtiyaç duyar, bu nedenle daha yüksek sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanılması zordur (Musthafa, 2019).

Ayrıca, LPG basınçlandırıldığı ve sıvılaştırıldığı için üstün buharlaşma ve dağılım özelliklerine sahiptir. Bu özellik, LPG'nin benzin yakıtına kıyasla daha hızlı buharlaşarak hava-yakıt karışımının homojenliğini artırır ve bu da yanma işlemi sırasında oluşan PN emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir (Ahn et al., 2020).

Motorlarda 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 sistemlerin karışım emme manifoldunda hazırlanarak motor içerisine alınır. Burada temel amaç karışımın stokiyometrik olması ve silindir içerisindeki her noktada homojenliği sağlamasıdır. Günümüz benzinli motorlarının tamamına yakını homojen dolgu yöntemi ile doldurularak çalışacak şekilde tasarlanmıştır. 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 (Kırmaz, 2019).

LPG, güç kaybını önlemek ve egzoz emisyon değerlerini yeni normlara uygun hale getirmek için, benzinli sistemdeki gelişme ve yenilenmelere göre kendini sistem olarak yenilemektedir.

### **1.1. LPG Nedir?**

Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG), petrol veya doğal gazdan elde edilerek basınç altında sıvılaştırılan propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların karışımından oluşur. LPG, eser miktarda metan, etan, etilen, pentan ve penten de ihtiva edebilir. LPG, petrolden ya da doğal gazdan bazı işlemlerden geçirilmek suretiyle doğrudan karışım hâlinde elde edilebileceği gibi, propan ve bütanın belirli oranlarda karıştırılması suretiyle de elde edilebilir. Propanın yoğunluğu yaklaşık 0,509 kg/m<sup>3</sup>, bütanın yoğunluğu yaklaşık 0,585 kg/m<sup>3</sup> olup, sıvı LPG'nin yoğunluğu, bileşimine bağlı olarak değişir. Bu değer suyun yoğunluğunun yaklaşık olarak yarısı kadardır. Yoğunluğunun suyun yoğunluğundan düşük olması nedeniyle ortama yayılan sıvı haldeki LPG su üstünde yüzer. LPG, gaz hâlinde havadan yaklaşık 2 kat ağır bir

karışımdır. Bundan dolayı ortama yayıldığında zeminde birikmeye eğilim gösterir. Hava akımıyla uzak mesafelere sürüklenebilir, yer altı kanalları ve rögarlarda birikebilir. LPG, renksiz, kokusuz, havadan ağır, yanıcı ve parlayıcı bir gazdır. Ancak, tüketicilerin gaz kaçaıklarını algılayabilmesi için piyasaya arz edilmeden önce etilmerkaptan veya benzer kokulandırıcılar ile belirgin bir şekilde kokulandırılmaktadır. LPG, normal şartlar altında gaz hâindedir. Bununla birlikte, 10-15 bar basınç altında sıvılaştırılmış olarak tüplere ve tanklara doldurulur ve muhafaza edilir. LPG, kullanımı sırasında basınç düşürücülerden (dedantör veya regülatörlerden) geçerken basıncı istenilen düzeye indirilir. LPG'nin kaynama sıcaklığı, bileşimine göre değişir. LPG, normal şartlarda kaynama sıcaklığının (-13°C) üzerindeki sıcaklıklarda gaz hâlinde bulunur. LPG'nin yanma noktası oldukça düşüktür, bu sebeple çok hızlı alev alır. LPG'nin kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ise 410-580°C arasında değişir. Diğer tüm yakıtlarda olduğu gibi LPG'nin de yanabilmesi için oksijene ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaç, ortamdaki havadan sağlanır. Yanmanın sürekliliği açısından ortamda oksijenin sürekli olarak var olması gerekir. Aksi hâlde yanma gerçekleşmez, ortama LPG yayılabilir. Sıvı LPG, sıkıştırılarak sıvılaştırıldığı yüksek basınçtan atmosfer basıncına serbest bırakıldığında aniden genişerek gaz hâline geçer. Sıvı LPG, gaz hâline dönüştüğünde hacmi yaklaşık olarak 25 °C'de 240-270 kat artmaktadır (Anonim, 2018).

## **1.2. LPG'nin Elde Edilmesi**

LPG, iki büyük enerji endüstrisinin ürünü olup birincisi doğal gaz işlemi ve ikincisi ise petrol arıtmadır. Doğal gaz topraktan çıkartılması sırasında birçok hidrokarbon gazlarının karışımından oluşmaktadır. Metan, "doğal gaz" adı altında satılan karışımda %90 bulunmaktadır. Kalan %10'nun yarısı propan, kalan yarısı da bütan ve etan gibi diğer gazlardan oluşmaktadır. Doğal gaz kuyularından elde edilen LPG her zaman ham petrol kökenli LPG'ye göre daha temiz ve verimlidir. LPG, propan ve bütan gibi hidrokarbonları, doğal gaz işleme aşamasında uygun basınç altında sıvılaştırılmasıyla elde edilir (Saka, 2003).

## **1.3. LPG'nin Kokulandırılması**

LPG kokusuz bir gaz olduğundan dolayı kaçak ve sızıntılarda tüketicilerin fark etmeleri için kokulandırılmaktadır. Koku verici maddeler, yakıt olarak kullanılan doğal gaz, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi yakıtların kokulandırılması

amacıyla bu gazalara ilave edilen kükürtlü organik bileşiklerdir. Koku verici maddeler kimyasal bileşimlerine göre;

- Tiyoterler (Sülfidler)
- Tiyoller (Merkaptanlar) olmak üzere iki sınıftadırlar.

Tiyoterler (Sülfidler); Koku verici maddeler içinde tiyoterler (sülfidler) kimyasal kararlılıkları fiziksel özellikleri ve koku şiddetleri açısından kokulandırma maddesi olarak kullanılmaya oldukça uygundur. Sülfür bileşikleri içinde kokulandırma için bileşik yapısı itibarıyla en uygun olanı THT (Tetra Hidro Tiyofen)' dir. Tiyoller (Merkaptanlar); İçinde oksijen (O<sub>2</sub>) bulunan gazlarda kimyasal kararlılıkları az olduğundan koku verme özellikleri de düşüktür. Tiyoller çelik boru hatlarında oluşabilecek demir-oksit' in (pas) etkisiyle disülfidlere dönüşebilirler. Disülfidlerin ise koku şiddetleri daha azdır. Sonuç olarak; Merkaptanlar ve sülfür bileşenleri en yaygın kokulandırıcı tipleridir.

Kokulandırıcının, 8–25 mg/m<sup>3</sup> oranlarında kullanılması gerekir. Ortamda %1 konsantrasyonda algılanabilmesi için 25 mg/m<sup>3</sup> kokulandırıcı eklenmesi gerekir. THT ölçüm tüpleri kullanılıp, seçilmiş değişik noktalardan ölçümler alınarak, şebeke genelinde bu standardın yakalanması kontrol edilmelidir. Koku verici maddelerin kimyasala bileşimleri gaz kromatografisi metoduyla TS 4946' ya uygun olarak yapılmalıdır. Bulutlanma noktasının tayini TS 2834' e göre koku verici maddeler içindeki su da dikkate alınarak yapılmalıdır. Kaynama aralığı deneyi TS 4453' e göre yapılarak sonucun uygun olup olmadığına bakılmalıdır. Buharlaştırma kalıntısı deneyi TS 5906' da belirtildiği şekilde yapılarak sonucun uygun olup olmadığına kontrol edilmelidir. Koku verici maddeler, yeterli koku şiddetine sahip olmalarının yanı sıra belirtilecek özelliklere de sahip olmalıdırlar. Kokulandırma maddelerinde olması gerekenler;

- Koku verici madde kimyasal olarak yeterli kararlılıkta olmalı ve kokulandırdığı gazdaki bileşenlerle reaksiyona girmemelidir. Ayrıca boru cidarlarında toplanan atıklarla, toprakla veya pas ile de reaksiyona girmemelidir.
- Koku verici madde ilavesiyle gaz ve yanma ürünleri zehirli veya zarar verici hale gelmemelidir.
- Koku verici madde yeterli koku şiddetinde rahatsız edici veya uyarıcı bir koku özelliğine sahip olmalıdır.

- Koku verici madde boru hatlarında veya yanma ürünlerinin geçtiği yüzeylerde korozyona sebep olmamalıdır.
- Koku verici madde yakma ünitelerinde, emniyet ve kontrol sistemlerinde, sayaçlarda, vanalarda vs. artık ve tortu bırakmamalıdır.
- Koku verici madde düşük sıcaklıklarda da kullanılabilirmeli ve uzun süre değişikliğe uğramadan muhafaza edilebilmelidir.
- Koku verici madde kokulandırdığı gazın dağıtım basıncı ve sıcaklığında yoğunlaşmamalıdır.
- Başka bir koku ile karışmayacak türde olmalıdır.
- Buharlaşma özelliği olmalı, yanmanın ardından hızla buharlaşarak uçmalıdır.
- Basınç düşmesi sırasında ve ısı alışverişlerinde yoğunlaşmamalı, donma noktası düşük olmalıdır.
- Kolay uygulanmalı ve ucuz olmalıdır (Anonim, 2020a).

#### 1.4. LPG'nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bütan ve propan arasındaki ayırıcı özelliklerden biri kaynama noktasıdır. Propan, bütandan daha düşük sıcaklıkta kaynadığı için özellikle soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımlara gereksinim duyulur ve böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Ülkemizde hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değiştiğinden taşıtlarda kullanılan LPG'de %30 propan, %70 bütan oranı vardır. Böylelikle tüm koşullar için uygun karışım sağlanmış olur. LPG karışımını oluşturan propan ve bütanın bazı özelliklerinin benzinle karşılaştırılması Çizelge 1.1'de verilmiştir. Sıvılaştırılmış petrol gazı yağlı boyayı eritir. Doğal lastiği deforme eder. Bu nedenle motorlu araçlarda kullanılan LPG iletim boruları, uygun kalitede sentetik malzemeden yapılmaktadır. Yakıt tankı ile regülatör arasında yer alan basınç altındaki LPG hatları için özel bakır veya çelik boru kullanılmaktadır (Anonim, 2012).

Soğuk iklimli bölgelerde kullanılan LPG'nin içerisindeki propan oranının artırılarak sıvı fazdan gaz faza geçiş kolaylaştırılmalıdır. Avrupa ülkelerinde otomobillerde 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 m<sup>3</sup> gaz hâlindeki LPG sıkıştırıldığında sıvı hâlde 1 m<sup>3</sup> lük bir hacme sığar (Anonim, 2012).

**Çizelge 1.1.** Motor Yakıtı Benzin ile LPG'nin Karşılaştırılması (Anonim, 2012)

Özellikler	Yakıtlar		
	Benzin	Propan	Bütan
Stokiyometrik Hava/ Yakıt Oranı	16.1/1	15.1/1	15/1
NŞA'daki Fiziksel Hali	Sıvı	Gaz	Gaz
15 °C Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,73-0,78	0,508	0,584
Alt Isıl Değeri (Mj/kg)	44	46,4	45,6
Buharlaşma 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

**Çizelge 1.2.** Bazı Ülkelerde LPG İçerisindeki Propan- Bütan Oranları (Anonim, 2012)

Ülke Adı	Propan / Bütan Oranları (%)	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

### 1.5. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Avantajları

- LPG'nin oktan sayısı yüksektir.
- Gaz fazında hava ile daha üniform karışması sonucu iyi bir yanma gerçekleşir.
- Benzin ve dizel yakıtına göre LPG'nin egzoz çıktısı daha temizdir.
- İşletme ve bakım masrafları azdır

- Sıvı yakıtın iyi buharlaşması yüzünden kartere sızarak karterdeki yağı sulandırması gibi bir sıkıntı LPG sisteminde yoktur. LPG yakıtları emme manifoldlarına tamamen buharlaşmış olarak girer. Bu nedenle motor yağı seyreltisi olmadığından motor yağı daha uzun ömürlüdür.
- Sıvı yakıtın buharlaşması yüzünden yoğunlaşan yakıtın silindir cidarlarındaki yağı yıkayıp silindir ve segmanları yağsız bırakması problemi LPG yakıtlı motorlarında yoktur.
- LPG yakıtlı sistemin benzine göre soğuk havalarda ilk hareketi kolaydır. Oktan sayısının yüksek olması vuruşu oluşumunu önlemekte ayrıca yüksek sıkıştırma oranlarına imkân vermektedir. Fakat motorlar benzin yakıtına göre tasarlandığından çift yakıt kullanılması halinde yüksek sıkıştırma imkânı motor modifikasyonu ile olur (Öğüt ve Kuş, 1999).
- Isıl verimi yüksektir.
- Gaz fazında yanma odasına girmesine bağlı olarak motor yağının seyrelmesine neden olmamakta ve artık madde bırakmamaktadır. Böylece daha düşük bakım masrafları olmaktadır.
- LPG' de, benzinde kullanılan kurşun tetra etil bulunmamaktadır.
- LPG dönüşüm sistemleri basit ve ucuz parçalardan oluşmaktadır.
- Ucuz bir yakıttır (Çavgun, 2019).

### **1.6. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Dezavantajları**

- Yakıt tankının ağır oluşu, dönüşüm yapılan araca ilave ağırlık oluşturur. (Yaklaşık olarak 25 kg)
- Yakıt tankından dolayı bagaj hacmi küçülür.
- Yakıt katkı maddesi ilavesi mümkün değildir.
- LPG dönüşümü ek maliyet getirir.
- Tank dolmuş anında veya LPG'li çalışmada taşıt içi kokar (Aydın, 2006).

### **1.7. LPG Oktan Sayısı**

Oktan sayısı yakıtın vuruşu karşı direncini karakterize eden bir sayıdır. Benzinin oktan sayısını artırmadaki amaç motorun vuruşu çalışmasını önlemektir (Çakmak ve Özcan, 2018). Buji ile ateşlemeli motorlarda vuruşu direncini arttırabilmek ve verimli çalışma şartlarını koruyabilmek için artan sıkıştırma oranı ile

birlikte yüksek oktanlı yakıtlar tercih edilmektedir. Bu durum içten yanmalı bir motorda istenen yanma karakteristiğinin elde edilebilmesi için yakıt seçiminin büyük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir (Halis ve ark., 2018).

Oktan sayısı, Motor Oktan Sayısı (MON) ve Araştırma Oktan Sayısı (RON) olmak üzere farklı kriterleri ifade etmek üzere ikiye ayrılır. Türkiye’ de LPG’nin oktan sayısı TS EN-589 standardında belirtilen parametrelere göre MON olarak hesaplanmaktadır. Standartta LPG oktan sayısı, otopaz için minimum 89 MON ile olacak şekilde yer almaktadır. Türkiye ve Avrupa’ da benzinin oktan sayısı, ürün ve markalara göre değişken olmakla beraber 95-97 RON değerlerinde olmaktadır ve bu değer araştırma motorunda ölçülerek belirlenmektedir. Benzin için standartlarda, reklamlarda, tanıtımlarda ve istasyonlarda belirtilen değer RON değeridir (Anonim, 2020 b).

RON, motorun yüke binmediği ve düşük devirlerde çalıştığı durumdaki vuruğu ölçümüdür. MON ise motor zorlandığında, yük altında olduğu andaki vuruğu ölçümüdür. Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi LPG’nin oktan sayısı benzine göre daha yüksektir.

### 1.8. LPG’nin Isıl Değeri

Yakıtlardan istenen özelliklerden biri de ısıl değerleridir. Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt külesine bölünmesiyle elde edilen değere ısıl değer denir. Isıl değeri yakıttan elde edilecek enerjinin miktarını etkilemektedir. Bir yakıtın ısıl değeri ne kadar yüksek ise o yakıttan elde edilecek enerji de o kadar yüksek olmaktadır (Uçar, 2006).

**Çizelge 1.3.** Yakıtların ısıl değerleri (Doğu ve ark., 2018)

Yakıt Cinsi	Isıl değer (Mj/kg)
Benzin	44,3
CNG	50,8
LPG	45,9
Bütan	45,5
Propan	46,5

LPG’nin alt ısıl değerlerinin benzine göre yüksek olması; bu yakıtlar silindir içerisinde benzine ile aynı külesel miktarda yakıldığı zaman silindir içi sıcaklıkların benzine göre yükselir. Bunun sonucunda daha yüksek ortalama efektif basınç

oluşumuna sebep olmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonunu benzine göre yükseltmektedir (Doğu ve ark., 2018). Çizelge 1.3'te ısı değerleri gösterilmektedir.

### 1.9. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları

Zararlı emisyonları azaltmak adına motorlarda kullanılan alternatif bir yakıt olan likit petrol gazı (LPG) ilk olarak Amerika'da denenmiş ve LPG ile çalışan ilk araç 1975 yılında Rusya'da üretilmiştir. Bu çalışmalardan sonra LPG kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamış, son yıllarda ise büyük bir ivme yakalamış, buna bağlı kullanımı artmıştır (Bağcı, 2019).

Çizelge 1.4'te görüldüğü üzere LPG çevreci bir yakıt türüdür.

LPG, düşük bir karbon-hidrojen karışımı ile araç motorunda ve egzoz emisyonlarındaki zararı azaltır. LPG içerisindeki daha düşük karbon varlığı, daha iyi yanma ve motorun termal verimliliğine yol açarken insan ve çevre sağlığı için güvenli olmayan karbon salınımının azalması anlamına gelir (Usman et al.,2020).

**Çizelge 1.4.** Egzoz Gazı Emisyon Değerleri (Bağcı, 2019)

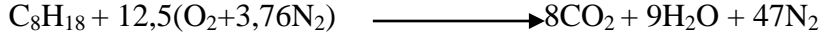
Yakıt Türü	CO (g/km)		HC (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		Partikül(g/km)	
	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak
<b>Benzin</b>	1,97	0,45	0,27	0,10	0,18	0,13	0,011	0,004
<b>LPG</b>	1,01	0,53	0,15	0,009	0,15	0,10	0,006	0,006
<b>CNG</b>	0,36	0,34	0,37	0,17	0,17	0,14	0,011	0,003
<b>Dizel</b>	0,68	0,49	0,12	0,09	0,78	0,74	0,085	0,074

### 1.10. LPG'nin Yanma Denklemi

Yanma süreçlerinin büyük bir bölümünde gerekli olan oksijen atmosferdeki havadan sağlanmaktadır. Atmosfer havası hacimsel olarak %78,09 Azot, %20,95 Oksijen, %0,93 Argon ve %0,03 Karbondioksitten meydana gelmektedir. Yanma süreçleri incelenirken karbondioksit ve argon gazları göz önüne alınmaz ve havanın hacimsel olarak %79 Azot ve %21 oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28, 851'dir ve içerisinde bir mol oksijene karşılık 3, 76 mol azot bulunmaktadır (Anonim, 2019).

