T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DİZEL MOTORLU JENERATÖRDE KISMİ LPG KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI, YANMA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ahmet AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet AYDIN tarafından hazırlanan **"Bir dizel motorlu jeneratörde kısmi LPG kullanımının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması"** adlı tez çalışması 18/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. Bahattin İŞCAN	.....
Danışman Doç. Dr. Hüseyin AYDIN	.....
Üye Doç. Dr. Asım BALBAY	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdür V.

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.



Ahmet AYDIN

18/05/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR DİZEL MOTORLU JENERATÖRDE KISMİ LPG KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI, YANMA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ahmet AYDIN

Batman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

2017, 71 sayfa

Jüri
Doç. Dr. Hüseyin AYDIN
Doç. Dr. Asım BALBAY
Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir bölümü petrolden sağlanmaktadır. Ayrıca petrolün dikkate değer bir kısmının da motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılması alternatif enerji kaynağı arayışlarını artırmıştır. Çevre kirliliğinin büyük sebeplerinden biri motorlu araçların yaydıkları emisyonlardır. Emisyon standart değerlerinin giderek daha düşük değerlere çekilmesi daha düşük emisyonlu motor yakıtlarını kullanmaya zorlamaktadır. LPG'nin kolayca bulunması, güvenli depolanabilmesi, emisyon değerlerinin birçok yakıta göre düşük olması sebebiyle özellikle otomotiv sektöründe ilgi uyandırmaya başlamıştır.
Bu çalışmada bir dizel motorlu jeneratörde ikincil yakıt olarak, manifolda püskürtülen kısmi LPG'nin oranının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneyler dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı dizel motorlu bir jeneratörde yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre; genel olarak LPG oranının artması ile beraber vuruntu meyilli, silindir basıncı ve egzoz gaz sıcaklığında bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca özgül yakıt tüketimi ve kütlesel yakıt tüketiminin de arttığı söylenebilir. Emisyon açısından test sonuçları incelendiğinde; LPG katkısıyla genel olarak CO ve HC emisyon yoğunluklarında bir artış görülmüştür. CO_2 emisyonları %40 oranına kadarki LPG katkısında yoğunluğunda düzenli bir azalış gözlemlenirken, bu oranın üzerindeki LPG katkısında hızlı bir düşüş göstermiştir. Öte yandan genel olarak LPG oranının artması O_2 emisyon yoğunluğunu önemli bir ölçüde azaltmıştır. Genel olarak belli oranlara kadar LPG kullanımı ile yanma, performans ve emisyon değerleri dizel yakıtına benzer çıktığından bu oranlarda LPG'nin dizel motorlarında ikincil yakıt olarak kullanımının mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : dizel motor, dizel yakıt, çift yakıt sistemi , emisyon, LPG, performans

ABSTRACT

MS THESIS

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PARTIAL LPG USAGE ON PERFORMANCE, COMBUSTION AND EXHAUST EMISSIONS IN A DIESEL ENGINE POWERED GENERATOR

Ahmet AYDIN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

2017, 71 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Assoc. Prof. Dr. Asım BALBAY
Assoc. Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Most of world energy demand provides from petroleum. Besides, since considerable amount of petroleum consumption are in engine vehicle, researches increase their attempts to find alternative energy sources. One of major reason of environmental pollution is car which emits emissions. Emission standard values gradually decrease and this forces to use low emission engine fuels. Easy accessibility, secure storage and low emission value of LPG arouse interest especially in automotive industry. In this work, engine performance, combustion and emission of test fuels have been investigated with LPG fumigation into manifold in the diesel engine as secondary fuel. Tests were carried out in 4 cylinders, 4 strokes water-cooled, direct-injection diesel-engined generator. According to the test results; cylinder pressure, exhaust gas temperature and possibility of knocking increased as amount of LPG increased. Besides, brake specific fuel consumption and mass fuel consumption were higher. Generally, with LPG addition, CO and HC emissions were higher. up to 40% LPG addition, CO_2 emission were low and over 40% LPG addition, CO_2 emission increased. On the other hand, generally, as LPG content increased, O_2 emission decreased significantly. Generally, the usage of LPG up to certain levels in diesel engines found to be possible as addition fuel. Because its usage in the engine up to certain levels were not resulted in considerable changes in performance, combustion and emissions changes.

Key Words: diesel engine, diesel fuel, dual-fuel system, emission, LPG, performance

TEŞEKKÜR

“Bir dizel motorlu jeneratörde kısmi LPG kullanımının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması” konulu yüksek lisans tezi çalışmamın yapımı ve düzenlenmesi aşamasında her türlü bilgi ve birikimi ile bana rehberlik eden tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Hüseyin AYDIN’a ve ayrıca Dr. M. Zerrakki IŞIK’a, bu çalışmanın yapılması aşamalarında bana yardımcı olan Yahya ÇELEBİ ve Hüseyin AZİ’ye ve değerli zamanını ayıran jüri üyelerine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca maddi ve manevi yönden desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet AYDIN
BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **IX**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **X**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **XI**