Ülkemizde kullanılan LPG karışımlarının propan ve bütan oranlarına göre yanma eşitlik hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

### 1.10.1 Benzinin yanma eşitliği



Reaksiyon hava /yakıt mol oranı;

$$A / F = 12,5 + (12,5 \times 3,76) / 1 = 59,5 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı;

$$A / F = (12,5 \times 32 + 12,5 \times 3,76 \times 28) / (8 \times 12 + 18 \times 1) = 15,05 / 1 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

### 1.10.2. Propanın yanma eşitliği



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

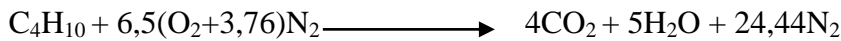
Reaksiyon hava/yakıt mol oranı;

$$A / F = 5 + (5 \times 3,76) / 1 = 23,8 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı;

$$A / F = (5 \times 32 + 5 \times 3,76 \times 28) / (3 \times 12 + 8 \times 1) = 15,6 / 1 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

### 1.10.3. Bütanın yanma eşitliği



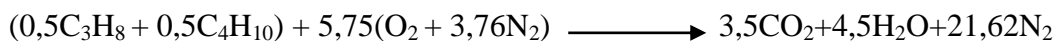
Reaksiyonun hava/yakıt mol oranı;

$$A / F = 6,5 + (6,5 \times 3,76) / 1 = 30,94 / 1 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı;

$$A / F = (6,5 \times 32 + 6,5 \times 3,76 \times 28) / (4 \times 12 + 10 \times 1) = 15,38 / 1 \text{ kg hava / kg}$$

### 1.10.4. %50 propan ve %50 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitliği



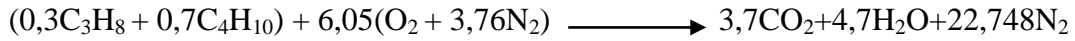
Reaksiyonun hava/yakıt mol oranı;

$$A / F = (23,8 \times 0,5 + 30,94 \times 0,5) / 1 = 27,37 / 1 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı;

$$A / F = (15,6 \times 0,5 + 15,38 \times 0,5) / 1 = 15,49 / 1 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

#### 1.10.5. %30 propan ve %70 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitliği



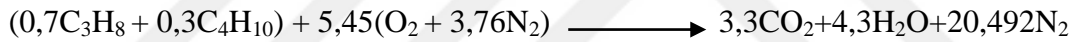
Reaksiyonun hava/yakıt mol oranı;

$$A / F = (23,8 \times 0,3 + 30,94 \times 0,7) / 1 = 28,798 / 1 \text{ kmol hava / kmol yakıt,}$$

Ağırlık oranı;

$$A / F = (15,6 \times 0,3 + 15,38 \times 0,7) / 1 = 15,446 / 1 \text{ kg hava / kg yakıt.}$$

#### 1.10.6. %70 propan ve %30 bütandan oluşan LPG karışımının yanma eşitliği



Reaksiyonun hava/yakıt mol oranı;

$$A / F = (23,8 \times 0,7 + 30,94 \times 0,3) / 1 = 25,94 / 1 \text{ kmol hava / kmol yakıt}$$

Ağırlık oranı;

$$A / F = (15,6 \times 0,7 + 15,38 \times 0,3) / 1 = 15,53 / 1 \text{ kg hava / kg yakıt}$$

olarak hesap edilmektedir.

### 1.11. LPG Yakıtının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Şehir içerisinde sıradan araçlarda ortalama olarak 9 lt benzin veya 10 lt LPG tüketilmektedir. 12.05.2021 günümüz tarihiyle BP firmasında 95 oktan kurşunsuz benzinin KDV dahil perakende pompa satış fiyatı 7,25 TL/lt'ye LPG fiyatı ise 3,45 TL/lt'ye satılmaktadır.

- Kurşunsuz Benzin  $\longrightarrow 7,99 \times 9 \div 100 = 0,719 \text{ TL/km}$
- LPG  $\longrightarrow 3,88 \times 10 \div 100 = 0,388 \text{ TL/km}$

$$\text{Fark} = 0,331 \text{ TL/km}$$

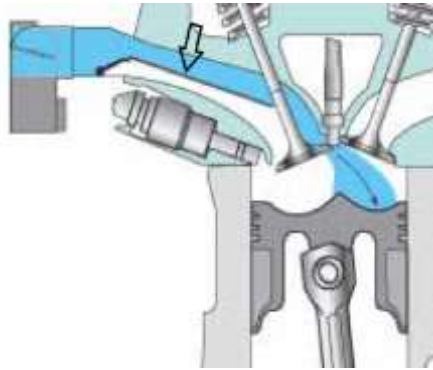
- Ekonomik Fayda  $1 - \frac{\text{LPG}}{\text{Kurşunsuz Benzin}} = 1 - \frac{0,388}{0,719} = 0,46 = \%46$

Yüzyılı aşkın bir süredir içten yanmalı pistonlu motorların enerji ve ekonomik performansında sürekli ve sistematik bir artış olmuştur (Zakharov, et al. 2019).

İçten yanmalı motorlarda karbüratörlü yakıt sistemi ile başlayan süreç, tek nokta enjeksiyonlu (SPI) motor ve daha sonra çok nokta enjeksiyonlu (MPI) motor ile devam etmiştir. MPI motor teknolojisine turbo besleme ile destek verilerek daha performanslı ve Euro emisyon standartlarını sağlayan motorlar ile küçük motor hacimlerinden yüksek tork ve güç artışı elde edilerek günümüze kadar gelmiştir.

### 1.12. Katmanlı Yanma Enjeksiyonu (FSI)

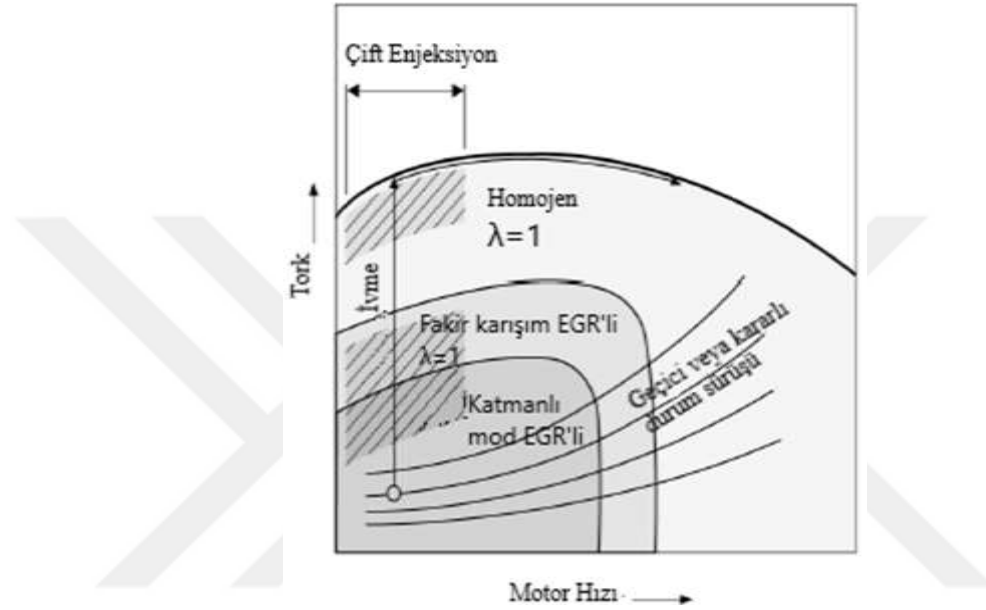
FSI motor, benzinli turbo beslemeden önce sistemde var olan direkt enjeksiyonlu bir motor türüdür. FSI motoru diğer atmosferik motorlardan ayıran en önemli özelliği şekil 1.1’ de görüldüğü gibi emme kanalının preslenmiş bir panel ile alt ve üst olmak üzere iki bölmeye ayrılmış olmasıdır. Benzinli direkt enjeksiyonlu motorlardan düşük yakıt tüketimi ve yüksek performans elde etmek için, farklı çalışma modlarına ihtiyaç vardır (Küsell, et al., 1999).



**Şekil 1.1** İki bölme olan emme kanalı (Volkswagen AG, 2002)

FSI; katmanlı yanma enjeksiyonu (Fuel Stratified Injection) anlamına gelir. Benzinli direkt enjeksiyon sistemine sahip bir motorda yakıt tüketimi, yakıtın emme manifolduna püskürtüldüğü enjeksiyon sistemli bir motora göre yaklaşık %15 oranında azalmaktadır (Volkswagen AG, 2000).

İyi bir sürüş için ve doğrudan benzin enjeksiyonunun tüketim avantajlarının maksimum kullanımı için, çalışma modu haritasında her çalışma noktası için en uygun çalışma modunun seçilmesi ve ayarlanması gerekmektedir. Farklı çalışma modlarını desteklemek ve sürücü için önceden haber verilmeksizin sürüş sırasında çalışma modlarındaki sık değişikliklere hâkim olmak motor kontrol sisteminin merkezi bir görevidir. Şekil 1.2 kararlı durum veya geçici koşullar ve sürücülerin tam hızlanma talebi için çalışma modlarındaki gerekli değişiklikleri göstermektedir.



Şekil 1.2. FSI motor çalışma modları haritası (Küsell, et al., 1999)

Motor düşük devirlerde, katmanlı modda çalıştırılır. Bu nedenle, yakıt ateşlemeden kısa bir süre önce yüksek basınçta enjekte edilmelidir. Bu sayede yakıt tüketiminde %15 ila %20 oranında bir azalma gerçekleşebilir. Bu sistemde  $NO_x$  emisyonlarını en aza indirmek için EGR kullanılmaktadır. Aşırı yükte, yanma odasında katmanlı bölgedeki karışım çok zengin olmaktadır. Yüksek hızda, silindirdeki yüksek türbülans nedeniyle yeterli alan elde etmek zordur. Bu nedenle üst devir bölgesinde, motor düşük emisyon ve yüksek tork elde etmek için homojen modda çalıştırılır. ECU'da her çalışma noktası için en uygun çalışma modunun seçilmesi ve ayarlanması gerekmektedir. (Küsell, et al., 1999).

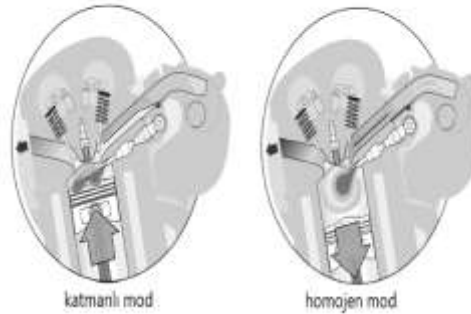
Her iki modda da yakıt miktarı motorun tork ve güç taleplerine uygun optimum bir şekilde ayarlanır. Bunlar;

- Homojen mod
- Katmanlı yanma modu (Tabakalı şarj modu)'dur.

### 1.12.1. Homojen Mod

Yüksek motor yükü ve devir aralıklarında, motor yönetim sistemi homojen moda geçer. Yakıt emme sırasında doğrudan silindire enjekte edilir. Burada yakıt, diğer klasik motorlarda olduğu gibi tüm silindir içindeki emme havasıyla homojen olarak karışır. Homojen modda motor  $\lambda=1$  (lambda oranı) ile çalışmaktadır.

Homojen mod, bir motorun emme manifoldu enjeksiyon sistemiyle çalışmasıyla karşılaştırılabilir. Ana fark, benzinli direkt enjeksiyonlu motorda yakıtın doğrudan silindire enjekte edilmesidir. Gaz kelebeği, gaz pedalı konumuna göre açılır. Katmanlı yanma modundan homojen moda geçişin ardından, emme manifoldu alt kanalı kapalı iken, giriş havası emme kanalının üst tarafından geçmeye devam eder. Ancak motor yükü ve hızı arttığı için, sadece üst kanal üzerinden indüklenebilen hava kütlesi artık motor için yeterli olmaz. Yakıt, emme işlemi sırasında doğrudan silindire enjekte edilir. Sonuç olarak homojen enjekte edilmiş yakıt ve indüklenmiş hava karışımı silindir içinde oluşur. Yanma odasında,  $\lambda=1$ 'dir. Yanma işlemi, yanma odasının tamamında gerçekleşmektedir (Volkswagen AG, 2000).



Şekil 1.3. FSI motorun çalışma modları (Krebs,et al., 2002)

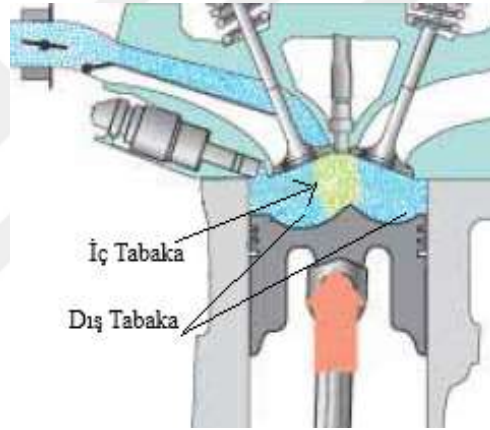
### 1.12.2. Katmanlı Yanma Modu

Motorun tüm çalışma alanı düşünülecek olursa motorun her zaman katmanlı yanma modunda çalışmasında mümkün değildir. Çünkü motor yükü arttıkça daha zengin bir karışım gerekir. Bunun dışında, yanma kararlılığı  $\lambda=1.4$ 'ün altındaki değerlerde bozulmaktadır, çünkü artan motor hızlarında karışım hazırlığı için yeterli zaman kalmamaktadır ve hava akımının artan türbülansı yanma kararlılığı üzerinde kötü bir etkiye sahiptir. Motor yönetim sisteminin katmanlı yanma moduna geçebilmesi için birkaç koşulun karşılanması gerekir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Belirli motor yükü ve devir aralıklarında,

- Sistemde emisyonla ilgili herhangi bir arıza olmamalıdır,
- Soğutucu sıcaklığı 50 °C'nin üzerinde olmalı,
- NO<sub>x</sub> depolama katalitik konvertörünün sıcaklığı 250 °C ile 500 °C arasında olmalıdır.
- Emme manifoldu kapağının kapalı olması gerekir (Volkswagen AG, 2000).

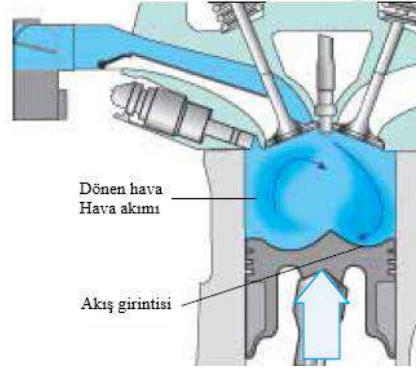
Motor orta dereceli motor yüküne ve hız aralığına kadar katmanlı yanma modunda çalışır. Motorun katmanlı modda çalışabilmesi için yakıt sıkıştırma işleminin sonuna kadar enjekte edilmemelidir. Ateşleme çevriminin başlangıcında yanma odasının içinde katmanlı bir yakıt dağılımı oluşur. İç tabaka bujinin altında bulunur ve tutuşabilir bir karışımdan oluşmuştur. Dış tabaka, iç tabakayı saran ve ideal şekilde indüklenmiş hava ve gelen egzoz gazlarından oluşur (Volkswagen AG, 2000).



Şekil 1.4. Dış ve iç tabaka (Volkswagen AG, 2000)

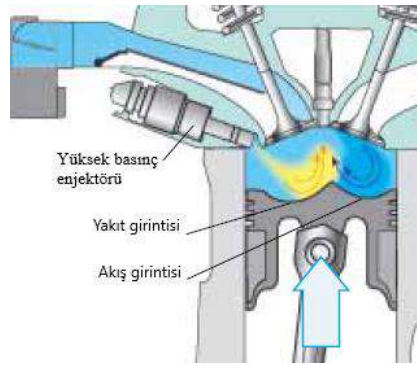
**1.12.2.1. Alım süreci:** Katmanlı yanma modunda, gaz kelebeği kayıplarını en aza indirmek için gaz kelebeği mümkün olduğunca geniş (daha fazla) açılır. Emme manifoldunda bulunan klape, silindir kafasındaki alt kanalı kapatır. Emme havası daha hızlı bir şekilde akar ve üst kanaldan silindirlerin içine geçer (Volkswagen AG, 2002).

**1.12.2.2. Hava girişi:** Silindirde, piston tepesinin özel şekli ile havanın girdap hareketi artırılır. Şekil 1.6'da silindir içerisindeki havanın girdap hareketi görülmektedir (Volkswagen AG, 2002).



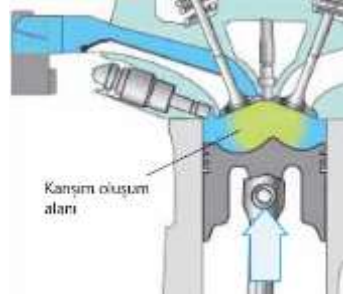
Şekil 1.5. Havanın girdap hareketi (Volkswagen AG, 2002)

**1.12.2.3. Enjeksiyon döngüsü:** Sıkıştırma strokunun son üçte birinde yakıt enjekte edilir. Ateşleme, üst ölü noktasına sona ermeden önce yaklaşık  $60^\circ$  kala başlar. Enjeksiyon noktasının, bujiler etrafındaki atomize karışımın konumunda önemli bir rolü vardır. Enjektör geometrisi, atomize edilmiş karışımın gerektiği gibi dağılacığı şekildedir. Yakıt, yakıt girintisi yönünde enjekte edilir. Yakıt bujilere, yakıt girintisi ve pistonun yukarı doğru hareketi ile taşınır. Bu işlem, yakıtı aynı zamanda bujilere de taşıyan hava akımının girdap hareketi ile desteklenir. Yakıt, bujilere giderken emme havasıyla karışır (Volkswagen A. G, 2002).



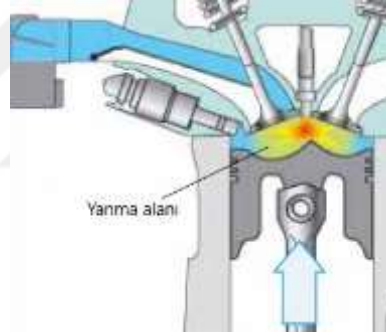
Şekil 1.6. Enjeksiyon döngüsü (Volkswagen A.G., 2002)

**1.12.2.4. Karışım oluşumu süreci:** Katmanlı yanma modunda, karışım oluşumu için sadece  $40^\circ$ -  $50^\circ$  arasında bir krank açısı mevcuttur. Bu açı karışımın tutuşabilirliğini etkileyen belirleyici bir faktördür. Enjeksiyon ve ateşleme arasındaki süre kısalsaydı, karışım yeterince hazır olmadığından tutuşmaz. Daha uzun bir aralık, yanma odası boyunca daha fazla homojenizasyona neden olacaktır. Bu nedenle, yanma odasının ortasındaki buji çevresinde yüksek derecede tutuşabilir atomize bir karışım oluşur (Volkswagen A.G., 2002).



Şekil 1.7. Karışım oluşumu (Volkswagen A.G., 2002)

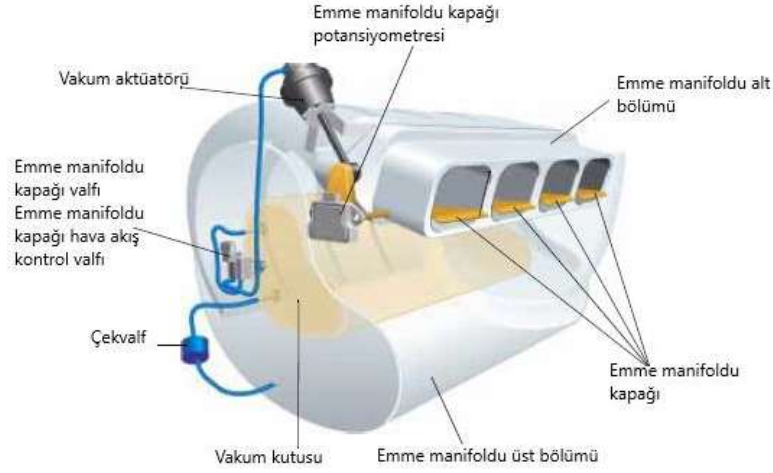
**1.12.2.5. Yanma işlemi:** Ateşleme çevrimi, hava-yakıt karışımını tam olarak bujilerin altındaki bölgeye yerleştirildiğinde başlar. Sadece atomize edilmiş karışım tutuşturulurken, diğer gazlar yalıtkan bir zarf görevi görür. Böylece silindir çeperindeki ısı kayıpları azaltılmış ve motorun ısıl verimi artırılmıştır. Ateşleme noktası, geciktirilmiş enjeksiyon bitiş noktası ve sıkıştırma işleminin sonunda karışım oluşumu için gereken süre nedeniyle dar bir krank mili penceresinde yer almaktadır. Şekil 1.9'da yanma işlemi görülmektedir (Volkswagen A.G., 2002).



Şekil 1.8. Yanma işlemi (Volkswagen A.G., 2002)

FSI motorda emme manifoldu üst ve alt bölüm olmak üzere iki kısımdan oluşur. Emme manifoldu potansiyometresi çalışma moduna bağlı olarak silindirdeki hava akışını kontrol etmek için kullanılır. Şekil 1.8'de emme manifold sistemi görülmektedir (Volkswagen A.G., 2002).

Temiz hava indüklendiğinde emme manifoldunda bir vakum oluşur. Vakum kutusu ve emme yolu doğrudan birbirine bağlı olduğundan, emme yolunda da vakum oluşmaktadır. Çek valf, motor kapatıldıktan sonra vakum kutusundaki vakumu korur. Emme manifoldu kapak valfi vakum kutusunda bulunur. Vakum kutusu motor kontrol ünitesi tarafından etkinleştirilir ve vakumu, emme manifoldu kapağının vakum aktüatörüne geçirir. Vakum ayar elemanı emme manifoldu kanadını çalıştırır (Volkswagen A.G., 2000).



**Şekil 1.9.** Emme manifoldu sistemi (Volkswagen A.G., 2002)

Emme manifoldu kapağı aktifleşmesi işlemi hem katmanlı yanma modunda hem de homojen modda emme manifoldu kanadı çalıştırılır ve silindir kafasındaki alt kanal kapatılır. Sonuç olarak, giriş havası yalnızca üst kanaldan silindire akar. Bu kanal, giriş havasının silindire tam yuvarlanacağı şekilde tasarlanmıştır. Dar üst kanal, akış oranının artmasına ve karışım oluşumunu desteklemesine neden olur.

Bunun iki avantajı vardır:

- Katmanlı yanma modunda, hava akışının girdap hareketi ile yakıtı bujilere iletir. Bujilere giderken karışım oluşumu gerçekleşir.
- Homojen modda, hava akımının girdap hareketi karışımının oluşmasına yardımcı olur. Bu, yüksek tutuşabilirlik ve hava/yakıt karışımının kararlı bir şekilde yanmasıyla sonuçlanır.

Emme manifoldu kapağı aktif değilse; daha yüksek motor yüklerinde ve hızlarında yani homojen çalışma modunda, emme manifoldu kapağı harekete geçmez ve her iki kanal da açıktır. Giriş kanalının daha büyük kesiti, yüksek motor torku ve yüksek güç çıkışları üretmek için gereken hava kütlesini çekmesini sağlar (Volkswagen A.G., 2002).

Katmanlı modda, yakıt sıkıştırma basıncının son üçte birinde silindire enjekte edilir. Piston tepesinin düz olmaması sebebiyle kolayca tutuşabilen hava-yakıt karışımı bölgesi bujinin çevresinde yoğunlaşmaktadır. Homojen modda, yakıt emme zamanında silindire enjekte edilir. Sıkıştırma zamanında yanma odasında homojen bir hava/yakıt karışımı oluşur. Emme havasının lambda değeriyle sınırlı olması gerektiğinden, yakıt tüketimi, geleneksel çok noktalı enjeksiyonlu (MPI) motorlarına kıyasla sadece biraz daha düşüktür (Krebs et al., 2002).

FSI teknolojisine sahip bir motorda, yakıt her bir emme supabının altına yerleştirilen enjektörler aracılığıyla doğrudan yanma odasına enjekte edilir. Yakıt 110 bara kadar olan bir basınç ile enjekte edilmektedir. Hava yakıt karışımı ön piston girintisi ve hava akışının tam hareketi ile desteklenerek doğrudan bujiye yönlendirilir. FSI motoru ile, düşük yakıt tüketimi, düşük egzoz emisyonları, yüksek güç ve tork hedeflerine ulaşmıştır (Pott, et al., 2000).



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

**Alexander and Porpatham 2019**, Etanol ve LPG ile beslenen SI (Buji Ateşlemeli) motorunun yanma özellikleri üzerine deneyler yapmışlardır. LPG ve LPG'ye az miktarda etanol eklenmesinin motor üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneyleri 1500 rpm sabit hızda, maksimum 4.4 kW güç çıkışı üreten, 10.5:1 sıkıştırma oranında ayarlanmış ve 661.5 cc'lik hacimli, sıralı, tek silindri, buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde yapmışlardır. Deney yakıtlarını hacimsel olarak %5 etanol + %95 LPG (LE<sub>5</sub>), %10 etanol + %90 LPG (LE<sub>10</sub>) ve % 20 etanol + % 80 LPG (LE<sub>20</sub>) gibi kategorilere ayırmışlardır. LPG etanol karışımları arasında LE<sub>10</sub>'un 37.65 bar'lık en yüksek silindir içi tepe basıncına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Isı yayılma oranının LE<sub>10</sub> yakıtı için 64.88 J/371 CAD (krank açısı derecesi), en yüksek değerin elde edildiğini ve ardından sırasıyla LE<sub>5</sub>, LE<sub>20</sub> ve LPG yakıtlarının olduğunu saptamışlardır. Genel olarak, LPG etanol karışımı için % 10 etanol (LE<sub>10</sub>) kullanımı üstün yanma özellikleri sergilediğini savunmuşlardır.

**Aliustaoğlu ve Ayhan 2019**, tek silindri dizel motorda çift yakıt (% 20 LPG - % 80 dizel) çalışmanın performans ve is emisyonlarına etkileri incelemişlerdir. İlk aşamada standart motor yük deneyleri yapılarak her bir devir için moment, güç, özgül yakıt sarfiyatı ve is emisyon değerleri belirlemişler ve ikinci aşamada ise LPG- dizel çift yakıt deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İlk aşamada elde ettikleri standart yük değeri gaz kolu yardımıyla % 20 oranında düşürülerek dizel yakıt miktarı azaltılmış, daha sonra, ikinci yakıt olarak LPG bir enjektör yardımıyla motor emme hattından püskürtmüşlerdir. Püskürtülen LPG'nin debisi ve enjektör püskürtme zamanı uygun yük değeri elde edilecek şekilde dinamometre yardımıyla ayarlamışlardır. Deney sonucunda ise tek silindri bir dizel motorda çift yakıt ile çalışıldığında; özgül yakıt sarfiyatında iyileşmeler olduğunu ve çevreye yayılan is emisyon miktarını standart duruma göre %38-42 arasında iyileştirmekte olduğunu belirtmişlerdir.

**Ansari ve diğerleri 2019**, farklı enjektör konumundaki sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) karışım özelliklerinin değerlendirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Deneylerinde Proton Gen 2 1.6 L doğal emişli (S4PH-1.6) SI motoru kullanmışlardır. LPG enjektörünün yanma odasındaki konumunun karışım özellikleri üzerindeki etkisini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) simülasyon tekniği kullanılarak araştırmışlardır. ANSYS 16.1 yazılımı kullanılarak 3 enjektör pozisyonunu simüle etmişlerdir. Sonuç olarak, simüle edilen üç konumdan, 3. konum (59.5 mm) motorun iyi

çalışması için homojen yakıt-hava karışımı sağlayacak en iyi enjektör konumu olduğunu tespit etmişlerdir.

**Cho ve diğerleri 2019**, yaptıkları çalışmada 2.4-L GDI (benzinli doğrudan enjeksiyonlu) motor ve turbo şarjlı 1.4-L T-LPDi tipi motor kullanmışlardır. Bir motor dinamometresi ile tam gaz kelebeği açıklığında motor torku ve motor gücünü ölçmüşlerdir. T-LPDi motorunun tam gaz kelebeği açıklığında motor torku ve gücünün, 1500 ila 4000 rpm arasında değişen çalışma alanı altındaki GDI motorundan daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Federal Test Prosedürü modu altındaki T-LPDi aracının CO<sub>2</sub> emisyonlarının, GDI aracına göre %22,89 oranında iyileştiğini tespit etmişlerdir. Binek otomobiller için motor gücü performansını koruyarak, T-LPDi araç teknolojisinin CO<sub>2</sub> ve parçacık emisyon hedeflerini karşılamak için kullanılabileceğini savunmuşlardır.

**Gong ve diğerleri 2019**, çalışmalarını tek silindirli, dört zamanlı ve çift yakıtlı port enjeksiyona sahip benzinli bir motorda gerçekleştirmişlerdir. Deneyler için iki ayrı yakıt enjeksiyonunu, motor torkunu ve geçici motor hızını ölçmek için girdap akım dinamometresi, silindir içi basıncı ölçmek için Kistler 6125B piezoelektrik basınç dönüştürücü kullanmışlardır. Devir başına daha fazla LPG veya metanol enjekte edildiğinde silindir içi basıncın ve maksimum motor devrinin artacağını, güvenilir bir şekilde ateşleme olacağını ve ayrıca metanol-LPG enjeksiyonun arasında yaklaşık 300 derece krank açısı aralığında çevrimde iyi bir yük oluşturacağını tespit etmişlerdir.

**Gürbüz ve diğerleri 2019**, yaptıkları çalışmada LPG yakıtlı 2 silindirli SI motoru, kısmi yükte ilk kez çevresel ve çevre-ekonomik boyutlarını araştırmışlardır. Deneyler çerçevesinde ölçülen parametreleri motor hızı, motor fren gücü, hava ve yakıtın kütle akış hızları, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz gazı emisyonları olarak belirlemişlerdir. LPG'yi, çok noktalı yakıt enjeksiyon tekniği kullanılarak motora yaklaşık 1,5 bar basınçta enjekte etmişlerdir. Motoru stokiometrik karışım oranında ( $\lambda = 1.0$ ), yarı açık gaz kelebeği konumunda ve 1800 ila 4000 rpm arasında değişen on üç farklı motor hızında çalıştırmışlardır. Deneyler sırasında emme havası sıcaklığını 30 °C, basıncını 78 kPa'da sabit tutmuşlardır. Motor gücü, tork ve yakıt tüketimi için üç ardışık ölçümün ortalaması olarak analiz etmişlerdir. Motorun 1600 rpm'de özgül yakıt tüketimi 396.173 gr kWh – 1 iken motorun üretilen gücü minimum 2.174 kW değerine ulaştığını, üretilen en yüksek gücün ise 4000 rpm'de 5.604 kW olarak ölçülmüş ve güç üretmek için minimum tüketilen yakıt 301.051 gr kWh– 1 olarak tespit etmişlerdir. 3200 rpm'de karbondioksit ve azot oksit emisyonları zirve değere ulaştığını saptamışlardır.

Yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonlarının motor gücü ile yaklaşık olarak doğrusal bir değişim eğrisi olduğunu da belirtmişlerdir. Karbondioksit ve azot oksit emisyonları ise silindir içi yanma koşullarına bağlı olduğunu savunmuşlardır. Motorun karbondioksit emisyonları ve motorun çevresel maliyeti, motor gücü ile doğru orantılı olacak şekilde arttığını ve azaldığını gözlemlemişlerdir. Çevre ve maliyet ve tüketimi açısından motorun düşük devirlerde çalıştırılmasını tavsiye etmişlerdir.

**Hadjkacem ve diğerleri 2019**, çalışmalarında, LPG-hidrojen karışımının bir motorun hacimsel verimliliğini optimize etmek için akustik süper şarj olgusu uygulanıp, emme basıncının motor performansı üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Birinci adımda motorun emme manifoldunun, plenumun uzunluğu değiştirilerek değişken bir geometride modifiye etmişlerdir. İkinci adımda ise borulardaki basınç dalgasının gelişimini simüle etmek için karakteristikler metodu kullanmışlardır. Sayısal sonuçları doğrulamak için deneysel verilerle analiz yapmışlardır. Emme manifoldunu 35 mm çapında değişken uzunluklu bir plenum ile donatmışlardır. Motoru ise 750 ila 3000 rpm arasında değişen farklı hızlarda çalıştırmışlardır. Simülasyonu gerçekleştirmek için belirli bir kod geliştirmişlerdir ve bu kodu “Matlab” programlama yazılımı ile yürütmüşlerdir. Fonksiyonları ve matematiksel prosedürleri bu yazılıma entegre etmişlerdir. Deneysel doğrulamasını ise dört silindirli bir motor ile yaptıklarını belirtmişlerdir. Maksimum genliklerin varlığı, akustik veya doğal bir süper şarjın nerede olduğunu gösterdiğini ve bu tür bir dalganın havanın yanma odasına yönlendirilmesine yardımcı olacağını, bunun da hacimsel verimde bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Minimum genliklerin varlığı, basınç dalgalarının gelen akışını önlediğini ve bunun da hacimsel verimliliği azalttığını tespit etmişlerdir. Motor hızı azaldığında dalga yayılma sürelerinin azaldığı kaydetmişlerdir.

**Karthic ve diğerleri 2019**, çalışmalarını 3.7 kW nominal güç çıkışlı, 1500 rpm hızında tek silindirli dizel motor üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneysel mahua yağı, dizel yakıtı, LPG ve Hidrojen katkılı LPG yakıtı kullanarak motorun performansı, yanma ve emisyon davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Emme stroku sırasında hava ile LPG + hidrojenin indüklendiği emme manifolduna iki ayrı nozul sabitlemişlerdir. LPG ve hidrojen, ilgili depolama silindirlerinden, silindire indüklendiğini ve güvenlik için yakıtın akış ölçer ve alev tutucudan geçtiğini belirtmişlerdir. Fren termal verimliliği mahua yağı kullanımında ile %28 iken LPG eklenmesiyle %29.3 'e yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Fren termal verimliliği 5 lpm LPG ile %29.3'ten 7 lpm H LPG (1 lpm H<sub>2</sub> + Değişen LPG akış hızları) ile % 30,5'e yükseldiğini belirlemişlerdir. Tüm LPG

akış hızlarına 1 lpm (dakikada litre) hidrojen eklendiğinde fren termal verimliliğinde iyileşme gözlemlendiğini saptamışlardır. Duman emisyonunda ise tek yakıt moduna kıyasla çift yakıt modunda önemli bir iyileşme olduğunu tespit etmişlerdir. Çift yakıt ile çalışma modunda HC ve CO emisyonlarında artmalar meydana gelirken hidrojen eklenerek bu emisyonların azaltılabileceğini tespit etmişlerdir. Dizel motordaki temiz mahua yağı performansının, çift yakıtlı çalışma modunda gaz yakıt kullanılarak artırılabilceğini belirtmişlerdir.

**Musthafa 2019**, çalışmasında zirkonya kaplamalı ve kaplamasız tek silindri dört zamanlı su soğutmalı dizel motor üzerinde çalışmıştır. Zirkonya kaplama silindir kafası, valfler, piston tepesine yapılmıştır. Çift yakıtla çalışan (LPG- Biyodizel) katkı maddesi (DTBP) olan ve katkı maddesi olmayan dizel motorunun performans ve emisyonlarını araştırmıştır. Deneylerini kaplamalı bir motorda DTBP (Di - Tert - Bütil Peroksit) ile harmanlanmış LPG - dizel yakıt ve LPG - biyodizel ile yapmıştır. Deneyini motorun ikili yakıt modunda çalışması için bir akış ayar vanası ve buharlaştırıcı ünitesi bulunan ayrı bir LPG hattına uyarlamıştır. Motor çalışması sırasında LPG yakıt tüketiminin hacmini, hava debimetresi (ıslak tip) ile ölçmüştür. Yüğü, kampana ve halat tipi dinamometre ile motorlara uygulamıştır. Egzoz gazı sıcaklığını ölçmek için bir Chromel - Alumel (k-tipi) termokupl, egzoz emisyonlarını (CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub>) ölçmek için ise bir DELTA 1600 L gaz analizörü kullanmıştır. Her yük durumunda, yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz emisyonlarını ölçmüş ve kaydetmiştir. Motor devri, motor çalışması boyunca 1500 rpm'de sabit olup, LPG'nin akış hızını, her bir yük durumu için akış düzenleyici valf ile değiştirmiştir. Pilot yakıt miktarını da yük durumuna göre LPG ve biyodizeli sırasıyla 80:20 ve 90:10 olacak şekilde ayarlamıştır. Deney sonuçlarını kaplanmamış dizel motoru ile karşılaştırmıştır. Deney verilerinin doğruluğu için deneyleri üç kez test etmiştir. Deney sonuçlarında ise kaplamalı motorda DTBP'li LPG-biyodizelin, tüm test koşullarında diğer test yakıtlarına kıyasla daha yüksek fren ısı verimi olduğunu saptamıştır. DTBP'li LPG-biyodizelin fren ısı veriminde tam yük koşulunun % 80' inde % 4.5 artış, yüğe karşı fren spesifik enerji tüketiminde % 4,2 oranında düşüş ve yüğe karşı egzoz gazı sıcaklığında da düşüş olduğunu belirtmiştir. Motor emisyon deneylerinde ise yüğe karşı CO miktarında azalma, HC miktarında DTBP'li LPG biyodizel 'in diğer test yakıtlarına kıyasla % 60 ve % 80 yük koşullarında daha düşük, kısmi yük deneyinde kaplamasız motorda dizel yakıtına daha yakın olduğunu belirtmiştir. Yük arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonu eğiliminde bir artış olduğunu belirtmiştir.