1. GİRİŞ **1**

2. DİZEL MOTORLARI **3**

2.1. Dizel motorda kullanılan yakıtlar 3

2.2. Dizel motor yakıtı temel özellikleri 4

2.2.1. Özgül ağırlık 4

2.2.2. Alevlenme noktası ve yanma noktası 4

2.2.3. Viskozite 5

2.2.4. Setan sayısı 5

2.2.5. Akma ve bulutlanma noktası 6

2.2.6. Isıl değer 6

2.2.7. Kükürt oranı ve korozyon etkisi 7

2.2.8. Dizel indeksi 7

2.3. Dizel motorlarında yanma 7

2.3.1. Yanma olayının safhaları 7

2.3.1.1. Tutuşma gecikmesi periyodu 8

2.3.1.2. Kontrolsüz yanma 10

2.3.1.3. Kontrollü yanma 10

3. ALTERNATİF YAKIT OLARAK LPG KULLANIMI **11**

3.1. LPG Çeşitleri 14

3.1.1. Motorlu araçlarda kullanılanlar 14

3.1.2. Motorlu araçlarda kullanılmayanlar 14

3.2. LPG'nin Özellikleri 15

3.2.1. Buhar basıncı 15

3.2.2. Alt ısıl değeri 15

3.2.3. Kaynama noktası 16

3.2.4. İzafi yoğunluğu 16

3.2.5. Tutuşma sınırları 17

3.3. LPG yakıt sisteminin avantaj ve dezavantajları 17

3.4. LPG'nin taşıma ve depolanması 19

3.5. LPG'nin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması 19

3.6. Taşıtlarda LPG kullanımı 21

3.7. Çift yakıtlı motorlar 22
3.8. Çift yakıtlı motorlarda yanma kontrolü 23
4. LİTERATÜR TARAMASI 25
5. MATERYAL VE METOT 30
5.1. Deneyde kullanılan motor 30
5.2. Deneyde kullanılan FEBRİS yazılımı 31
5.3. Deneyde kullanılan egzoz emisyon cihazı 32
5.4. Hesaplanmış Parametreler 34
5.4.1. Isı salınım hızı 34
5.4.2. Toplam ısı salınımı 34
5.4.3. Ortalama gaz sıcaklığı 36
6. DENEY SONUÇLARI 37
6.1. Motor Yanma Sonuçları 37
6.1.1. Silindir basıncı 37
6.1.2. Isı salınım hızı oranı 38
6.1.3. Toplam ısı salınımı oranı 38
6.1.4. Ortalama gaz sıcaklığı 39
6.1.5. Vuruntu yoğunluğu 40
6.2. Motor Performans Değerleri 41
6.2.1. Özgül yakıt tüketimi değerlendirmesi 41
6.2.2. Isıl verim değerlendirilmesi 41
6.2.3. Egzoz sıcaklığı değerlendirilmesi 42
6.2.4. Kütlesel yakıt tüketiminin değerlendirilmesi 43
6.3. Motor Emisyon Sonuçları 44
6.3.1. CO emisyonunun değişimi 44
6.3.2. CO_2 emisyon değerleri 45
6.3.3. Hidrokarbon (HC) emisyon değerleri 46
6.3.4. O_2 emisyon değerleri 47
6.3.5. NO_X emisyon değerleri 48
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 51
8. KAYNAKLAR 54
9. ÖZGEÇMİŞ 59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir dizel motoruna ait yanma diyagramı----------8
Şekil 3.1. LPG'nin ana bileşenleri---------- 11
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan NWK22 model dizel motoru ---------- 30
Şekil 5.2. Deney test düzeneği şematik diyagramı ---------- 31
Şekil 5.3. FEBRİS programı yanma verileri---------- 31
Şekil 5.4. Deney düzeneği---------- 32
Şekil 5.5. Egzoz gazı analiz cihazı---------- 33
Şekil 5.6. Deneyde kullanılan tüp---------- 33
Şekil 5.7. Deneyde kullanılan dijital göstergeli hassas terazi ---------- 33
Şekil 6.1. Silindir basıncının krank açısına bağlı değişimi ---------- 37
Şekil 6.2. Isı salınım hızı oranının krank açısına bağlı değişimi ---------- 38
Şekil 6.3. Toplam ısı salınımı oranının krank açısına bağlı değişimi---------- 39
Şekil 6.4. Ortalama gaz sıcaklığının krank açısına bağlı değişimi ---------- 39
Şekil 6.5. Vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi---------- 40
Şekil 6.6. Özgül yakıt tüketiminin değişimi ---------- 41
Şekil 6.7. Isıl verimin değişimi---------- 42
Şekil 6.8. Egzoz manifold sıcaklığının değişimi---------- 43
Şekil 6.9. Kütlesel yakıt tüketiminin değişimi ---------- 43
Şekil 6.10. CO emisyonunun değişimi ---------- 45
Şekil 6.11. CO_2 emisyonunun değişimi ---------- 46
Şekil 6.12. HC emisyonunun değişimi ---------- 47
Şekil 6.13. O_2 emisyonunun değişimi ---------- 48
Şekil 6.14. NOx emisyonunun değişimi ---------- 49
Şekil 6.15. Duman koyuluğu değerlerinin LPG oranına göre değişimi ---------- 50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. DIN- 51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler ----------3
Çizelge 3.1. Propan ve bütanın fiziksel ve yanma karakteristikleri ---------- 13
Çizelge 3.2. Bazı ülkelerde satılan LPG'nin propan/bütan değerleri---------- 13
Çizelge 3.3. LPG çeşitlerinin özellikleri ---------- 15
Çizelge 3.4. Birkaç yakıtın alt ısıl değerleri ---------- 16
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri ---------- 30
Çizelge 5.2. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri ---------- 32
Çizelge 5.3. Karışımların adı ve karışım oranları---------- 36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ºC : Santigrad derece
cst : Centistoke
d/dak : Dakikadaki devir sayısı
ºF : Fahrenayt sıcaklık değeri
J : Joule
kW : Kilo-watt
m : Metre
gr : Gram
ρ : Özgül ağırlık
T : Sıcaklık
V : Hacim
λ : Hava fazlalık katsayısı
% : Yüzde
kPa : Kilopaskal
Mpa : Megapascal
P : Basınç
θ : Krank açısı
Qw : Sıcaklık transfer katsayısı
γ : Özgül sıcaklık katsayısı
Q : Belirgin ısı salınımı
r : Krank yarıçapı
h : Isı transfer katsayısı
ł : Rod bağlantı çubuğunun uzunluğu
D : Silindir çapı
Vc : Strok hacmi
C_m : Ortalama piston hızı
T_i : Ortalama gaz sıcaklığı

Kısaltmalar

ASTM : Amerikan test ve materyalleri birliği
atm : Atmosfer basıncı
D80LPG20 : %20 LPG + %80 Dizel
D70LPG30 : %30 LPG + %70 Dizel
D60LPG40 : %40 LPG + %60 Dizel
D55LPG45 : %45 LPG + %55 Dizel
D45LPG55 : %55 LPG + %45 Dizel
D35LPG65 : %65 LPG + %35 Dizel
D100 : %100 Dizel
İYM : İçten yanmalı motorlar
DIN : Alman standartları
API : Amerikan petrol endüstrisi
TG : Tutuşma gecikmesi
ÜÖN : Üst ölü nokta
DME : Di metil eter
LPG : Sıvılaştırılmış petrol gazı
KMA : Krank mili açısı
ISO : Uluslararası standartlar örgütü
TSE : Türk standartları enstitüsü
CO : Karbon monoksit
CO_2 : Karbon dioksit
HC : Yanmamış hidrokarbonlar
NOx : Azot oksitler
O_2 : Oksijen
RON : Araştırma oktan sayısı
ÖYT : Özgül yakıt tüketimi

1. GİRİŞ

Ekonomik gelişmenin en önemli faktörlerinden biri haline gelen enerji gereksinimi bütün dünyada ve ülkemizde önemini korumaktadır. Petrol ülkemizdeki ticari enerji gereksiniminin büyük bölümünü karşılamaktadır. Petrolün büyük bir bölümü ise motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Aşırı kullanım neticesinde dünyadaki petrol kaynakları hızlı bir şekilde tükenmektedir. Buna bağlı olarak hava kirliliğinin büyük bir bölümünü oluşturan egzoz emisyonlarındaki artış, bilim insanlarını alternatif yakıt bulmaya zorlamıştır (Öğüt ve Kuş, 1999).