**Mustaffa ve diğerleri 2019**, çalışmalarında dört zamanlı 1.6 lt buji ateşlemeli (SI) motorunda sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) enjeksiyonunun motorun yanması, performansı ve emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini 3000 rpm'de ve %25, %50, %75 ve %100 olmak üzere dört gaz kelebeği konumunda (TP) gerçekleştirmişlerdir. Çıkan sonuçları referans yakıt, kurşunsuz benzin (ULP) ile karşılaştırmışlardır. Deneyde kullanılmış olan motoru, geleneksel enjeksiyon sisteminin aksine gaz fazından farklı olarak sıvı fazda LPG enjekte eden sıvı LPG sıralı çok nokta enjeksiyon sistemi ile donatmışlardır. Motor performansını 600 kW Dynapack girdap akımı şasi dinamometresi ile yakıt tüketimini Ono-Sokki gösterge ünitesi (FM-2500) ile birleştirilmiş %0,1 akış doğruluğu olan Ono - Sokki yakıt akış hızı dedektörü (FZ-2100) kullanılarak ölçmüşlerdir. Deney sonucunda sıvı LPG enjeksiyonunun 3000 rpm'de kurşunsuz benzinden daha iyi silindir içi basınç üretebildiğini, bunun sebebinin buharlaşma hızı, kalorifik değer ve alev hızı gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Kütle fraksiyon yanma sonuçlarında ise LPG yakıt yanması ve LPG yanma oranının krank açısının herhangi bir derecesinde kurşunsuz benzinde daha hızlı olduğunu tespit etmişlerdir. Fren spesifik yakıt tüketimi için, %50 ve %75 gaz kelebeği konumunda iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir.

**Putra ve Qiram 2019**, yaptıkları çalışmada geleneksel 4 silindirli bir motor üzerinde sıvı yakıt (pertalit) ve gaz (LPG) karışımında üretilen enerjinin bir analizini tespit etmişlerdir. Deneylerini 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm ve 2500 rpm olmak üzere dört parametrede yapmışlardır ve 0.9 ml/s, 1.4 ml/s, 1.8 ml/s ve 2.2 ml/s olmak üzere dört farklı yakıt tüketimi kullanmışlardır. Devir sayısı arttıkça pertalit kullanımı azaldığını belirtmişlerdir. Pertalitte maksimum tork 4470 rpm'de 3,1 kW'tır ve minimum tork 3910 rpm'de 7,1 Nm olduğunu tespit etmişlerdir. LPG'deki maksimum tork ise 4930 rpm'de 4,5 kW iken, minimum tork 5090 rpm'de ise 9.2 Nm olarak belirtmişlerdir. Devir sayısı arttıkça, pertalit kullanan güç artma eğilimi gösterdiğini tespit etmişlerdir. Test sonuçlarından, pertalit yakıt kullanan motor torkunun ve gücünün LPG gaz yakıt kullanan motor torkundan ve gücünden daha yüksek olduğunu saptamışlardır.

**Rahman 2019**, çalışmasında buji ateşlemeli (SI) benzinli bir motorda etanol (E20; %20 etanol+%80 benzin) ile hidrojen, hidroksi ve LPG kullanımının performans ve emisyon özelliklerini incelemiştir. Çıkan sonuçları SI motorunda saf etanol karışımı ile karşılaştırmıştır. Böylece ulaşım araçları için hangi yakıtın daha iyi olduğunu gözlemlemiştir. Deneylerini iki aşamada gerçekleştirmiştir. İlk olarak, motorun yükünü değiştirip hızı 3000 rpm'de sabit tutmuştur. İkinci olarak ise motor hızını değiştirmiştir.

Motoru ardışık olarak etanol-hidrojen ( $E_{20} + H_2$ ), etanol-hidroksi gazı ( $E_{20} + HHO$ ) ve son olarak etanol-LPG ( $E_{20} + LPG$ ) ile çalıştırmıştır. Motor performansı ve motor emisyonlarını analiz etmiştir. Gaz yakıtlarının  $E_{20}$  ile zenginleştirilmesinin fren termal verimliliğinde bir artış olduğunu tespit etmiştir. Bu artış oranının LPG için % 4-6, hidrojen için % 11-12, hidroksi için % 14-17 oranında olduğunu belirtmiştir. Hidrojen, hidroksi veya LPG ile zenginleştirilmiş  $E_{20}$ 'nin frenlere özgü yakıt tüketimi üzerinde pozitif bir etkisi olduğunu tespit etmiştir.  $E_{20}$  ile karşılaştırıldığında, LPG indüksiyonu için CO emisyonunun azaltılması %14- 15, hidrojen için % 28- 30, hidroksi için % 35- 39 olarak belirlemiştir ve hidroksi indüksiyonu için maksimum CO azalması olduğunu saptamıştır. CO<sub>2</sub> emisyonun azaltılması hidrojenin indüksiyonu için % 43- 50, LPG için % 12 - 18 oranında ve hidroksi için % 31 - 37 oranında olduğunu belirlemiştir. Hidrojen indüksiyonu için maksimum CO<sub>2</sub> azalması olduğunu tespit etmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonunda ise LPG indüksiyonu için % 13- 16, hidrojen için % 26- 31 ve hidroksi için % 48 - 55 artış olduğunu belirlemiştir. Gaz halindeki yakıtların NO<sub>x</sub> emisyonu hariç motor performansını ve emisyon özelliklerini arttırdığını ve hidroksinin diğer yakıt türlerine kıyasla en yüksek motor performansına sahip olduğunu savunmuştur.

**Sinaga ve diğerleri 2019**, yaptıkları çalışmada, B<sub>20</sub> biyodizel yakıtı ve çift yakıtlı (B<sub>20</sub> + LPG) bir dizel motorun çalışma performansını, ekonomik değerini, motor devrini araştırmışlardır. LPG fraksiyonu ve gaz kelebeği açıklığıyla iki parametrede deneylerini gerçekleştirip sonuçları kaydetmişlerdir. Bu deneyde tork, güç, fren özgül yakıt tüketimi ve fren termik verimliliğini gözlemlemişlerdir. Deneylerini laboratuvar ortamında % 50 ve % 100 gaz kelebeği açıklığında, % 10 ve % 70 LPG fraksiyonu ile gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyde yük regülasyonunu, bir motor hız göstergesi ve yük hücresi ile donatılmış bir girdap akımı dinamometresi kullanarak yapmışlardır. Bir termokupl sensörü kullanarak da soğutma suyu radyatörü, emme havası ve egzoz gazı kanallarının sıcaklık ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu deney sonucunda % 50 gaz kelebeği açıklığında ve % 70 LPG oranında, tek yakıtlı bir motor (1524 rpm) tarafından üretilen maksimum torku 22.63 Nm maksimum gücü ise 3,62 kW olarak, çift yakıtlı motor (1632 rpm) tarafından üretilen maksimum tork 23.15 Nm olarak gücü ise 3,94 kW olarak ölçmüşlerdir. % 100 gaz kelebeği açıklığında ve % 70 LPG oranında, tek yakıtlı bir motorun (1906 rpm) ürettiği tork 22,72 Nm iken gücü (2228 rpm) 5,04 kW olarak çift yakıtlı motorun (2158 rpm ) ürettiği torku 23,23 Nm ve gücü (2228 rpm ) 7,75 kW olarak ölçmüşlerdir. Çift yakıtlı motor tarafından üretilen güç ve tork değerlerinin, tek yakıtlı motordan daha yüksek olma eğiliminde olduğunu

savunmuşlardır. Çift yakıtlı motorun en iyi çalışma koşulunun % 100 gaz keleşi açıklığı ve % 50 LPG oranında olduğunu saptamışlardır. Fren özgül yakıt tüketiminde tek yakıt modundan çift yakıt moduna kıyasla % 12 civarında bir artış olduğunu ve çift yakıt modunda fren termal verimliliğinin yaklaşık % 9 oranında bir artış olduğunu saptamışlardır. Çift yakıtlı (B<sub>20</sub>-LPG) motorlarının kullanımının işletme maliyetlerini % 40'a kadar azaltılabileceğini savunmuşlardır.

**Usman ve Hayat 2019**, deneylerinde hava soğutmalı 4 zamanlı, 152 cc'lik buji ateşlemeli bir motosiklet motoru kullanmışlardır. Her iki yakıt (LPG ve benzin) içinde motosiklet 1000 km'yi benzer rotada tamamlamıştır. İlk olarak her iki yakıt için motosiklet motor performansı ve emisyonlarını taze yağlama yağı kullanarak elde etmişlerdir. İkinci olarak ise motor performans ve emisyonlarını kullanılmış motor yağlama yağları kullanarak elde edip analiz etmişlerdir. Bu şekilde, her iki yakıt için yeni ve kullanılmış yağlama yağı koşullarında emisyon ve performans karşılaştırması yapmışlardır. Deney düzeneğine tork kolu ve su dinamometresi bağlamışlardır. Su, üç kademeli bir elektrik pompası ile verilmiştir. Bu deneyde değişik vites aralıkları kullanmışlardır. Bu deney sonucunda benzinli motorda LPG kullanım hızı % 6,9, torku % 10 ve gücü % 17,4 azalttığını gözlemlemişlerdir. LPG için kullanılmış yağlama yağında motor gücünde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. LPG yakıt kullanımında bozulmuş yağlama yağlarında daha düşük HC ve NO<sub>x</sub> ürettiğini, benzine kıyasla daha düşük CO ve CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olduğunu ve benzinin ise daha yüksek CO ve CO<sub>2</sub> ürettiğini saptamışlardır.

**Ahn ve diğerleri 2020**, yaptıkları çalışmada piston başı yönlendirmeli 2.0 litre turbo şarjlı direkt enjeksiyonlu bir motorda, kısmi yük koşullarında benzin ve LPG kullanarak motor kontrol parametrelerinin parçacık emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Benzinli direkt enjeksiyon motoruna LPG yakıt sistemi kurmuş ve motoru bu sistemi kullanarak doğrudan LPG enjeksiyon motoruna dönüştürmüşlerdir. Test edilen motora, sürekli değişen çift valf zamanlamasına sahip bir valf aktarma cihazı eklemişlerdir. Deneylerini şehir içi sürüş döngüsü prosedürüne (FTP-75) göre gerçekleştirmişlerdir. 1600 rpm / 40 Nm, 2000 rpm / 75 Nm ve 2400 rpm / 110 Nm olmak üzere üç motor çalışma koşulu seçmişler ve deneylerini buna göre yapmışlardır. Ateşleme zamanlaması, yakıt enjeksiyon basıncı, enjeksiyonun başlaması ve hava-yakıt oranı olmak üzere dört kontrol parametresi belirlemişlerdir. Kısmi yük deney sonucunda turbo şarjlı benzinli direkt enjeksiyon motoru (T-GDI) 1600 rpm / 40 Nm ve 2400 rpm / 110 Nm koşullarında yüksek bir basınç gösterdiğini, fakat turbo şarjlı doğrudan LPG

enjeksiyon motorunun (T-LPDi) 2000 rpm / 75 Nm koşulunda yüksek bir basınç gösterdiğini tespit etmişlerdir. T-LPDi motor tipik emisyon seviyelerine sahip olduğunu, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları sırasıyla yaklaşık %4.29 ve %0.88 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. T-LPDi motorun sıcaklığı, T-GDI motorun sıcaklığından yaklaşık 50 °C daha düşük olduğunu bunun ise T-LPDi motorunun daha yüksek bir termal verimliliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Parçacık emisyon karakteristikleri ise T-GDI motoru için, tepe çekirdeklenme modu ve birikim modu olmak üzere iki formda görüldüğünü; T-LPDi motorunda ise sadece tepe çekirdeklenme modunda tek bir forma sahip olduğunu saptamışlardır. Ateşleme zamanlaması; T-LPDi motorunun gelişmiş ateşleme zamanlaması için artan bir eğilim göstermekte olduğunu, T-GDI motorunun enjeksiyon basıncının T-LPDi motorunun enjeksiyon basıncından nispeten küçük olduğunu, enjeksiyonun başlatılmasında ise T-LPDi motorunun enjeksiyonun başlamasından önemli ölçüde etkilenmediği tespit etmişlerdir.

**Kim ve diğerleri 2020**, yaptıkları çalışmalarında LPG direkt enjeksiyonlu (LPDI) motorların yanma ve girdaplama tekniği uygulayarak yanma ve emisyon gibi özellikleri üzerindeki etkilerini sayısal olarak analiz etmişlerdir. Simülasyonun üretimi için ticari yazılım STAR-CD sürüm 4.26 kullanılmışlardır. Bu simülasyonları 2400 rpm ve 110 Nm sabit hızlarda LPDI motoru ile gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, giriş strokundaki emme havasını stabilize etmek için başlangıç noktası olarak 300 ° CA (krank açısı) belirlemişlerdir. Silindir içi aşırı hava oranı ( $\lambda$ ) yanmadan hemen önce 1.0 ve 1.5'e ayarlanmış ve simülasyonların her bir aşırı hava oranında MBT'de (en iyi tork için minimum kıvılcım ilerlemesi) gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonu, sekiz farklı giriş portu alanı için, %25 ve %50 girdap için iki fazlı hava oranında yapmışlardır. Tüm parametreler için giriş deliği alanı olmadan aynı silindiri kullanmışlardır. Girdap parametresinde giriş port alanının sol tarafının, %25 ve %50 girdabının bloke edilmesiyle gerçekleştirilmiş ve takla parametresi içinde giriş port alanının alt tarafının, yani %25 ve % 50 takla ile gerçekleştirmişlerdir. Giriş portu geometrisinin modifikasyonu ile LPDI motoruna takla ve girdap uygulandığında, stokiyometrik ve yağsız yanma koşullarında tabana kıyasla yakılan kütle oranı ve türbülans kinetik enerjisi girdap oranında iyileşmeler olduğunu belirtmişlerdir. Takla ve girdaplı kasalar, yağsız yanma koşulu altında taban kasanınkinden daha yüksek silindir içi basınç ve sıcaklık gösterdiğini tespit etmişlerdir. %50 takla ve % 50 girdap durumunda, yanma hızındaki artış nedeniyle yanma veriminin arttığını, bu da CO emisyonunda bir azalmaya neden olduğunu saptamışlardır. Stokiyometrik şartlar altında, takla ve girdap

durumunda silindirdeki sıcaklığın arttığını, bunun da NO emisyonunda artış ile sonuçlanacağını belirtmişlerdir. Silindir içindeki sıcaklık arttıkça kurumun arttığını bu yüzden girdap ve yuvarlamaları kasalarda kurum artma eğilimi olduğunu saptamışlardır. **Kontses ve diğerleri 2020**, çalışmalarında dizel, benzinli (DI ve PFI), LPG, CNG ve hibrid elektrikli güç aktarma organları ile çalışan 8 otomobilin PN (partikül numarası) emisyonlarını araştırmışlardır. Bu çalışmaya iki eski teknoloji Euro 3 ve 4 standardına sahip benzinli taşıt (1,2) ve Euro 6b standardına uygun (3-8) olarak 2015-2017 arasında tescil edilen araçlardan seçmişlerdir. Her araç ve yakıt tipini, Selanik metropol bölgesinde iki test yolu altında değerlendirmişlerdir. RDE (Gerçek Sürüş Emisyonları) uyumlu rota üzerinde testlerini, soğuk ve sıcak marş motor koşullarında olmak üzere, her durumda en az iki tekrar ile gerçekleştirmişlerdir. Motor ve araç verilerini bir dahili teşhis (OBD) tarayıcısı ile kaydetmişlerdir. Rota özelliklerini (yükseklik, boylam, enlem) ve ortam koşullarını (sıcaklık, nem) bir GPS ile toplanmışlardır. Egzoz gazı sıcaklığını da çoğu durumda ölçmüşlerdir ve tüm cihazları, motordan güç talep etmeden bir akü paketi ile güçlendirmişlerdir. Eski teknoloji (Euro3 ve 4) LPG araçları ile en son Euro 6 olan arasında PN emisyon seviyelerinde büyük bir fark gözlemişlerdir. Eski araçlar, PFI teknolojisine rağmen, soğuk çalışma RDE uyumlu sırasında  $6 \times 10^{11}$  p/km sınırını 2,3 kat (Euro 3) ve 3,5 kat (Euro 4) kat aşmış olduğu saptamışlardır. Euro 6b LPG aracının ise PN emisyonlarının,  $6 \times 10^{11}$  p/km sınırını aşmadığını belirtmişlerdir. Benzinli PFI araçlarının ise bu çalışmanın en yüksek kirleticileri arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Dizel otomobillerde ise mevcut çalışmanın en düşük PN emisyonlarını içermektedir. CNG 'nin, benzine kıyasla önemli emisyon azaltımları sağladığı savunmuşlardır ve hibrit-elektrik motorunda ise emisyonlar da artış olduğunu tespit etmişlerdir.

**Organ ve diğerleri 2020**, otomotiv tamir ve bakım endüstrisi için LPG ve benzinli araçların emisyonla ilgili arızalarını etkin bir şekilde tanımlamak ve onarmak için gerekli bilgiler üzerinde çalışmışlardır. Bu arızaları giriş, yakıt, ateşleme ve egzozdan meydana gelebilecek arızaları kapsayacak şekilde belirlemişlerdir. Birçok otomotiv tamircisinin aşına olduğu ve birçok atölye tarafından kolayca üzerinde çalışılabilen bir aracın belirlenmesine dikkat etmişler ve tercih edilen araç olarak Toyota Crown Comfort LPG taksisini seçmişlerdir. Bu aracı 1.988 litre doğal emişli LPG yakıtlı 4 silindirli motor ile donatmışlardır. Test sonuçlarını, motor ve tüm donanımın düzgün bir şekilde çalışan taksi ile karşılaştırmışlardır. Ana yakıt ve rölanti yakıt dağıtımındaki yakıt sistemi arızalarının sürüş deneyiminin kalitesini düşürdüğünü, hızlanma

düzensizliğini, sürüş stabilitesini ve rölanti kontrolünü etkilediğini tespit etmişlerdir. Buharlaştırıcıdaki kısıtlı ana yakıt arızasının NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırmasının yanı sıra performansı da etkilediğini belirtmişlerdir. Egzoz sistemi arızalarından; eskimiş üç yollu katalitik konvertör, oksijen sensörü hataları ve EGR valfi arızalarının sürülebilirlik üzerinde etkisi olmadığını fark etmişlerdir. Toplam hidrokarbon emisyonlarındaki en yüksek artış, THC için simüle edilmiş hatalı oksijen sensörü sinyalinin sonucunda olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek CO emisyonları, yüksek gerilim oksijen sensörü (3.09 g/km), kısıtlı rölanti yakıt beslemesi (2.388 g/km) ve aşınmış üç yollu katalitik konvertör (1.89 g/km) tarafından üretildiğini saptamışlardır. Motor donanımı ve emisyon kontrol sistemlerinin birlikte düzgün çalıştıklarında, emisyon kirliliği ve araç sürüş performans hedeflerine ulaşabilecek kapasiteye sahip olduklarını savunmuşlardır.

**Usman ve diğerleri 2020**, yaptıkları çalışmada LPG'nin sürdürülebilir çevre üzerinde etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında SI (buji ateşlemeli) motorlarda benzin, LPG ve LPG-HHO (hidroksi gazı) karışımının yanmasıyla test motorunun performans parametrelerini incelemek için deneysel bir sistem kurmuşlardır. İkinci olarak ise çevresel boyutları göz önüne alındığında, HC, CO, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını analiz etmişlerdir. Emisyon verilerinin doğruluğunu belirlemek için de Weibull dağılımı kullanmışlardır. Deneylerini de 4 zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı 219 cc kıvılcım ateşlemeli motor da yapmışlardır. Motoru, 1600 d/d ile 3400 d/d arasında değişen %60 açık gaz keleşi ile çalıştırmışlardır. LPG-HHO karışımının, LPG'ye kıyasla yaklaşık %7'lik bir fren gücü çıkışı sağladığını ve benzinin ise LPG- HHO'nun yakıt karışımından %23 daha fazla fren gücü çıkışı sağladığını belirtmişlerdir. LPG-HHO harmanının fren özgül yakıt tüketiminde ise benzine göre %42, LPG'ye göre %17 oranında azaldığını gözlemlenmişlerdir. Fren termal verimliliğinde ise LPG - HHO karışımının, LPG'ye ve benzine göre sırasıyla % 28.9, % 40'lık yüzdelerde iyileşmeler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ortalama CO emisyonlarında, LPG-HHO karışımı LPG ve benzin yakıtına göre sırasıyla % 21 ve % 48.1 oranlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. LPG-HHO karışımında ortalama CO<sub>2</sub> üretimi LPG'ye göre % 9 daha düşük olduğunu ve egzozdaki yanmamış hidrokarbonun fraksiyonları, LPG-HHO karışımı durumunda LPG ile karşılaştırıldığında %21.8 azalmış olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte, ortalama NO<sub>x</sub> emisyonlarını LPG- HHO karışımı için LPG muadilinden % 16.1 daha yüksek olarak tespit etmişlerdir. LPG- HHO tek LPG yanmasına göre avantajlı olduğunu ve bu karışımının gelecek nesiller de sürdürülebilir çevre için katkıda bulunacağını savunmuşlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada günümüzde kullanılmakta olan LPG ekipmanlarından, katmanlı yanma sistemi (FSI)'ne sahip, bölüntülü emme manifoldlu, direk enjeksiyonlu benzinli motorlara uygun olan karma LPG sistemi incelenerek, sistem tanıtılmış, daha önce kullanılan LPG sistemlerinden farklılıklarına değinilmiştir.

#### 3.1. Materyal

LPG, güç kaybını önlemek ve egzoz emisyon değerlerini yeni normlara uygun hale getirmek için, benzinli sistemlerdeki gelişmeye paralel gelişme ve yenilenmelere göre kendini sistem olarak yenilemiştir (Aydın ve Acaroğlu, 2009). Araçlar üzerinde kullanılan günümüz teknolojilerinden birisi de karma LPG sistemidir. Karma LPG sistemi daha çok katmanlı yanma sistemine sahip direkt enjeksiyonlu araçlarda kullanılmaktadır.

MPI ve direkt enjeksiyonlu motorlarda 4, 5, 6, 8 silindir olarak kullanılabilen Atiker Elit LPG sistemleri, hızlı mikro işlem yapısına sahip, çabuk programlanabilir ve güncellemeleri aktif hale getirme imkânı sunmaktadır. Performans ve tasarruftan ödün vermeyen, kendini çevre dostu olarak kabul ettiren güvenli bir sistemdir (AKL, 2020).

#### 3.1.1. Karma LPG Sistem Ekipmanları

##### 3.1.1.1. ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi)

Karma LPG sistemi elektronik kontrol ünitesi, OBDII bağlantısı ile aracın yakıt ve performansını her an kontrol altına alarak ekonomik ve uzun ömürlü bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.1. ECU

Direkt enjeksiyonlu araçlarda son teknoloji ve OBDII bağlantısı ile %100 uyumlu çalışmaktadır. TSI, TFSI, FSI, GDI, TCE, TGDI, ECOBOOST, TWIN-TURBO motorlu araçlara uygulanabilmektedir.

### 3.1.1.2. Regülatör

Karma LPG sistemi regülatörü 130, 220, 300 kW'a kadar güce sahip içten yanmalı motorlarda kullanılabilir. Hızlı ısınma ve geç soğuma özelliği ile buhar fazını stabil tutarak en yüksek performansı sağlamaktadır. Regülatörün ısınması motordan devir daim eden soğutma sıvısı sayesinde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.2. Regülatör

### 3.1.1.3. Enjektör

Karma LPG sistemi yakıt enjektörü, ECU'dan aldığı bilgiler doğrultusunda emme manifolduna LPG'yi püskürten parçadır. Bobin direnci 1,9 ohm, kapatma zamanı 1 ms, açma zamanı 2 ms, maksimum gaz basıncı 4,5 bar ve sıcaklık aralığı -20 °C ile +140 °C şeklindedir. LPG enjektörlerden gaz halinde püskürtülür.



Şekil 3.3. Enjektör

#### 3.1.1.4. Anahtar

Karma LPG sistemi anahtarı aracın benzinden LPG'ye ya da LPG'den benzine geçişini sağlar. Üzerindeki ledli gösterge sayesinde LPG deposundaki yakıt miktarı seviyesini gösterir. Göstergedeki son ışık seviyesinde araç yaklaşık olarak 50 km daha yol yapar.



Şekil 3.4. Anahtar

#### 3.1.1.5. Filtre

Karma LPG sistemi filtre ünitesi özel plastik gövdesi ile uzun ömürlü, kompakt tasarıma sahiptir. LPG yakıtının temizlenmesini sağlar. Filtre kağıt elemanlıdır. Kuru tiptir.



Şekil 3.5.Filtre

#### 3.1.1.6. Gaz Kesici

Gaz kesici araç kontağı kapalı iken veya araç benzinde çalışırken kapalı konumdadır. Maximum çalışma basıncı 30 bar ve çalışma derecesi ise -20 °C ile +120 °C şeklindedir. Sistem üzerinde Regülatör ile depo arasında bağlıdır.



Şekil 3.6. Gaz Kesici

### 3.1.1.7. Şamandıra

Şamandıra LPG tankında yakıt seviyesini gösteren ve LPG'yi yönlendiren cihazdır. Çıkış noktasında emniyet için bir adet kapatma vanası ve kapama valfi yer almaktadır. Tankın olası yangın esnasında patlamasına karşı kurşun sistemi ile tankın patlaması engellenmiştir.



Şekil 3.7. Şamandıra

### 3.1.1.8. MAP Sensörü (Mutlak Basınç Sensörü)

Aracın hava-yakıt basınç değerlerini ölçer. Emme manifoldundaki atmosferik basıncı ve regülatörden çıkan gazın basıncını ölçerek ECU'ya gerekli sinyalleri gönderir ve aracın LPG de çalışmasına izin verir.



Şekil 3.8. MAP

### 3.1.1.9. LPG Deposu

Taşıt için gerekli olan LPG yakıtına depoluk eder. Araç tipine göre değişik hacimlere sahiptir.



Şekil 3.9. LPG Deposu



Karma LPG sistemi kullanımının avantajları şu şekildedir:

- Egzoz emisyonu açısından benzinli motora göre daha az emisyon salar.
- Taşıt istendiğinde hem LPG ile hem de benzin ile çalışabilecektir.
- Taşıt benzin sisteminde herhangi bir arıza olması durumunda (yakıt pompası arızası, yakıt filtre arızası vb.), direkt LPG yakıtı ile çalışmaya olanak vermektedir. Bu durum kullanıcı açısından büyük bir avantajdır.

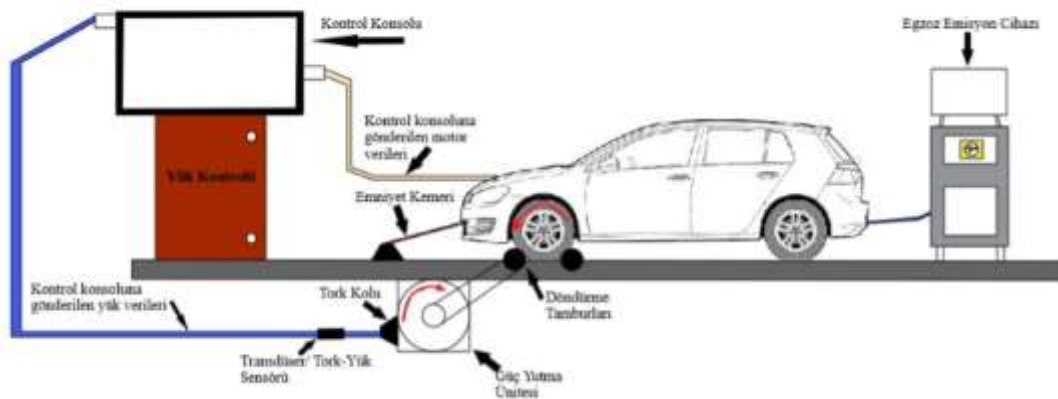
### 3.1.2. Üzerinde Karma LPG Montajı Yapılmış Deneş Taşıtı

Üzerinde AKL marka karma LPG sistemli Otogaz dönüşüm kiti monte edilmiş, Volkswagen Touran 1.6 FSI direkt enjeksiyon sistemli araç üzerinde performans ve emisyon deneyleri yapılmıştır. Deneş taşıtı Şekil 3.11’da verilmiştir.



Şekil 3.11. Karma LPG Montajı Yapılmış Deneş Taşıtı

Deneş düzeneği Şekil 3.12’da görölmektedir.



Şekil 3.12. Deneş Düzeneđi

Deneş taşıtının teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Deney taşıtının teknik özellikleri

Markası	Volkswagen
Versiyon Adı	Touran 1.6 FSI Comfortline
Kategori	Binek Araç
Motor Tipi	FSI
Enjeksiyon tipi	Direkt Enjeksiyon
Motor Hacmi (cc)	1598
Maksimum Hız (km/h)	182
Maksimum Güç (HP)	115 / 4500 min <sup>-1</sup>
Maksimum tork (Nm)	155 / 4000 min <sup>-1</sup>
Çalışma Prensibi	4 Zamanlı
Silindir Sayısı	4
Supap Sayısı	16
Soğutma Sistemi	Su ile Soğutma
Şanzıman Tipi	DSG 6 Vites/ Önden Çekiş
Uzunluk (mm)	4391
Genişlik (mm)	1794
Yükseklik (mm)	1652
Dingil Mesafesi (mm)	2678
Bagaj Hacmi (lt)	695
Jantlar- Ön ve Arka	6 J × 15
Lastikler- Ön ve Arka	195/65 R15
Ön Süspansiyon	Helezon Yay
Arka Süspansiyon	Küçültülmüş Gergi
Ön ve Arka Fren	Hava Soğutmalı Disk / Disk

### 3.1.3. Deneylerde Kullanılan Dinamometre

Deneylerde, Şekil 3.13'te gösterilen CORGHI BT90 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 3.13.** Taşıt Dinamometresi

Dinamometreye ait teknik özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Dinamometre teknik özellikleri (Corghi, 2020)

<b>Teknik Özellikler</b>	
Makara Geniřliđi (mm)	650
Makara apı (mm)	318
Dinamometre Boyutları (mm)	2400×980×380
Makara Arası Mesafe (mm)	550
Aks Açıklığı (mm)	850-2.100
Yol (mm)	850-2.100
Kaldırma ve Blokaj	Pnömatik
Ağırlık (kg)	1200
Maksimum Hız (km/h)	300
Maksimum Devir (d/d)	5000
Tekerlekteki Maksimum Güç (kW)	400
Makara Devir Ölçümü (d/d)	6000
Tekerlek Boyutu (inch)	13-23

### 3.1.4. Deneylerde Kullanılan Egzoz Emisyon Cihazı

Deneylerde, teknik özellikleri Çizelge 3.3'te verilen BİLSA MOD 2210 marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Cihaz ile ölçüm yapılmadan önce filtreleri değiştirilmiştir. Şekil 3.14'te BİLSA MOD 2210 marka egzoz emisyon cihazı görülmektedir.



Şekil 3.14. BİLSA MOD 2210 Marka Egzoz Emisyon Cihazı

Çizelge 3.3. Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri (Bilsa,2019)

Parametreler	Hassasiyet	Ölçme Sınırı
CO (%)	0.001	0-10
HC (ppm)	% 1	0-10000
CO <sub>2</sub> (%)	0.001	0-20
O <sub>2</sub> (%)	0.01	0-25
CO Corr. (%)	0.001	0-10
AFR		5-30
Motor Yağ Isısı (°C)	1	0-150
Lambda	0.001	0.5-2
Opasite (%)	0.1	0-100
Devir (rpm)	10	0-9990
Algılama Süresi		<5 sn
Çakışma Ortam Sıcaklığı (°C)	%0.01	0-40
Ölçüm Oda Sıcaklığı		70-100 °C
Besleme Voltajı ve Frekansı		220 V AC/50 Hz

### 3.1.5. Deney Yakıtları

Deneylerde piyasada BP firmasından temin edilmiş TS EN 228 standartlarına sahip kurşunsuz benzin (%5 biyoetanol katkılı) ve TS EN 589 standartlarına sahip LPG yakıtı kullanılmıştır. Şekil 3.15'te deneylerde kullanılan yakıtların yakıt etiketleri görülmektedir.



Şekil 3.15. Deneylerde kullanılan yakıtlar

### 3.2. Metot

Taşıt deneyleri DIN 70020 standartlarına göre yapılmıştır. Taşıt deneylerinde yakıt olarak kurşunsuz benzin ve LPG yakıtı kullanılmıştır. Üzerinde karma LPG sistemi takılı, dört zamanlı, dört silindirli, direkt enjeksiyonlu, FSI motor sistemine sahip benzinli bir taşıt, dinamometre üzerinde değişik vites kademelerinde kullanılmıştır. Taşıt dinamometresi ile değişik devirlerde ve hızlarda güç değerleri ölçülmüştür. Egzoz emisyon cihazı ile CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve lambda değerleri belirlenmiştir. Deneyler üçer kez tekrarlanarak sonuçlar elde edilmiş ve ölçülen değerlerle taşıtın karakteristik eğrileri çizilmiştir. Motor yağlama yağı olarak motor kataloğunda belirtilen motor yağı kullanılmıştır. Çalışma aşağıdaki ana başlıklar altında gerçekleştirilmiştir:

- Karma LPG montajı yapılmış taşıtın sağlanması,
- Aracın güvenli bir şekilde şasi dinamometresine bağlanması,
- Aracın benzin ile alıştırma testlerinin yapılması,
- Aracın benzin ile performans ve egzoz emisyon testlerinin yapılması,
- Aracın LPG ile performans 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 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; Kırmaz, 2019). Bir taşıt sürekli değişen direnç kuvvetlerinin etki altında kalmaktadır. Bununla birlikte sürücünün taşıta hız kazandırma veya ivmelendirme isteğine karşılık içten yanmalı motorun gerektiği zaman ise hız artışı sağlaması gerekmektedir. Taşıtta güç sabit kaldığında taşıtın hızına bağlı olarak moment azalmaktadır. Taşıt hızının düşük kaldığı durumlarda yüksek moment gerekmektedir. Moment değeri taşıtın ilk harekete geçişin ve eğim çıkabilme yeteneğini belirlemektedir (Sancak, 2020). 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
$r_w$	: Tekerlek yarıçapı (m)
$\eta_{tr}$	: Transmisyon verimi

### 3.2.2. Tahrik Gücü

Tekerlek gücüne taşıt hızı ve tahrik kuvveti olmak üzere iki faktör etki eder. Tahrik kuvveti maksimum olduğu an tekerlek gücü maksimumdur. Taşıt hızlandıkça tahrik kuvvetinin düşmesine rağmen tekerlek gücü artar. Ancak belirli bir devirden sonra taşıt hızındaki artış tekerlek tahrik gücündeki düşmeyi karşılayamayacağından ve motor gücündeki düşüştten dolayı tekerlek gücünde azalmaya başlar (Örs, 2007; Kırmaz, 2019). 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; kurşun bileşikleri, yakıt- yağ buharı, egzoz emisyonu, aşınma-paslanma ve korozyon ve lastik tozları sonucu oluşan katı, sıvı ve gaz atıklarla çevreyi kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan HC, CO, NO<sub>x</sub> ve partikül maddelerdir. Bunlardan NO<sub>x</sub> ve partikül maddeler daha çok dizel taşıtlardan kaynaklanmaktadır (Kırmaz, 2019).

Karbon monoksit kimyasal formülü CO olarak bilinen, renksiz, kokusuz ve oldukça zehirli bir gazdır. Karbon içeren bileşiklerin kısmi yanması sonucu karbon monoksit oluşmaktadır. Buji ile ateşlemeli içten yanmalı bir motordaki CO oluşumu öncelikli olarak yakıt / hava oranıyla kontrol edilebilmektedir. CO oluşum reaksiyonu basit olarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilmektedir.



CO oluşumu, yakıt / hava oranının yanı sıra silindir içerisindeki yakıtla havanın homojen karışımına da bağlıdır (Eyidoğan, 2009).

Egzoz gazları içerisindeki HC oluşması, düşük devirlerde azalan emme periyodu ile birlikte silindir içerisine alınan H/Y oranının tam olarak ayarlanamaması ve HFK sayısı 1'den küçük değerlere kadar düşmesi sonucudur. Yani yetersiz oksijen durumunda oluşur. Yüksek motor hızlarına çıkıldıkça HFK 1'e yaklaşmakta ve daha iyi bir yakıt hava dolgusu sağlamaktadır. Silindir içerisindeki iyi bir yakıt hava karışımı da kısmen yanmayı iyileştirmekte ve HC emisyonlarını azaltmaktadır (Vural ve Özer, 2014).

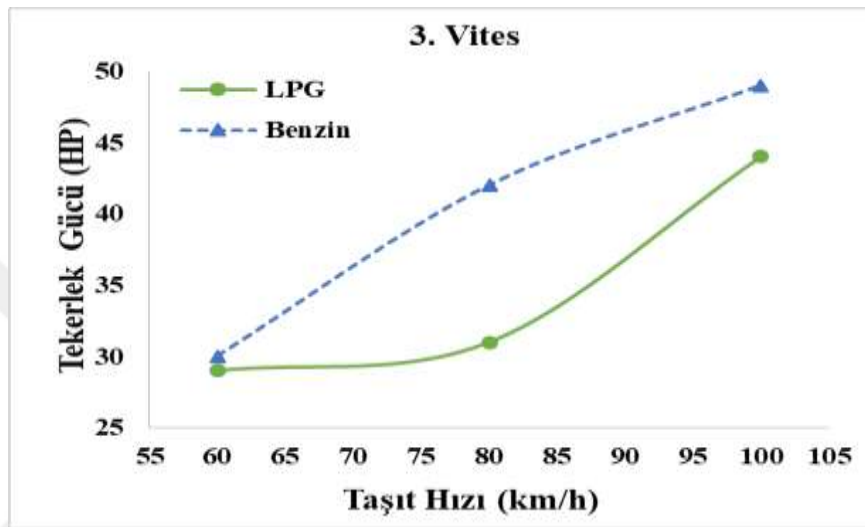
Oksijen miktarı içten yanmalı motorlarda yanmanın gerçekleştirilmesi için önemli bir parametredir. Oksijen miktarının fazla olması hava yakıt oranını önemli ölçüde etkilemektedir (Aydın, 2014).