Dünya enerji rezervlerinin yarısından fazlasının petrolden meydana gelmesi ve tahminen 2030-2050 yılları aralığında bitecek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir (Yiğit, 2008). Çevresel dengelere zarar vermemek ve petrole bağımlılığı düşürmek için var olan enerji kaynaklarının verimli ve etkili kullanılması şarttır. Bu olumsuzlukların azaltılması için araştırmacılar alternatif yakıtlar ile ilgili çalışmalarına devam etmektedirler. Hidrojen, doğalgaz, alkol (etanol, metanol), bitkisel yağlar ve sıvılaştırılmış petrol gazı motorlu araçlarda alternatif yakıt olarak araştırmacıların üzerinde çalışma yaptıkları kaynaklardır (Anonymous, 1997).

Kolayca bulunabilmesi ve ekonomik olması sebebiyle petrol ürünleri, ulaşım sektöründe de kullanılan bir enerji kaynağıdır. Petrol ürünlerinin aşırı kullanım sebebi ile tükenebileceğinden dolayı alternatif enerji kaynaklarını bulma çalışmaları hız kazanmıştır. Buradaki zorlayıcı faktör; kullanılan yakıt kaynaklarının azalması, ekolojiye daha az zarar veren veya bu zararın tamamen önlenmesi, maliyetlerinin yüksek olması, ürün çeşitliliği ve üretici firma sayısının artması ile malzeme, enerji, imalat vb. mühendisliğin her dalında teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi dikkate değer olmuştur (URL 1, 2017).

Hem dizel hem de otto çevrimleri ile faaliyet gösterebilen motorlarda gaz fazlı yakıtların kullanımı yakıt özelliklerinin ve motorun entegre olmasıyla sağlanır. LPG endüstride, el sanatlarıyla ilgili sektörlerde, ısınmada, tarımda ve otomotiv sektöründe kullanılan kaliteli bir enerji kaynağıdır (Yiğit, 2008).

LPG benzinle karşılaştırıldığında uygun bir alternatif yakıttır. LPG'nin özelliklerini özetlemek gerekirse;

- Gaz şeklinde kullanıldığı için motor yağı ömrüne olumlu bir etkiye sahiptir.
- Karbon birikmesi olmadığı için motorun ömrüne olumlu etkisi vardır.
- Ürettiği emisyonlar daha az zararlıdır.

Araç sayılarındaki artış, enerji tüketimi ve ekolojiyi olumsuz şekilde etkilemektedir. Kurşun, kükürt dioksit, azot ve karbon monoksit, yanmamış hidrokarbon, karbon dioksit ve is partikülleri (dizelde) vb. emisyonların çevreye yayılmasına en çok motorlu taşıtlar neden olmaktadır (Yiğit, 2008).

Dizel motorlu taşıtların sebep olduğu emisyonlar benzinli taşıtlardan kaynaklanan emisyonlara nazaran daha az olsa bile emisyon standartlarına çekilmesi gerekir. Bu sebepten dolayı LPG, hidrojen, doğalgaz ve DME vb. yakıtların kullanılabilmesi ve geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. LPG'nin moleküler ağırlığı düşük olduğu için yüksek buhar basınçlı olması hava/yakıt karışımının homojen olması gazın kolaylıkla karışmasını sağlamaktadır. Neticede bir dizel motoruna göre CO_2 emisyonunda dikkate değer bir düşüş olmaktadır (Yiğit, 2008).

Dünyada harcanan yakıtın %0.2 - %0.5'i duman ve partikül şeklinde atmosfere salınır. Bu duman ve partikülün %15'i dizel %5'lik kısmına da benzin motorları sebep olmaktadır. Dizel motorları partikül ve başka zararlı emisyonlarda başı çektiği için araştırmacıların buna yöntemler aramasına neden olmuştur. Benzinli motorlarda emisyonları düşürmede önemli bir faktör olan LPG'nin dizel motorlarında kullanılmasını sağlamış ve bu konudaki araştırmalar sürmektedir. Yakıt özellikleri bakımından benzin davranışı gösteren ve oktan sayısı yüksek olduğu için LPG dizel motorlarda tek başına kullanılamaz bir kıvılcıma ihtiyacı vardır. Dizel motorunun yapısı sebebi ile buji gibi kıvılcım üreten bir düzeneği olmayan dizel motorunda LPG tutuşmaya yardımcı yöntemlerle yakıt olarak kullanılabilmektedir. Bu metotlar setan sayısı yükseltici ilaveler, setan sayısı yüksek yakıtların pilot enjeksiyonu ve dizel yakıtı ile beraber yakıt olarak LPG kullanılabilir (Sertçelik, 2010).

Alternatif yakıt olarak isimlendirilen LPG ve doğalgaz, taşıt motorlarındaki sistemlerde küçük değişiklerle kullanılabilmektedir. Birim fiyatının ucuz olması sebebi ile yakıt sistemindeki değişikliğe harcanan maliyeti kısa bir sürede amorti etmektedir. Taşıtlarda kullanılan doğalgaz ve LPG dönüşüm sistemlerinin onarım ve bakımı motorin ve benzin ile çalışan motorlarla karşılaştırıldığında daha ekonomik ve kolay olmaktadır. Doğalgaz ve LPG gaz sisteminin diğer petrol kaynaklı ürünlerden daha çevreci ve ucuz olması sebebi ile uzun yıllar araştırmacıların dikkatini çekmeye devam edecektir (URL 2, 2008).

Bu çalışmada, bir dizel motorlu jeneratörde ikinci yakıt olarak manifolda püskürtülen LPG'nin oranının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılacaktır.

2. DİZEL MOTORLARI

Dizel motorları sıvı yakıt ile çalışan içten yanmalı motorlardır. Bu motorlarda yakıtın tutuşması havanın sıkıştırılması neticesinde meydana gelen ısı ile olur. Motoru çalıştırmak, en fazla güç ve verime ulaşmak için yanma odasında optimum oranda sıkıştırılan bu sıcak havanın üzerine püskürtülür (Toboldt, 1983).

Dizel motorlarda (12:1–24:1) arasındaki sıkıştırma oranı sonucu yaklaşık olarak 40 bar basınç ve 600 ºC sıcaklık olur. Sıvı yakıt atomize bir biçimde yanma odasına püskürtülür. Dizel yakıtının alevlenme sıcaklığı, basınç ve sıcaklık değerinin altında olduğundan dolayı yanma başlar ve silindir içi basınç yükselerek pistonu itmeye başlar (Heywood, 1989).