Lamda; egzoz gazındaki artık oksijen miktarının ölçülmesinde kullanılır. Lambda, hava fazlalık katsayısı ya da eş değer oranı temsil eder. Bütün motorlarda hava-yakıt karışımının tam olarak yanması, egzoz gazının niteliğine bakılarak belirlenebilir. Tam yanmanın olması için hava-yakıt oranının kullanılan yakıtın türüne göre değişmekle birlikte yaygın olarak kullanılan ortalama değer 15/1 dir. Bu 1 yakıt karşılık 15 birim havaya gereksinim olduğunu temsil eder. 15/1 oranı 1 lambda olarak ifade edilir. Tam bir yanmada lambda "1" olacaktır. Hava yetersiz olduğunda zengin karışım söz konusu olur. Zengin karışımda lambda değeri 1'den küçük olur. Eğer silindire az yakıt çok hava girişi olursa bu durumda fakir karışım söz konusu olacağından lambda değeri 1'den büyük olur (Özdemir, 2013).

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

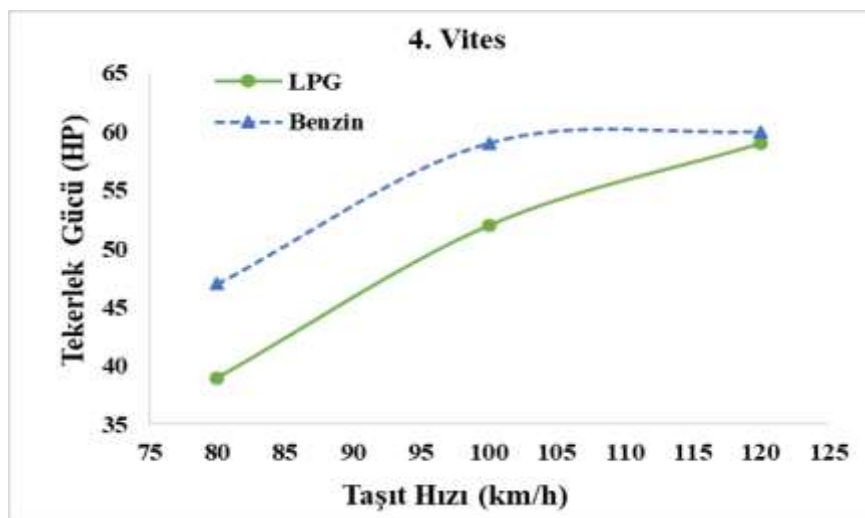
### 4.1. FSI Taşıt Performans Sonuçları

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Maksimum güç 100 km/h hızda Benzin yakıtında 49 HP olarak ölçülmüştür. LPG yakıtı benzin ile karşılaştırıldığında güç değerinde %10.21 azalma görülmektedir.



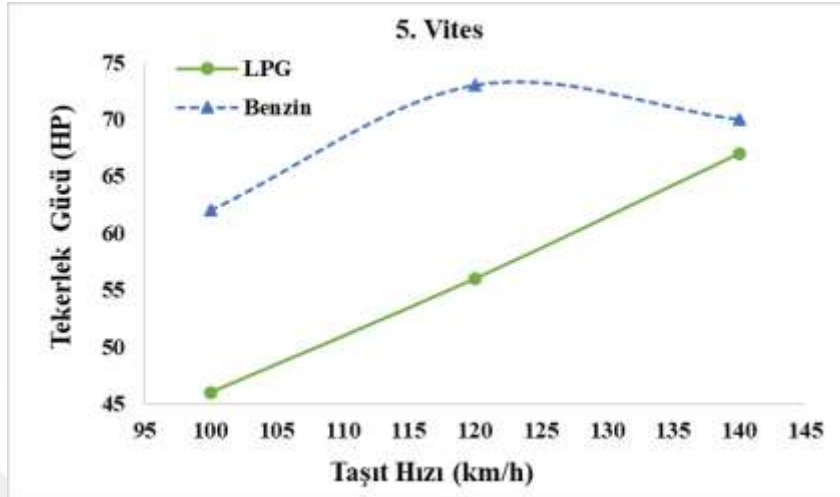
Şekil 4.1. Deney taşıtı 3. vites tekerlek güç değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Maksimum güç 120 km/h hızda Benzin yakıtında 60 HP olarak ölçülmüştür. LPG yakıtı benzin ile karşılaştırıldığında güç değerinde %1.66 azalma görülmektedir.



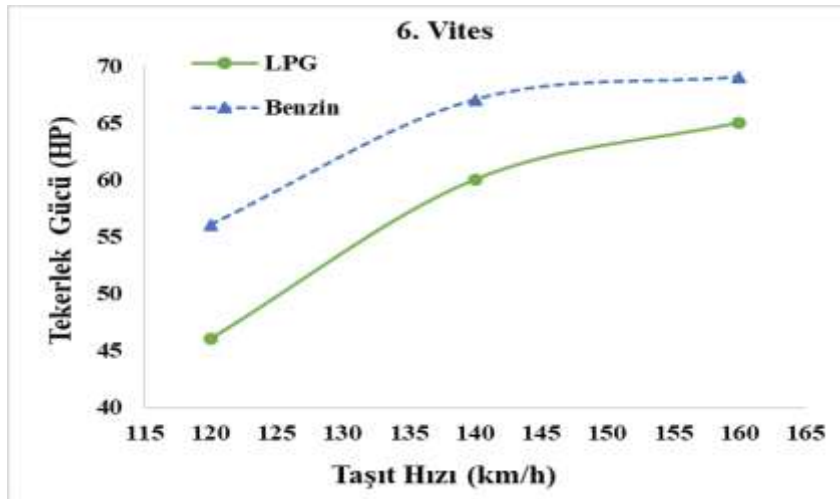
Şekil 4.2. Deney taşıtı 4. vites tekerlek güç değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Maksimum güç 120 km/h hızda Benzin yakıtında 73 HP olarak ölçülmüştür. LPG yakıtı benzin ile karşılaştırıldığında güç değerinde %23.28 azalma görülmektedir.



Şekil 4.3. Deney taşıtı 5. vites tekerlek güç değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites tekerlek güç değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir. Maksimum güç 160 km/h hızda Benzin yakıtında 69 HP olarak ölçülmüştür. LPG yakıtı benzin ile karşılaştırıldığında güç değerinde %5.79 azalma görülmektedir.



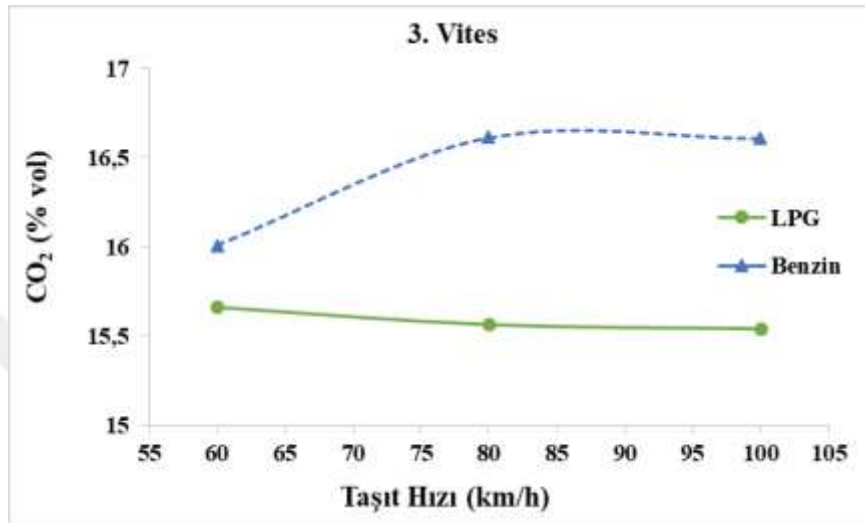
Şekil 4.4. Deney taşıtı 6. vites tekerlek güç değerleri

## 4.2. FSI Taşıt Emisyon Sonuçları

FSI taşıt egzoz değerleri karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbonmonoksit (CO), oksijen (O<sub>2</sub>) ve hidrokarbon (HC) emisyonları ile lambda ( $\lambda$ ) değeri olmak üzere beş ana başlıkta değerlendirilmiştir.

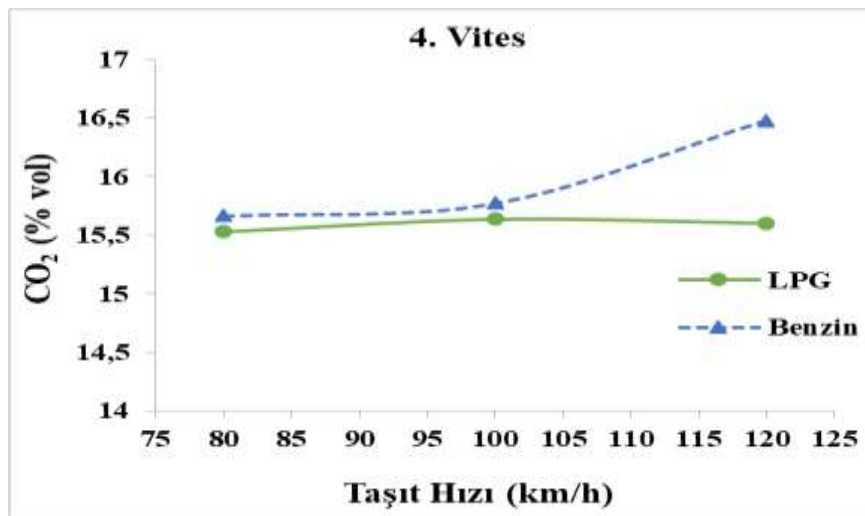
#### 4.2.1. Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>) Emisyonları

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %6.42 azalış meydana geldiği görülmektedir.



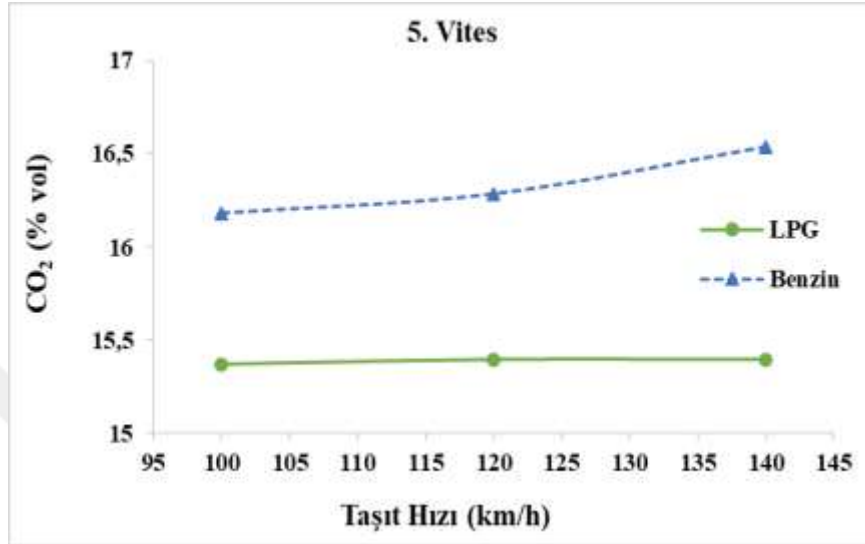
Şekil 4.5. Deney taşıtı 3. vites CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %5.31 azalış meydana geldiği görülmektedir.



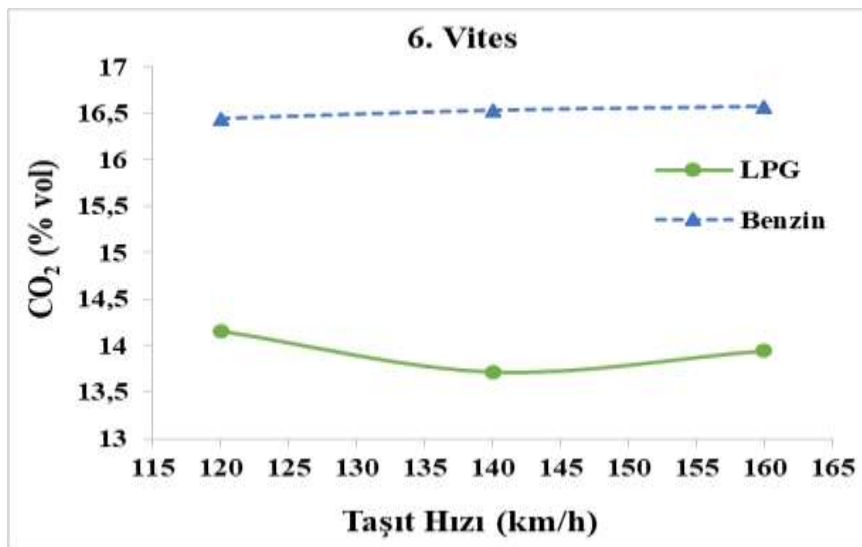
Şekil 4.6. Deney taşıtı 4. vites CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %5.45 azalış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.7. Deney taşıtı 5. vites  $\text{CO}_2$  emisyon değerleri

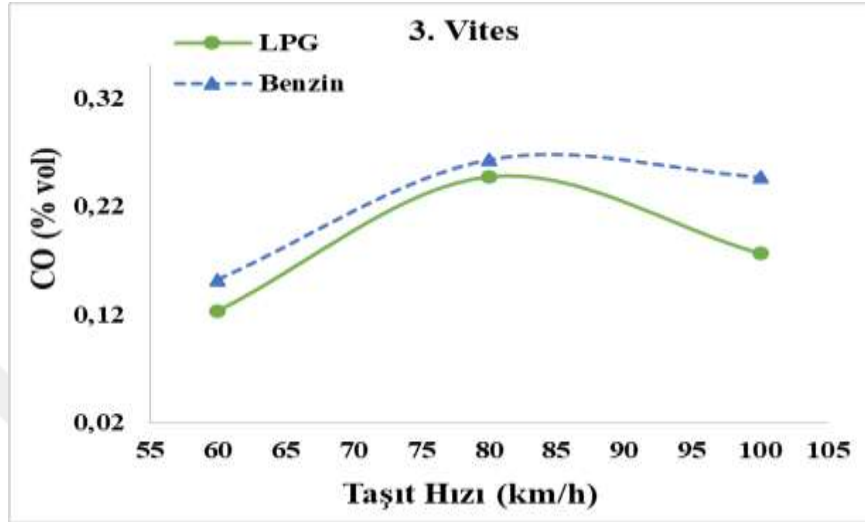
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 160 km/h hızda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %15.85 azalış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.8. Deney taşıtı 6. vites  $\text{CO}_2$  emisyon değerleri

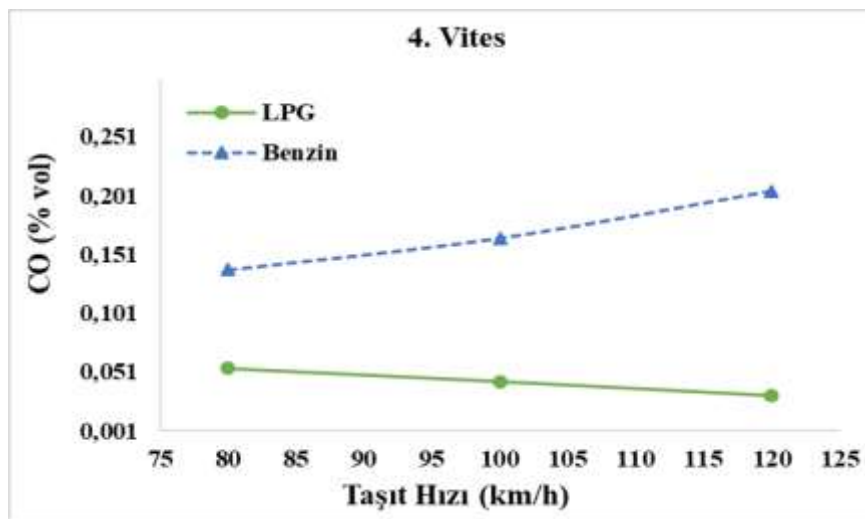
#### 4.2.2. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda CO değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda CO emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %28.74 azalış meydana geldiği görülmektedir.



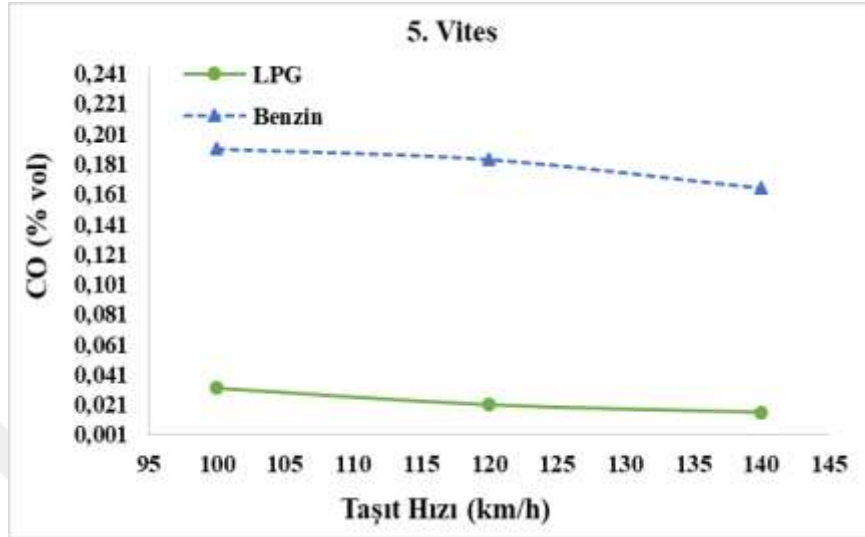
Şekil 4.9. Deney taşıtı 3. vites CO emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda CO değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda CO emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %84.87 azalış meydana geldiği görülmektedir.



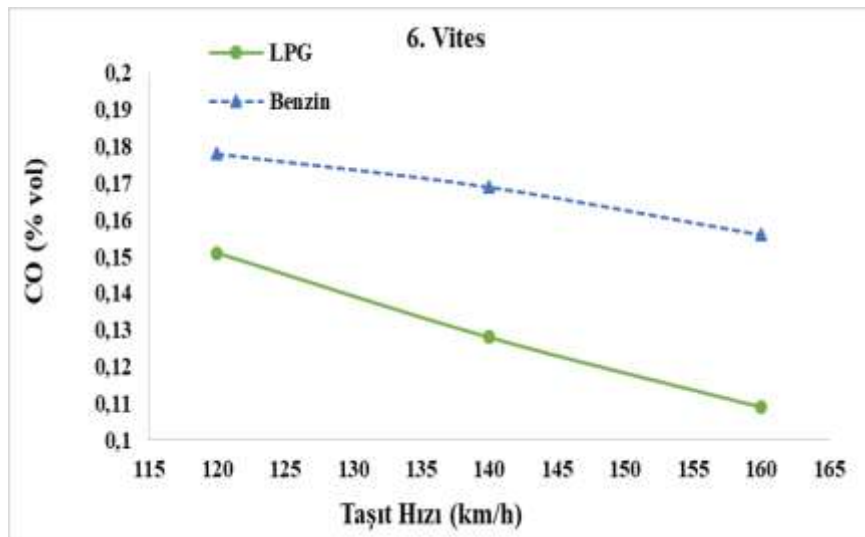
Şekil 4.10. Deney taşıtı 4. vites CO emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda CO değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda CO emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %88.5 azalış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.11. Deney taşıtı 5. vites CO emisyon değerleri

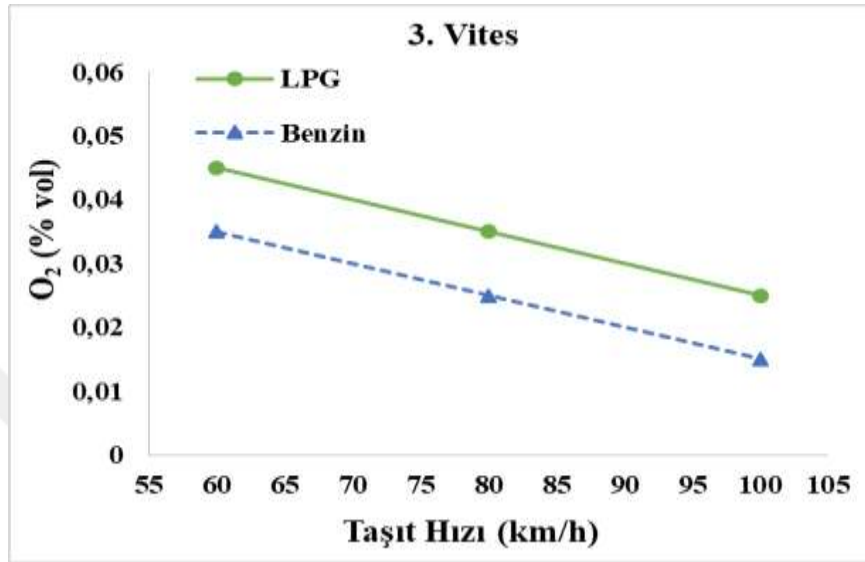
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda CO değerleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 160 km/h hızda CO emisyonu açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre %84.87 azalış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.12. Deney taşıtı 6. vites CO emisyon değerleri

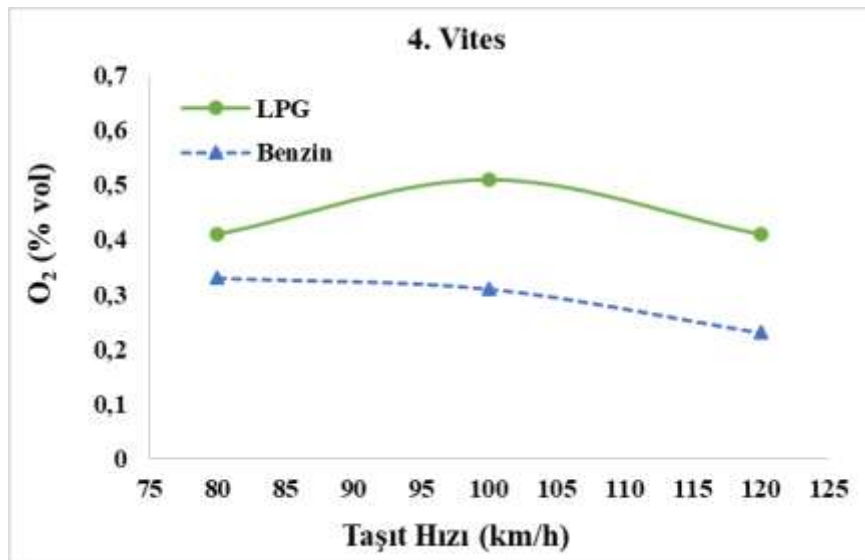
### 4.2.3. Oksijen (O<sub>2</sub>) Emisyonları

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda O<sub>2</sub> değerleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu O<sub>2</sub> emisyon değerine göre %66.66 artış meydana geldiği görülmektedir.



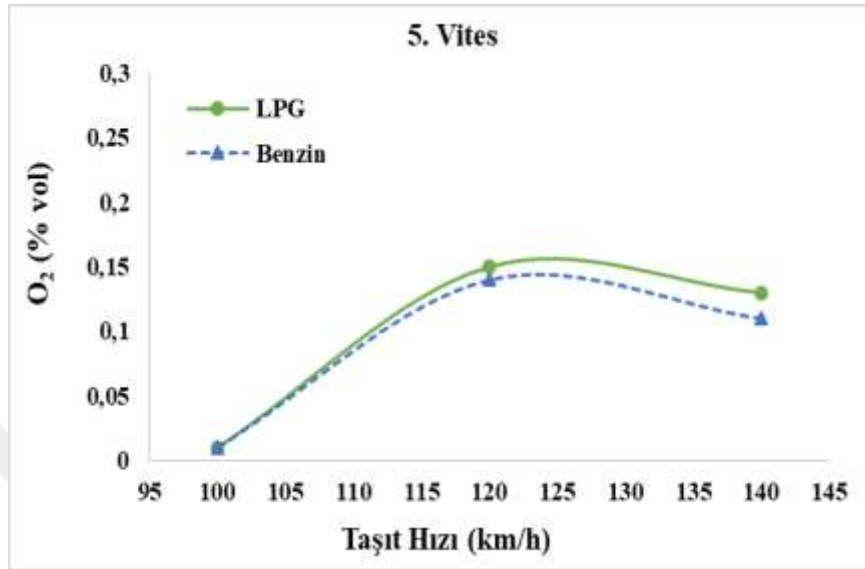
Şekil 4.13. Deney taşıtı 3. vites O<sub>2</sub> emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda O<sub>2</sub> değerleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu O<sub>2</sub> emisyon değerine göre % 78.6 artış meydana geldiği görülmektedir.



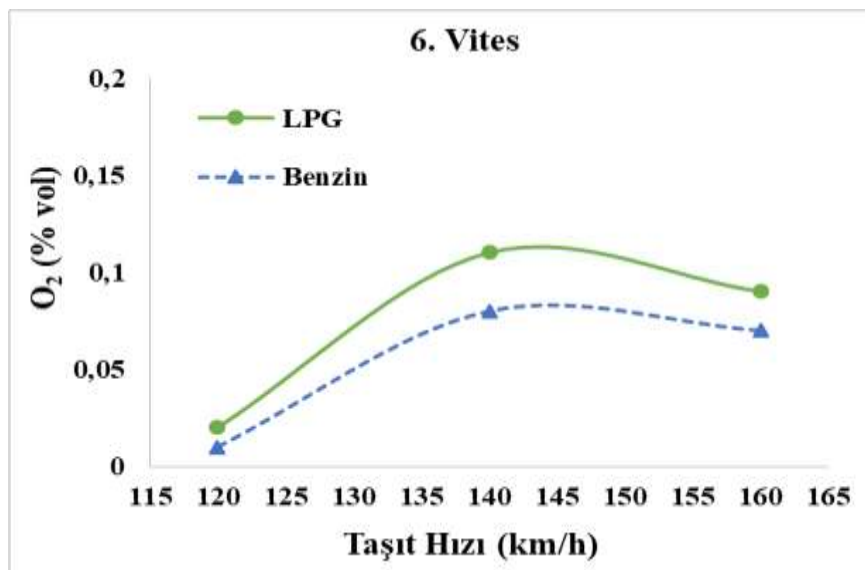
Şekil 4.14. Deney taşıtı 4. vites O<sub>2</sub> emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda  $O_2$  değerleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu  $O_2$  emisyon değerine göre % 7.14 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Deney taşıtı 5. vites  $O_2$  emisyon değerleri

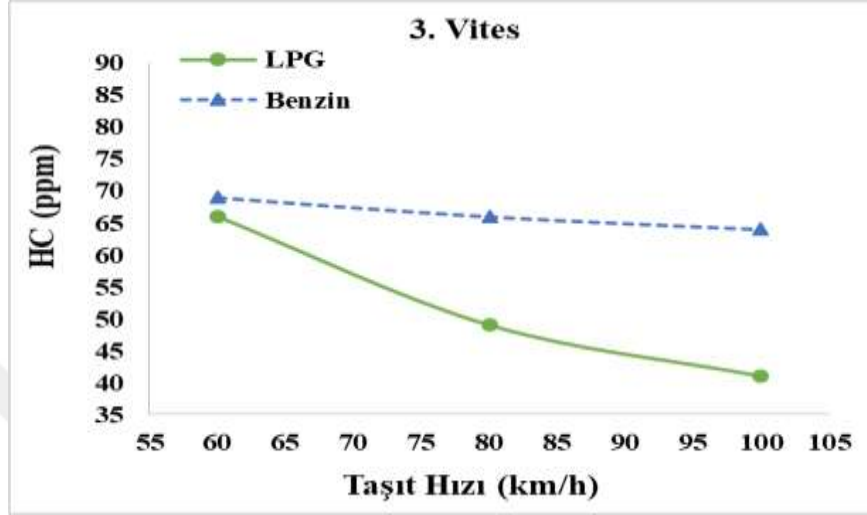
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda oksijen ( $O_2$ ) değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 160 km/h hızda LPG yakıt modunda çalışma durumunda Benzin yakıt modu oksijen ( $O_2$ ) emisyon değerine göre % 28.57 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.16. Deney taşıtı 6. vites  $O_2$  emisyon değerleri

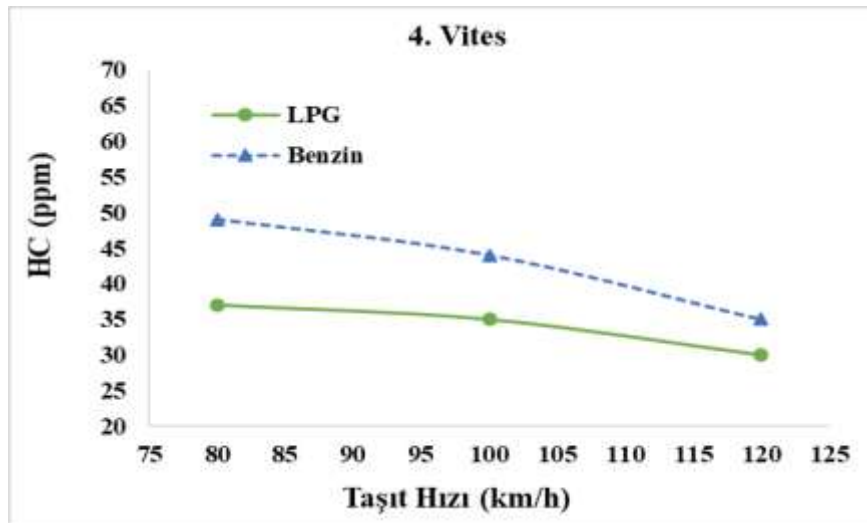
#### 4.2.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda HC değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda HC emisyon açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 35.93 azalış meydana geldiği görülmektedir.



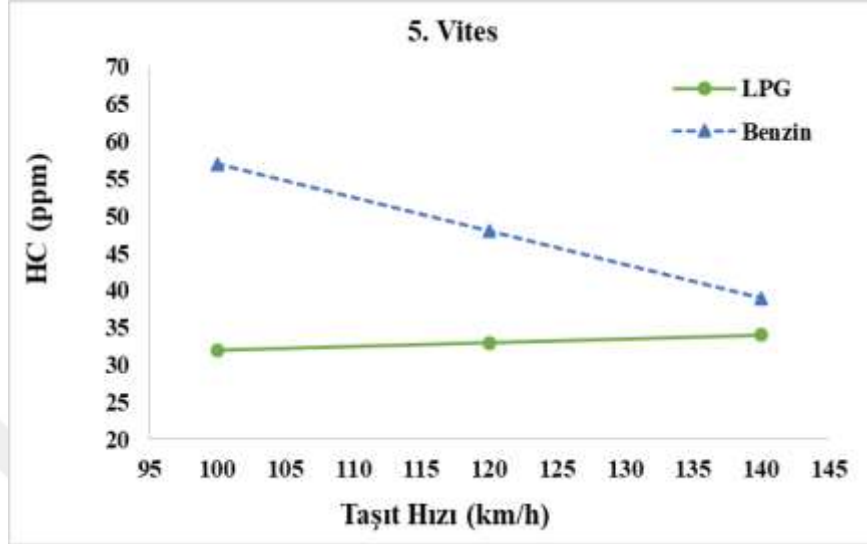
Şekil 4.17. Deney taşıtı 3. vites HC emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda HC değerleri Şekil 4.18’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda HC emisyon açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 14.28 azalış meydana geldiği görülmektedir.



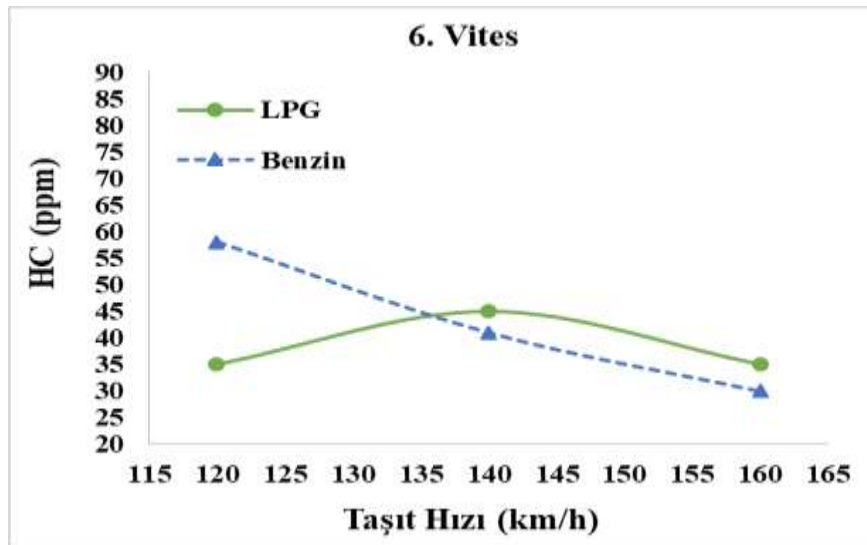
Şekil 4.18. Deney taşıtı 4. vites HC emisyon değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda HC değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda HC emisyon açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 31.25 azalış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.19. Deney taşıtı 5. vites HC emisyon değerleri

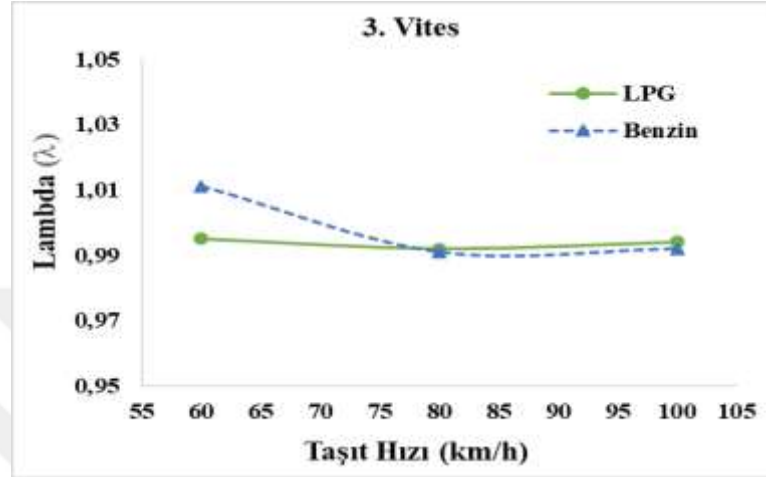
Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda HC değerleri Şekil 4.20'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 160 km/h hızda HC emisyon açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 14.28 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.20. Deney taşıtı 6. vites HC emisyon değerleri

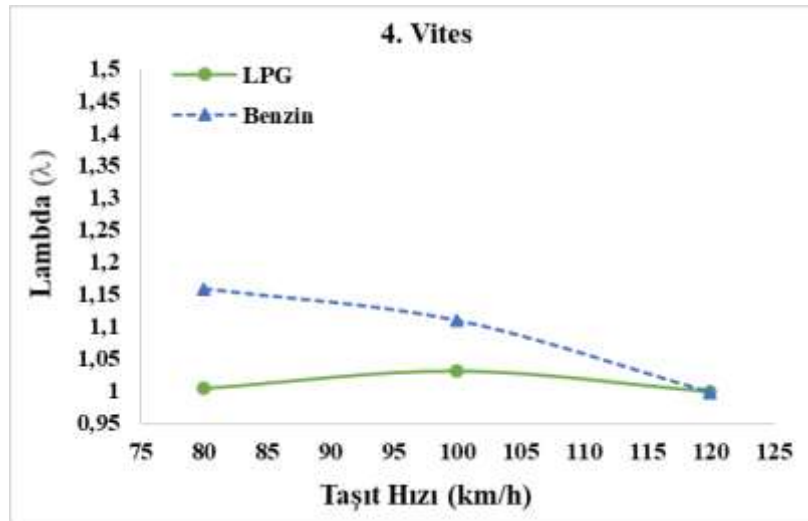
#### 4.2.5. Lambda ( $\lambda$ ) Değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 3. vites durumunda  $\lambda$  değerleri Şekil 4.21'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 100 km/h hızda  $\lambda$  değeri açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 0.21 artış meydana geldiği görülmektedir.



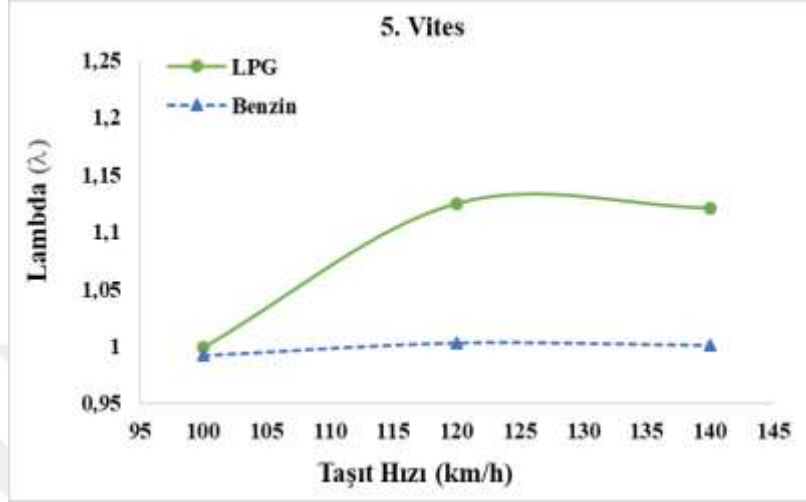
Şekil 4.21. Deney taşıtı 3. vites  $\lambda$  değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 4. vites durumunda  $\lambda$  değerleri Şekil 4.22'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda  $\lambda$  değeri açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 0.11 artış meydana geldiği görülmektedir.