Dizel motorlarında sıkıştırma oranı;+ enjeksiyon sistemi, yanma odası tasarımına ve vuruntu oluşumuna göre sınırlanır. Bu motorlar yanma odalarının tasarımına göre ikiye ayrılır. Bunlar endirekt enjeksiyonlu motorlar ve direkt enjeksiyonlu motorlardır. Endirekt enjeksiyonlu motorların sıkıştırma oranı, direkt enjeksiyonlu motorlar ile karşılaştırıldığında daha fazladır. Bunun sebebi de endirekt enjeksiyonlu motorların yanma odalarının yüzey/hacim oranının daha büyük olmasıdır. Hacme göre yüzey alanı büyüdükçe sıkıştırma nedeniyle ortaya çıkan ısı kaybı o kadar yüksek olur. Dizel yakıtını tutuşturacak olan yüksek sıcaklığa sadece yüksek oranda sıkıştırma ile erişilebilmektedir (Owen ve Coley, 1990).

2.1. Dizel motorda kullanılan yakıtlar

Dizel motorlarının yakıt sınır değerleri ile alakalı veriler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Karakuş, 2000).

Çizelge 2.1. DIN 51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler (Borat ark. 1994)

	Değerler	**Deney Normu**
Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
Özgül ağırlık 15 ºC'de	0.820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360 ºC'ye kadar en az	%90	DIN 51752
Viskozite 20 ºC'de	1.8-10 mm^2/s	DIN 51550
Parlama noktası	55 ºC	DIN 51755
Filtrasyon	Yazın 0 ºC/Kışın -12ºC	DIN 51770
Kükürt'ün maksimum kütlesel yüzdesi	%1,0	DIN 51768
Koklaşma artığının kütlesi maksimum yüzdesi	%0,1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütlesel yüzde olarak maksimum	%0,02	DIN 51575

2.2. Dizel motor yakıtı temel özellikleri

Mekanik enerjiyi sağlayacak olan ısı enerjisi içten yanmalı motorlarda, silindir içerisine belirli ölçülerde aktarılmış olan hava ve yakıt arasındaki kimyasal tepkime neticesinde meydana gelir. Silindirlerde meydana gelen yanma olayı ve sonunda elde edilecek olan enerji doğrudan kullanılan yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinden etkilenir (Ergenç, 2009).

İçten yanmalı motorlarda çoğunlukla sıvı hidrokarbonlar ve genel olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmıştır. Elde edildikleri yerlerde değerlendirilmek üzere metan, hava gazı, biyogaz ve özellikle hava kirliliğinin problem yarattığı şehir içi taşımacılığında doğal gaz ve sıvı petrol gazı (LPG) gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Genel olarak kullanılan motorin 180-370 °C arasında kaynamaya başlayan farklı özellikteki hidrokarbonların birleşmesinden meydana gelmiştir ve ham petrolün aşamalı damıtılmasından elde edilir (Bauer, 1999). Genel olarak bir dizel motorda kullanılacak yakıtın sınıflandırılması için kullanılan temel yakıt özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Özgül ağırlık

Özgül ağırlık ya da yoğunluk; birim hacmin ağırlığı şeklinde tanımlanır. Kütlesel bazda optimum yakıt hava oranının elde edilmesi için enjektör-pompa grubu aracılığıyla gönderilen yakıtın yoğunluk değeri önemlidir. Yoğunluk yükselişi ile birlikte özdeş hacimli pompada daha az kütleli yakıtın gönderimi gerçekleşmektedir. Bundan dolayı genellikle dizel yakıtların özgül ağırlıkları 0,815–0,934 gr /dm³ arasında sınırlanmaktadır. Motorda dizel yakıtının yoğunluk değişimi yanmaya tesir etmektedir. Yükselen özgül ağırlık ile benzer koşulda daha yoğun bir yakıtın silindire alınması ile is emisyonları yükselmekte ve yanma karekteri kötüleşmektedir (Guibet, 1999).

2.2.2. Alevlenme noktası ve yanma noktası

Alevin bir kapta ısıtılan yakıta yaklaştırılması ile yakıt buharında yanmanın başladığı en düşük sıcaklık yakıtın parlama noktası olarak tanımlanır. Tutuşma buharının sönmeden sürdürme sıcaklığı ise alevlenme noktası olarak tarif edilir.

Parlama sıcaklığı alevlenme sıcaklığından biraz düşüktür. ASTM-93'e göre dizel yakıtının alevlenme noktası 55 ^{o}C'den az olmamalıdır (Koca, 2013).

2.2.3. Viskozite

Viskozite, akma esnasında sıvı tabakalar arasındaki iç sürtünmelerin veya bir akışkanın harekete karşı direncinin bir ölçüsüdür. Viskozite ikiye ayrılır. Dinamik viskozite; mutlak viskozite olarak tanımlanır. Dinamik viskozitenin yoğunluğa oranı kinematik viskoziteyi verir. Kinematik viskozite birimi santistok (cSt) olup, 1 cSt= 1 mm^2/saniyedir ve ASTM D-88'e göre viskozite 40 °C'de ölçülmelidir. Viskozite değerleri, Engler (DIN 51560), Redwood (Institute of Petroleum, Standart Medhods IP 70/57), Saybold Universal ve Saybold–Furol viskoziteleri sayesinde belirlenir (Yamık, 2002).

Dizel yakıt viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının sağlanması ve buna bağlı olarak silindirde olacak yanmaya direkt tesir etmektedir. Viskozite azaldıkça enjektörlerden silindirlere ulaştırılan yakıtın daha küçük moleküllere bölünmesi ve hava ile homojen bir karışım meydana getirerek daha düzenli bir yanmanın oluşmasını sağlamaktadır. Viskozite yüksek olduğunda ise enjektörlerden yakıtın istenildiği kadar küçük moleküller halinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımı elde edilemez. Buna ek olarak yakıtın püskürtülmesinde özellikle soğuk havalarda sorunlar meydana gelebilmektedir. Bu da yanmanın verimini azaltarak yanmamış hidrokarbon miktarını yükseltmektedir (Ergenç, 2009).