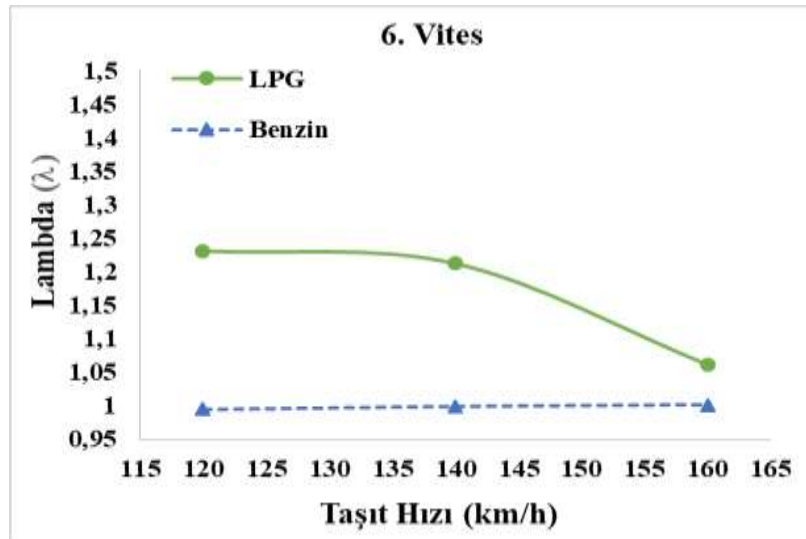
Şekil 4.22. Deney taşıtı 4. vites  $\lambda$  değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 5. vites durumunda  $\lambda$  değerleri Şekil 4.23'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 120 km/h hızda  $\lambda$  değeri açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 12.16 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.23. Deney taşıtı 5. vites  $\lambda$  değerleri

Farklı taşıt hızlarında yapılan deneylerde, 6. vites durumunda  $\lambda$  değerleri Şekil 4.24'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde maksimum güç değerinde 160 km/h hızda  $\lambda$  değeri açısından değerlendirildiğinde LPG yakıt modu çalışma durumunda Benzin yakıt modu çalışma durumuna göre % 5.99 artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.24. Deney taşıtı 6. vites  $\lambda$  değerleri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada günümüzde de kullanılmakta olan LPG ekipmanlarından, katmanlı yanma sistemi (FSI)'ne sahip, bölüntülü emme manifoldlu, direk enjeksiyonlu benzinli motorlara uygun olan karma LPG sistemi incelenerek, sistem tanıtılmış, daha önce kullanılan LPG sistemlerinden farklılıklarına değinilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, katmanlı yanma sistemine sahip taşıtlarda daha önce uygulanamayan LPG sistemlerinin, Karma LPG teknolojisi ile uygulanabilirliğinin belirlenmesidir. Karma LPG sistemi ile ilgili daha önce yapılmış herhangi bir akademik çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu amaçla üzerinde AKL marka karma LPG sistemi monte edilmiş, dört zamanlı, dört silindirli, direk enjeksiyonlu, bölüntülü emme manifoldlu, katmanlı yanma sistemli benzinli bir motora sahip olan Volkswagen Touran 1,6 FSI marka taşıt, dinamometre üzerinde kullanılarak, değişik vites aralıklarında ve hızlarında taşıt tekerlek güç ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.

Deneylerinde 95 oktan %5 biyoetanol katkılı kurşunsuz benzin ve LPG yakıtı kullanılarak 2 farklı yakıt ile CORGHI BT90 marka taşıt dinamometresi kullanılarak, 6 vitesli araçta 3, 4, 5 ve 6. vites kademelerinde taşıt güç ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan yakıtlar piyasadan BP petrol firmasından temin edilmiştir.

Egzoz emisyon deneylerinde, BİLSA MOD 2210 marka egzoz emisyon cihazı ile de CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, HC ve lambda ( $\lambda$ ) değerleri ölçülmüştür. Deneylerde, egzoz emisyon değerleri TS ISO 3930 standartlarına, güç parametreleri ise DIN 70200 standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Deneyler üçer kez tekrarlanarak elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması verilmiştir. Ölçülen değerlerle taşıtın karakteristik eğrileri çizilmiştir. Taşıt üzerinde motor yağlama yağı olarak motor kataloğunda belirtilen CASTROL EDGE 5W-30 tam sentetik motor yağı kullanılmıştır.

Güç değerleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre yaklaşık olarak ortalama %10.23 güç kaybı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi; ilk olarak, benzin ve LPG yakıtlarının litre bazında kullanımla enerji değerleri açısından değerlendirildiğinde, LPG'nin benzine göre %30 daha az enerji vermesi, ikinci olarak, LPG yakıtının motor emme manifoldundaki hava ile birlikte yanma odasına gaz fazda girmesinden dolayı daha fazla yer kaplaması ile açıklanabilir. LPG yakıtı benzine göre %30 daha az enerji verirken güç değerleri ortalamasının %10.23 civarında az olması

sistemin çalışma prensibi olarak LPG modunda kullanım durumunda iken yanma odasına LPG ile birlikte ara ara benzin püskürtülmesinden kaynaklanmaktadır. Sistem LPG kullanımında ortalama 100 km de 2 litre civarında da benzin tüketmektedir.

Egzoz emisyon değerleri içerisindeki karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) değerlerinin değişimleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre yaklaşık olarak ortalama %8.25 daha az meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi; LPG yakıtındaki karbon oranının benzine göre daha düşük olmasıdır (Benzin:  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , LPG : %30 Propan  $\text{C}_3\text{H}_8$  + %70 Bütan  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ).

Egzoz emisyon değerleri içerisindeki karbonmonoksit (CO) değerlerinin değişimleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre yaklaşık olarak ortalama % 71.76 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.

Egzoz emisyon değerleri içerisindeki oksijen ( $\text{O}_2$ ) değerlerinin değişimleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre yaklaşık olarak ortalama % 45.15 daha fazla meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi benzin yakıtına göre LPG yakıtının yoğunluk değerinin düşük olmasıdır. LPG yakıtının yoğunluğunun benzine göre düşük olması, güç düşmesinde olduğu gibi yanma odasında daha fazla yer kaplamasından ve giren hava miktarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Egzoz emisyon değerleri içerisindeki hidrokarbon (HC) değerlerinin değişimleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre 3, 4 ve 5. Vites kademelerindeki deneylerde yaklaşık olarak ortalama %27.15 daha az meydana geldiği, 6. Vites kademesinde ise yaklaşık olarak ortalama % 14.28 daha fazla meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi; yüksek vites kademelerinde ve yüksek motor devirlerinde karma LPG sisteminin çalışma şekli olarak motor yanma odasına benzin püskürtmesinden kaynaklanmaktadır.

Egzoz emisyon değerleri içerisindeki lambda ( $\lambda$ ) değerlerinin değişimleri incelendiğinde, LPG modunda çalışmada benzin moduna göre 3. ve 4. vites kademelerinde daha ideal oranda meydana geldiği, 5. ve 6. vites kademelerinde ise yüksek motor devirlerinde FSI motor sisteminin çalışma şekli olarak emme manifold kanallarının tam açık hale gelmesi ve yanma odasına daha fazla hava girmesinden dolayı lambda değerinin bir miktar bozulduğu ve motorun fakir karışıma geçtiği görülmektedir.

Sonuç olarak, karma LPG sisteminin katmanlı yanma sistemine sahip benzinli motorlar üzerinde uygulanabilirliği görülmüş, taşıt performansı açısından güç kaybı olmasına rağmen, egzoz emisyonları ve yakıt tasarrufu açısından benzin yakıtı kullanımına göre LPG kullanımının avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile karma LPG'nin katmanlı yanma teknolojisine uygulanabilirliği tespit edilerek literatüre katkı sağlanmıştır.

Taşıt deneylerinde elde edilen güç ve egzoz emisyonları karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC), oksijen (O<sub>2</sub>) ve lambda ( $\lambda$ ) değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Cho, et al., 2019, Mustafa, et al., 2019, Ahn, et al., 2020 ve Kim, et al., 2020, tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

## 5.2 Öneriler

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

- Farklı yakıt sistemlerine sahip TSI ve TFSI gibi motor tiplerine de LPG sistemleri montajı yapıp, güç ve emisyon denemeleri yapılabilir.
- LPG sistemlerinin uygulamaları 4 (dört) zamanlı motorlar içindir. 2 (iki) zamanlı motorlar üzerinde de LPG uygulamaları araştırılabilir.
- Genellikle LPG sistemleri benzinli motorlar üzerinde uygulama alanına sahiptir. Yeni nesil CRDI sistemine sahip dizel motorlar üzerinde de LPG sistemleri montajı yapıp, performans ve emisyon açısından incelenmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Ahn, S., Cho, J., Baek, S., Kim, K., Ko, J., Myunh, C.L. and Park. S., 2020, Comparative Investigation of Gaseous Emissions and Particle Emission Characteristics from Turbo-Charged Direct Injection (DI) Engine with Gasoline and LPG Fuel Depending on Engine Control Parameters, International Journal of Automotive Technology, Volume 21, No 2, Pages 451-457.
- AKL, 2020, Elit-DI Sequential System LPG Kit Installation Manuel, AKL LPG&CNG Equipments, Konya/ Turkey, pp 1-20.
- Alexander, J. and Porpatham, E., 2019, Investigations on Combustion Characteristics of Lean Burn SI Engine Fuelled with Ethanol and LPG. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 265, Issue 1, Pages 1-10.
- Aliustaoğlu, S. ve Ayhan, V., 2019, Direk Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorda LPG-Dizel Çift Yakıt Karışımının Performans ve İş Emisyonlarına Etkileri, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, Sayfa 110 - 116.
- Anonim, 2012, LPG Üretimi ve LPG Kükürt Giderme Ünitesi, Kimya Teknolojisi, T.C. MEB, Yayın No: 524KI0312, Ankara, 9-11.
- Anonim, 2018, LPG Tüketicisinin El Kitabı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Ankara.
- Anonim, 2019, <http://www.maviayotogaz.com/lpg-nedir/5-lpgnin-tam-ve-teorik-yanma-denklemleri.html>, [online], Erişim Tarihi: 25.11.2019.
- Anonim, 2020a, <https://www.tesisat.org/dogalgazin-kokulandirilmesi.html> [online], Ziyaret Tarihi: 24.09.2020.
- Anonim, 2020 b, <https://www.aygaz.com.tr/otogaz/oktan/hangi-oktan-numarasi-kullanilir> [online], Ziyaret Tarihi: 28.10.2020.
- Ansari, A., Mustafa, N., Khalid, A. and Jaat, N., 2019, Evaluation of Mixing Characteristics of Liquefied Petroleum Gas (LPG) at Different Injector Location, Fuel, Mixture Formation and Combustion Process, Volume 1, Pages 1-8.
- Aydın, F. ve Acaroğlu, M., 2009, İçten Yanmalı Motorlarda LPG ve Doğalgaz Sistemlerinin Karşılaştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- 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, 1-103.
- Bağcı, E., 2019, LPG Sistemi Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU) Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 1-64.
- Bilsa, 2019, Bilsa Mod 2210 Egzoz Emisyon Cihazı, <https://www.bilsaltd.com/egzozemisyon-cihazlar>, (Erişim Tarihi: 05.08.2020).
- Cho, J., Kim, K., Baek, S., Myung, C. L. and Park, S., 2019, Abatement Potential Analysis on CO<sub>2</sub> and Size-Resolved Particle Emissions from a Downsized LPG Direct Injection Engine for Passenger Car, Atmospheric Pollution Research, Volume 10, pages 1711–1722.
- Corghi, 2020, Corghi BT90 PRO Oto Test Dinamometresi, [https://www.corghi.com/default.php?t=ecomm&eid=BT90&vimgd=/lista/BT90pro\\_p.png&el1=70&el2=73/default.php?t=site&lang=EN](https://www.corghi.com/default.php?t=ecomm&eid=BT90&vimgd=/lista/BT90pro_p.png&el1=70&el2=73/default.php?t=site&lang=EN), Date of visit: 05.08.2020.
- Çakmak, A. ve Özcan, H., 2018, Benzin için Oksijenli Yakıt Katkıları, Politeknik Dergisi, 21(4), 831-840.
- Çavgun, E., 2019, Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda Sıkıştırma Oranının LPG Kullanımına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 1-40.
- Çelik, B. M. ve Balki, K. M., 2006, Düşük Güçlü Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 1, 81-86.
- Çelikten. İ. ve Korkmaz. S., 2009, Değişik Oktan Sayılı Yakıtların Farklı Gaz Kelebeği Açıklıklarındaki Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları, Ekoloji 18, 72, 54-64.
- Doğu, Y., Yontar, A. A. ve Kantaroğlu, E., 2018, Sıralı Çift Buji Ateşlemeli Motorda Saf ve Karışımli Alternatif Yakıtların (Benzin, CNG, LPG, Aseton, Naftalin ve Bor Türevleri) Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, 14.Uluslararası Yanma Sempozyumu, Karabük, 1-12.
- Eyidoğan, M., 2009, Etanol-Benzin ve Metanol- Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Karakteristiği ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-123.

- Gong, C., Liu, Z., Su, H., Chen, Y., Li, J. and Liu, F., 2019, Effect of Injection Strategy on Cold Start Firing, Combustion and Emissions of a LPG/Methanol Dual-Fuel Spark-Ignition Engine. *Energy*, Volume 178, Pages 126–133.
- Gürbüz, H., Şöhret, Y. and Akçay, H., 2019, Environmental and Enviroeconomic Assessment of an LPG Fueled SI Engine at Partial Load, *Journal of Environmental Management*, Volume 241, Pages 631–636.
- Hadjkacem, S., Jemni, M. A. and Abid, M. S., 2019, Volumetric Efficiency Optimization of Manifold with Variable Geometry Using Acoustic Vibration for Intake Manifold with Variable Geometry in Case of LPG-Enriched Hydrogen Engine, *Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 44, Pages 731–738.
- Halis, S., Nacak, Ç., Solmaz, H., Yılmaz, E. ve Yücesu, S. H., 2018, HCCI Bir Motorda Oktan Sayısının Yanma Karakteristikleri ve Motor Performansı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt 38, Sayı 2, 73-84.
- Karthic, S. V., Senthil Kumar, M., Nataraj, G. and Pradeep, P., 2019, Experimental Investigations on the Influence of Hydrogen and LPG Mixtures on Performance Behavior of a Mahua Bio Oil-Powered Dual Fuel Engine. *International Journal of Green Energy*, Volume 16, Pages 878–889.
- Kırılmaz, İ., 2019, Yeni Nesil Yakıt Sistemine Sahip Benzinli Motorlarda LPG'nin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1- 62.
- Kim, H., Lee, Y.S., Kim, J.H. and Chung, T.J., 2020, Numerical Study on the Effects of Tumble and Swirl on Combustion and Emission Characteristics of An LPG Direct Injection Engine, *International Journal of Automotive Technology*, Volume 21, No 3, Pages 623-632.
- Kontses, A., Triantafyllopoulos, G., Ntziachristos, L. and Samaras, Z., 2020, Particle Number (PN) Emissions from Gasoline, Diesel, LPG, CNG and Hybrid-Electric Light-Duty Vehicles Under Real-World Driving Conditions. *Atmospheric Environment*, Volume 222, 117126.
- Krebs, R., Pott, E., Kreuzer, T. P., Göbel, U. and Glück, K. H., 2002, Exhaust Gas Aftertreatment of Volkswagen FSI Fuel Stratified Injection Engines. *SAE Technical Papers*, 2002-01-0346.

- Küsell, M., Moser, W. and Philipp, M., 1999, Motronic MED7 for Gasoline Direct Injection Engines: Engine Management System and Calibration Procedures, SAE Technical Papers, 1999-01-1284. Pages 1804-1817.
- Mustaffa, N., Fawzi, M., Osman, S. A. and Tukiman, M. M., 2019, Experimental Analysis of Liquid LPG Injection on the Combustion, Performance and Emissions in a Spark Ignition Engine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 469, Issue 1, Pages 1-13.
- Musthafa M, M., 2019, A Comparative Study on Coated and Uncoated Diesel Engine Performance and Emissions Running on Dual Fuel (LPG-biodiesel) with and without Additive, Industrial Crops and Products, Volume 128, Pages 194-198.
- Organ, B., Huang, Y., Zhou, J. L., Yam, Y. S., Mok, W. C. and Chan, E. F. C., 2020, Simulation of Engine Faults and Their Impact on Emissions and Vehicle Performance for a Liquefied Petroleum Gas Taxi, Science of the Total Environment, Volume 716, Issue 2, Pages 1-9.
- Öğüt, H. ve Kuş, R., 1999, Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, Ankara, 149-161.
- Örs, İ., 2007, Benzin-Etanol Karışımlarının Taşıt Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-63.
- Özdemir, A., 2013, Otomotiv Elektrik ve Elektronik/ Meslek Teknolojisi- Oto Elektronik-Oto Elektrik, İstanbul, Birsen Yayınevi, 1-459.
- Pott, E., Krebs, R., Spiegel, L., Hahn, H. and Zillmer, M., 2000, Emission Control Management of Volkswagen FSI Fuel Stratified Injection Engines, IFAC Proceedings Volumes, Volume 33, Issue 26, Pages 179–184.
- Putra, P.A. and Qiram, I., 2019, Energy analysis Produced in Mixture of Liquid (Pertalite) and Gas (LPG) Conventional Machine 4 Cylinder, Journal of Engineering Design and Technology, Volume 19, Pages 115-119.
- Rahman, M. A., 2019, Induction of Hydrogen, Hydroxy, and LPG with Ethanol in a Common SI engine: A Comparison of Performance and Emission Characteristics. Environmental Science and Pollution Research, Volume 26, Pages 3033–3040.
- Saka, B., 2003, Doğalgaz ve LPG'nin Kullanım Alanları, Dünyadaki ve Türkiye'deki Rezerv, Üretim ve Tüketim Miktarı ve Taşıtlarda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-164.

- Sancak, S., 2020, Farklı Şanzıman Tiplerine Göre Araçlarda Performans ve Yakıt Tüketiminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 1-68.
- Sekmen, Y., Sekmen, P. ve Salman, S. M., 2007, Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 4, 745-751.
- Sinaga, N., Mel, M., Purba, D., Syaiful and Paridawati, 2019, Comparative Study of the Performance and Economic Value of a Small Engine Fueled with B20 and B20-LPG as an Effort to Reduce the Operating Cost of Diesel Engines in Remote Areas. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 598, Pages 1-8.
- Uçar, G., 2006, Bazı Biyodizel Yakıtlarında Yoğunluk, Viskozite ve Parlama Noktasının Isıl Değere Etkisinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-74.
- Usman, M., and Hayat, N., 2019, Lubrication, Emissions, and Performance Analyses of LPG and Petrol in a Motorbike Engine: a Comparative Study. Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A, Volume 43, Issue 1, Pages 47–57.
- Usman, M., Farooq, M., Naqvi, M., Saleem, M.W., Hussain, J., Naqvi, S.R., Jahangir, S., Usame, H.M.J., Idrees, S. and Anukam, A., 2020, Use of Gasoline, LPG and LPG-HHO Blend in SI Engine: A Comparative Performance for Emission Control and Sustainable Environment, Processes, Volume 8, Issue 74, Pages 1–15.
- Volkswagen, A.G., W., 2000, 1.4 I 77 kW Engine with Petrol Direct Injection System in the Lupo FSI Design and Function, Self-Study Programme, 252, Pages 1-56.
- Volkswagen, A.G., W., 2002, Direct Petrol Injection System with Bosch Motronic MED 7 Design and Function, Self-Study Programme, 253, Pages 1-60.
- Vural, E. ve Özer, S., 2014, Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Asetilen Gazı İlavesinin Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, 24-34.
- Zakharov, L.A., Khrunkov, S.N., Bazhan, P.I., Mironov, A.A. and Malakhov, A.V., 2019, Control of Mixture Formation in the Piston Internal Combustion Engine with Phased Fuel Injection, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1177, Pages 1-5.