2.2.4. Setan sayısı

Setan sayısı dizel yakıtlarının en önemli özellikleri arasındadır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı yükseltilmiş havaya püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini açıklayan bir değerdir. Dizel motorlarında yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma zamanı sonunda sıcaklık ve basınç kendiliğinden tutuşabilmesi için benzine göre dizel yakıtlarının tutuşma eğiliminin daha yüksek olması gerekir. Tutuşma eğiliminin düşük, yani tutuşma gecikmesi (TG)'nin süre olarak büyük olması halinde yanma için ayrılan krank mili aralığı düşer. Bunun yanısıra TG süresince yanma odasında biriken ve birden yanan yakıt miktarı da fazla olacağı için mekanik zorlanmalara sebep olan (dizel vuruntusu) meydana gelir (Yamık, 2002).

2.2.5. Akma ve bulutlanma noktası

Özellikle soğuk havalarda dizel yakıtının akıcılık özelliğini yitirmemesi gerekir. Soğuk havalarda yakıtın püskürtme sistemine ve enjektöre ulaşamaması veya akma noktasının fazla olması motorun çalışmasını önler. Özellikle soğuk bölgelerdeki dizel motorlarında yakıtın akma noktasını azaltmak için içerisine belli ölçülerde farklı kimyasallar ve gaz yağı eklenilmektedir. Ucuz maliyetleri nedeniyle kızartma yağları ve hayvansal yağlar biyodizel üretiminde kullanıldıklarında, çok miktarda doymuş yağ asitlerine sahip oldukları için, yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Bu da iklim koşullarından etkilenerek donmalarına; kullanma ve depolama sırasında sorunların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, biyodizel kalitesine özgü tahlillerde, soğuk filtre tıkanma noktası değerleri, bulutlanma ve akma noktaları tayinleri uluslararası standartlarda bulunmaktadır. Akma noktası; numunenin, belirlenmiş standart şartlarda soğutulurken akıcılığını sürdürdüğü en düşük sıcaklıktır. Standart analiz metodunda ön ısıtma yapıldıktan sonra numune belli bir hızda soğutulur ve akış karakteristikleri için 3 °C aralıklarla denetlenir. Numune hareketinin gözlenebildiği en düşük sıcaklık akma noktası olarak not edilir. Bulutlanma noktası; deney numunesi, belirlenmiş standart şartlar altında soğutulduğunda parafin kristallerinden oluşan bir sisin gözlendiği ilk sıcaklıktır. Analiz metodunda numune belli bir hızda soğutulur ve belirli aralıklarla gözlenir. Gözlem tüpünde sisin gözlendiği ilk sıcaklık bulutlanma noktası olarak not edilir (Koca, 2013).

2.2.6. Isıl değer

Isıl değer, yanma sonunda meydana gelen çıktıların, yanmadan önce belli bir sıcaklıkta yekün entalpilerinin yakıt kütlesine bölümü ile bulunan değerdir. Genelde birim kütlesinin enerjisi ile verilmektedir (kj/kg ya da kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su daima buhar olduğundan, ısıl değer, alt ısıl değer olarak verilmelidir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısıl değeri hidrojen miktarına, yani özgül kütleye aşağıdaki deneysel ifadeye bağlanabilir (Yamık, 2002).

$$Hu=9822,2+36,6\ API\ (Kcal/kg) \quad (3.1)$$

Benzin veya Dizel yakıtı için,

$$Hu=42000–44000\ kJ/kg \quad (3.2)$$

Hu=10200–10500 kcal/kg (3.3)
olarak gösterilebilir.

2.2.7. Kükürt oranı ve korozyon etkisi

Dizel yakıtındaki kükürt seviyesinin partikül oluşumunu artırmasının yanısıra korozif etkiyi de artırıcı zararlı bir özellik olarak bilinir. Özellikle düşük sıcaklıklarda motor parçalarında aşırı korozyona neden olmaktadır. Kükürt miktarı ASTM-129'da ve IP 3362'ye göre yüksek hızlı motorlarda %1'den düşük olmalıdır (Yamık, 2002). Ancak Euro-4 normuna göre dizel motorlarında kullanılan yakıtlarda kükürt oranının maksimum 50 ppm olması gerekmektedir.

2.2.8. Dizel indeksi

Dizel indeksi, dizel yakıtlarının kendi kendine tutuşma eğilimi (kalitesini) süresini belirtir. Denklem (3.4)'de dizel indeksi ifadesi verilmektedir. Yakıt ile anilinin hacimsel olarak eşit oranda karıştığı ve homojen olduğu sıcaklığa anilin noktası denir. Petrol esaslı bileşiklerin anilin gibi aromatik bir bileşik içinde çözülmesi tamamıyla o bileşiğin yapısıyla alakalıdır. Düşük çözünürlüklü parafinlerin, yüksek anilin noktası değerleri vardır (Guibet, 1999).

Dizel İndeksi= Anilin Noktası (° F) * Özgül Kütle/100 (°API) (3.4)

2.3. Dizel motorlarında yanma

Dizel ve benzin motorları, çevrimin termodinamiği açısından birbirlerine çok benzer olmasına rağmen yanma olayının kontrolü ve geçirdiği safhalar açısından birbirlerinden oldukça farklıdır (Altın, 1998).

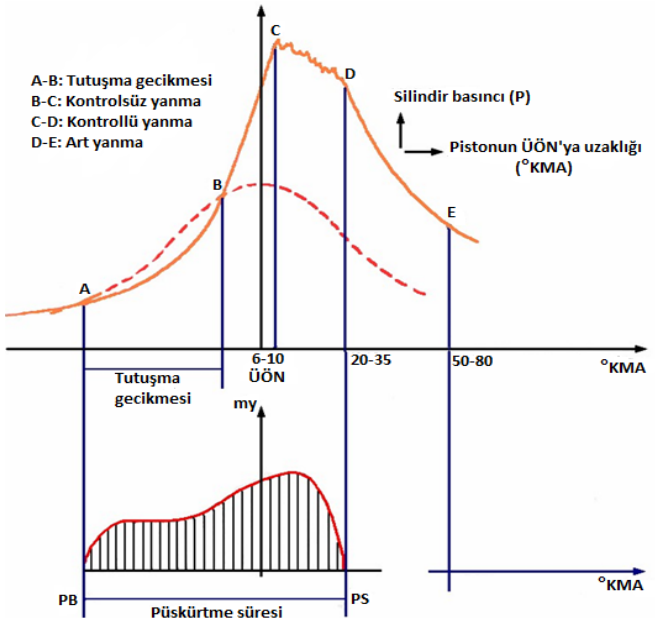
2.3.1. Yanma olayının safhaları

Dizel motorlarında yanma olayı üç safhadan oluşmaktadır. Yanma olayının grafiği incelendiğinde en yüksek basınç noktası, yanma aşamasının ilk fazının bitim noktası olarak nitelendirilmektedir. En yüksek sıcaklığın oluştuğu noktada ikinci fazı

ifade edip, yavaş yanma fazı biter ve üçüncü faz ise art yanmanın başlangıcı kabul edilir (Safgönül ark., 1999).

2.3.1.1. Tutuşma gecikmesi periyodu

Tutuşma gecikmesi peridoyu, yanma odasına yakıtın püskürtülmesinin başlangıcı ile yanmanın başlaması arasındaki periyot olarak ifade edilmektedir. Bir diğer deyişle püskürtmenin başlaması ile tutuşma başlangıcına kadar geçen gecikme süresidir. Hava ile yakıtın karışımı bu periyodun süresini belirler. Yanma odasının şekli, yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklık bu periyoda tesir eden en önemli etkenlerdir. Gecikme periyodunun süresinin azalması, sıcaklık ve basıncın yüksek olması ile gerçekleşir. Sıkıştırılan havaya yakıt püskürtüldüğünde hava ile karışım oluşur ve bu oluşan karışım aşırı zengin bölgesinde yanma başlar fakat fakir karışım bölgelerinde yanma daha sonra başlamaktadır. Gecikme periyodu süresinin kısalmasına homojen karışım ve yüksek hava hareketi (türbülans) etki eder. Bu olaylar gerçekleşirken geçen sürede artış oluşursa silindir içerine daha fazla yakıtın girmesi ile sonuçlanır. İlk tutuşmanın gerçekleşmesinden sonra silindir içene dolmuş olan yakıt kontrolsüz bir şekilde yanacak, bir diğer deyişle patlayarak yanacaktır. Tutuşma periyodu boyunca silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarında artış olması durumda, dizel vuruntusunu meydana getirir (İlkılıç, 1999; Safgönül ark., 1999).



Şekil 2.1. Bir dizel motoruna ait yanma diyagramı (Safgönül ve ark., 1999).

Şekil 2.1 incelendiğinde, püskürtme başlangıcı olan A noktası ile tutuşma noktası olan B noktasına kadar önemli ölçüde bir gecikme görülmektedir. Bu gecikme, tutuşma gecikmesi olarak ifade edilmektedir (Altın, 1998).

Şekilde tam ve kesik çizgi ile gösterilen eğriler sırasıyla yakıt-hava karışımı ve sadece hava ile elde edilen basınç-krank açısını göstermektedir. Sadece ilk durumda ateşleme olacağı için iki eğri B noktasında birbirinden ayrılmışlardır. Tutuşma gecikmesinin süresi, yakıtın buharlaşması (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve akabinde gerçekleşen tutuşma anına kadar oluşan ön tepkimelerin oluşturduğu (kimyasal tutuşma gecikmesi) fazlarından meydana gelmektedir (Borat ve ark., 1994)

Yakıt buharlaşması belli bir zaman aralığında meydana geldiği kabul edilmektedir. Fakat damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar katmanı meydana gelmekte ve bu buhar katmanından yanma başlamaktadır. Daha sonra meydana gelen buharlaşma ise TG‘ne herhangi bir etkisi yoktur. Bu nedenle buharlaşma olayının TG’ne faydası pek olmaz. Bunun yanısıra buharlaşma hızı tutuşma sonrası tepkime hızı ile orantılı olarak değişmektedir. Aynı zamanda buhar fazında yakıtın yanma hızı da buhar tabakasını kapsayan havanın oksijen yoğunluğu ile orantılı olarak değişmektedir. Bu bulgular dizel motorunda buharlaşma bitmeden yanmanın başladığını belirtir (Altın, 1998).

Tutuşma gecikmesinin süresi uzun olması durumunda, hava ile yakıtın karışmasına daha çok vaktin olduğunun göstergesidir. Tutuşma gecikmesinin süresi boyunca krankın dönme açısına gecikme açısı adı verilmektedir. Bu açı tutuşma gecikmesi süresi ile krank açısal hızının çarpımıyla bulunur. Yakıt pompası ile krank mili birbirine bağlı olduğundan tutuşma gerçekleşmeden önce püskürtülen yakıt miktarı ile gecikme açısı doğru orantılı değişim göstermektedir (Borat ve ark., 1994).

Yakıtın olduğu gibi püskürtüldüğü dizel motorlarında yakıt/hava oranı yanma başlangıcı ile ilgili çok önem teşkil etmez. Bunun nedeni ise silindirde yakıt/hava oranının sıfır ile sonsuz arasında değişen birçok nokta olmasından kaynaklanır. Yanma, tutuşma için en ideal oran olan yakıt/hava oranındaki bu sonsuz değer değişimine tesir etmez. Bundan dolayı bunların TG üzerinde dikkate değer bir tesiri yoktur.

Sıcaklık başta olmak üzere yakıt kalitesi ve basınç, tutuşma gecikmesine etki eden en önemli faktörlerdir. Basınç ve yüksek sıcaklık tutuşma gecikmesi süresini kısaltır. Eğer yakıt jeti duvarlara kadar erişirse ve duvarlar da çok sıcak olursa tutuşma gecikmesi süresi kayda değer bir şekilde kısalır. Tutuşma gecikmesi süresi boyunca

silindire püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesine tesir etmez (Borat ve ark., 1994).

2.3.1.2. Kontrolsüz yanma

Bu aşama, ateşleme gecikmesi periyodu boyunca yanabilirlik sınırları içerisinde, hava ile karışan yakıtın hızlı yanmasından meydana gelir. Bu süre boyunca silindir basıncı artar. Bu periyot sırasında en yüksek çevrim basıncı meydana gelmektedir. Etrafa saçılan alevlerden dolayı yakıtta kimyasal değişimler meydana gelir (İlkılıç, 1999; Safgönül ve ark., 1999).

Yanmanın bu ikinci fazındaki basınç yükselişi aşağıdaki etkenlerin değişim göstermesinden etkilenir:

- Yakıtın atomizasyon derecesi; bu aracın enjeksiyon sisteminin tasarımı ile alakalıdır.
- Gecikme boyunca püskürtülen yakıtın miktarı; TG süresinin uzunluğuna bağlı değişim gösterir.
- TG boyunca yakıtın hava ile karışımının ne kadar ideal olduğu, püskürtme karakteristiği, karışım için geçen süre ve bir dereceye kadar silindirdeki hava hareketleri bu etken üzerine tesir eder. Yüksek motor hızı ve uzun süren TG'de karışım daha kusursuz gerçekleşir.
- TG boyunca silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı, geçen zaman boyunca çok miktarda yakıt püskürtülürse, bu yakıtın bir bölümü oksijenle birleşerek basıncın yükselme hızının daha da attırılmasına neden olmaktadır.

Yukarıdaki ifadelerden anlaşılacağı gibi basınç yükselme hızı, TG süresi ile doğrudan alakalıdır. Tutuşma öncesinde yakıt ile hava karışımına daha az olanak vermek için TG süresi kısa, motor devrinin de havanın hareketini azaltacak biçimde düşük seviyede olmalıdır (Altın, 1998).

2.3.1.3. Kontrollü yanma

Ateşlemenin gecikmesinin süresince birbiriyle karışabilen yakıt ve hava, birbirleriyle karışma ölçüleriyle denetlenir. Yanmanın başlaması ile beraber en son olarak püskürtülmüş yakıtında yanma işleminin bittiği süre aralığındaki zamana

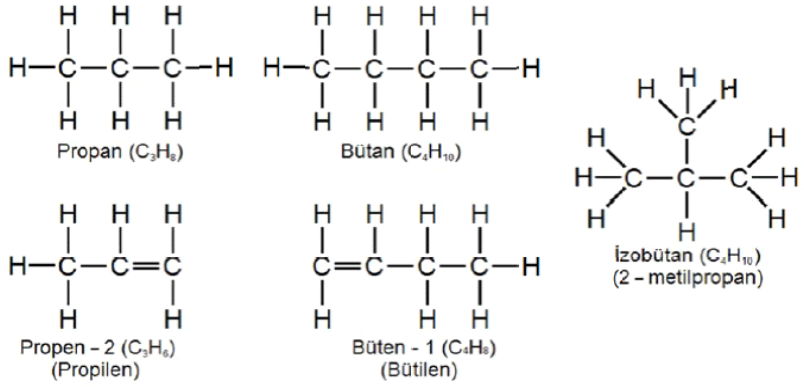
kontrollü yanma denir. Hızlı yanmanın bitimiyle beraber 2000 °C üstündeki sıcaklık tarafından yanmaya devam eden yakıt 6^{o} KMA süresince yanmayı sürdürür, bu andaki oluşan karışım alevi yeterince parlak değildir. Egzoz supabı açılmadan önce bu periyodun bitmesi lazım (İlkılıç, 1999; Safgönül ve ark., 1999).

Yüksek verim elde edebilmek için yanmanın mümkün olduğu kadar ÜÖN civarında bitmesi lazım. Bundan dolayı üçüncü safha içinde oksijen/yanmamış yakıt oranının büyük, karışım ise hızlı ve aynı zamanda kusursuz olması istenir. Tutuşmaya kadar yakıt püskürtülmesi, bitmiş olsa da istenmeyen bir püskürtme tipi üçüncü safhada yanmanın süresinin uzamasına neden olmaktadır. Püskürtmenin üçüncü safhaya uzadığı durumlarda düşük devirli dizel motorlarında meydana geldiği gibi, püskürtme hızının yanısıra karışım hızı da yanma olayına tesir eder. Bu motorlar üçüncü safhada hava-yakıt karışımını çok tesirli yapmaktadır (İlkılıç, 1999; Safgönül ve ark., 1999).

3. ALTERNATİF YAKIT OLARAK LPG KULLANIMI

LPG'nin özellikleri ve tanımı, kullanımının ilerleyişi, genel durumu ve kullanım oranları aşağıda ifade edilmiştir.

LPG ticari bütanın ve ticari propanın genel adıdır. Gaz ve petrol endüstrisinde üretilen hidrokarbon ürünüdür. Genellikle propan üç karbon atomlu hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Genellikle ticari bütan dört karbon atomunu içinde barındıran hidrokarbonlardan meydana gelmektedir. Başlıca normal ve izo-bütandan meydana gelmektedir (Ciniviz, 2001).



Şekil 3.1. LPG'nin ana bileşenleri (Yiğit, 2008)

Ham petrol rafinelerinden üretilen LPG, bütan ile doymuş propan hariç başka HC bileşenlerini de barındırır. Propilen, izobütan ve bütilen gibi başta gelenleri şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Türkiye'de genellikle sanayide, aydınlanma, ısınma ve mutfaklar gibi çoğu alanlarda kullanılan, dünyada ve özellikle AB, ABD ve Japonya gibi çoğu ülkede otomotiv sektöründe araçlara enerji üretiminde, havalandırma aletlerinin çalıştırılmasında, petrol kuyuları sondaj donanımlarına güç üretiminde kullanılan LPG; Bütan (C_4H_{10}) ve Propan (C_3H_8)'ın belirli oranlardaki karışımından meydana gelen ve Liquefied petroleum Gases kelimelerinin baş harfleri ile gösterilen sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Dünyadaki LPG üretimin, %39'u rafineri %61'i ise doğal gaz üretiminden elde edilmektedir.

Çizelge 3.1'de Bütan ve propan yakıtlarının fiziki nitelikleri ve yanma karakteristikleri gösterilmiştir. Basınç altında depolanan LPG gazı; sıvılaştırılmış uçucu hidrokarbondur. Üstündeki basınç kaldırılıp hava ile hacimsel olarak % 2 - 9 civarında karışımlarda yanıcı bir gaz halini alır. Düşük buharlaşma sebebiyle sıvı gazın insan vücuduna değme neticesinde oldukça önemli deri yanıklarına yol açabilir. Dahası bu gazın solunmasından uzak durmak ve kullanımı esnasında dikkatli olunmalıdır. LPG ile temas halinde olma durumuna karşı gözlük ve eldiven tarzı koruyucu tedbirler alınmalıdır.

Başta rafinerilerde ısıtma maksatlı kullanılan LPG'nin yakıt olarak kullanılması II. Dünya savaşı öncesi dönemlere kadar gider. Savaşın ardından ticari uygulamalar ve yerel sanayiye de açılsa da kullanımın yaygınlık kazanması standartlaşmasının ardından ulaşılmıştır. Günümüz kullanımında ise otomotiv sektörünün gereksinimlerini karşılayan bu yakıt, mevsim ve ülke çapında çok değişik propan ve bütan karışım oranlarıyla piyasada varlığına devam etmektedir. Farklı ülkelerde kış ve yaz aylarında satışı yapılan LPG'nin propan/bütan oranları çizelge 3.1'de verilmiştir (Yiğit, 2008).

LPG'ye basınç uygulandığı anda toplam hacimdeki propan ve bütan yüzdelerine göre 1/230 ile 1/267 oranında küçülür. Bu da şu anlama gelir, 267 m^3 LPG sıkıştırıldığında sıvı olarak 1 m^3'lük bir hacme sığar (SAHAKK-İ Projesi, 2012).

Sıvı fazdan gaz fazına geçme esnasında hacmi 25 ℃'den tahmini olarak 240-270 kat artış gösterir. Ham petrolün damıtılması ile üretilen LPG sudan arıtılır ve içinde bulunan kükürt seviyesi optimum düzeye çekilir (Ç.S.G.B, 2005).

Çizelge 3.1. Propan ve bütanın fiziksel ve yanma karakteristikleri (Anonim, 1999)

Özellikler	**Propan**	**Bütan**
Hava/Yakıt Oranı	15,1	15,0
Alt ısıl değeri	46,4	45,6
NŞA fiziksel hali	Gaz	Gaz
Atmosfer basıncında buharlaşma sıcaklığı (°C)	-42,0	-0,5
Buharlaşma gizli ısısı (kj/kg)	426	385
NŞA Stokiyometrik orandaki karışımı yakmak için gereken tutuşturma enerjisi (MJ)	0,3	0,3
Maksimum laminer yanma hızı (m/s)	0,4	0,4
Tutuşma sınırları	0,65-3,2	0,53-2,2
Stokiyometrik karışımın birim hacimdeki kimyasal enerjisi(MJ/m^3)	3,49	3,45

Dizel yakıtının 14,5/1, süper benzinin 14,7/1, normal benzinin 14,8/1, hava/yakıt ağırlık oranlarıyla kıyaslandığında, LPG'nin birim hava ile normal benzine kıyasla 0,955 kat, süper benzine kıyasla 0,949 kat daha az yakıt kullanıldığı, bu durum ise LPG'nin özgül ısısının yükseklik üstünlüğünü hemen hemen kaybetmektedir. Gaz yakıtlarının kullanım güvenliği bakımından önemli bir ölçüt ise tutuşabilirliktir. Gaz ve hava karışımları sadece tutuşabilirliğin üst ve alt sınırları içinde alev aldıklarında yanma gerçekleşebilir. Tutuşmanın üst ve alt sınırları, hava içinde, bu değerlerin altında ve üstünde alevin yayılamayacağı yanıcı gaz oranlarını belirtir (Ciniviz, 2001).

Türkiye'de otomobil yakıtı olarak %70 Bütan, %30 Propan içeren LPG kullanılmaktadır. LPG'nin buharlaşma sıcaklığı 0˚'nin altında olup daha yüksek ısılarda sıvı fazda kalabilmesi adına atmosfer basıncından daha fazla basıncın olması gerekir. Taşıtlarda kullanılan LPG'nin basınca dirençli tanklarda depo edilmesinin nedeni budur. Bu tanklar taşıtın kullanıldığı alandaki LPG'nin 15 derecedeki buhar basıncının (sıvı fazda kalması için yeterli olan basınç) referans olarak, ECER 67 ve TSE standartlarına uygun olarak elde edilmektedir (URL 3).

Çizelge 3.2. Bazı ülkelerde satılan LPG'nin propan/bütan değerleri (Yiğit, 2008)

Ülke	**Propan(%)/Bütan(%) Oranı**	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Almanya	100/0	
Danimarka	50/50	70/30
İngiltere	100/0	
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	100/0	50/50
İsviçre	100/0	

LPG'deki bu kış ve yaz aylarında gözlenen yüzde karışım değişiklikleri, karışımı meydana getiren bütanın ve propanın fiziksel özelliklerindeki farklardan ortaya çıkar. Bütan ve propanın ilk kaynama noktaları arasındaki fark ve değişik ortam sıcaklıklarında ve karışım oranlarında değişik buhar basınçlarında olmaları, yerel bazda bu kullanım değişikliklerini ortaya çıkarmıştır. Bunun yanısıra, LPG'nin özelliklerinden ötürü propanda, bütandan daha düşük sıcaklıklarda kaynama meydana geldiğinden kış döneminde bazı ülkelerin kullanmış oldukları LPG'de propan oranını yükselttikleri veya sadece propan kullandıkları görülebilir (Yiğit, 2008).

3.1. LPG Çeşitleri

LPG çeşitleri iki ayrı grupta incelenebilir.

3.1.1. Motorlu araçlarda kullanılanlar

Ticari Propan: Başlıca propan (C_3H_8) ve propilen (C_3H_6)'den ortaya çıkan fiziki yöntemlerle sıvılaştırabilen gaz karışımıdır. Yüksek uçuculuğa sahip olan bir hidrokarbondur. Bu yakıt, evlerde, ticari ve endüstriyel maksatlı kullanımlarda bilhassa soğuk iklimin görüldüğü kesimlerde, homojen yakıtın arzulandığı durumlara elverişlidir. Bunun yanısıra ticari propan düşük hızlı motorlar için makul bir yakıttır. Saflığı kütlece %95'tir.

Özel hizmet propanı: Bu gaz; temelde propandan oluşmakta, genellikle içten yanmalı motorların vuruntusuz çalışmasını sağlayan hidrokarbondur. Saflığı kütlece %98'dir. Özel hizmet propanı, vuruntusuz ve orta hızda olması lazım olan içten yanmalı motorlara göre üretilen LPG türüdür (Yiğit, 2008).

3.1.2. Motorlu araçlarda kullanılmayanlar

Ticari bütan: Başlıca bütan (C_4H_{10}) ve bütilen (C_4H_8)'den oluşan fiziki yöntemler ile sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Ticari bütan uçuculuğu az olan bir hidrokarbondur. Buharlaşma sorununun olmadığı sanayi kuruluşlarında, ılıman iklimin görüldüğü yerlerde ve evlerde yakıt olarak bu gaz karışımı kullanılabilir. Saflığı kütlece %95'tir.

Çizelge 3.3. LPG çeşitlerinin özellikleri (Kutluk, 2003)

ÖZELLİKLER	Ticari propan	Ticari bütan	Özel hizmet propanı
İlk kaynama noktası (ºC)	-46	-9	-46
Sıvı fazın özgül ısısı (kJ/kg ºC)	1366	1276	1366
Bir litre LPG'nin (sıvı fazdaki) buhar hacmi (m^3)	0.271	0.235	0.271
Hava-gaz karışımında patlama sınırları(havada)hacimce buhar yüzdesi a)Alt b)Üst	 2.15 9.60	 1.55 9.60	 2.15 9.60
Kaynama noktasındaki Buharlaşma ısısı a)Kj/kg b)Kj/l	 430 219	 388 226	 430 219
Alev sıcaklığı (ºC)	1980	2008	1980
Tutuşma sıcaklığı (ºC)	493-549	482-538	493-549
Kükürt miktarı (mg/kg)	185	140	123
Oktan sayısı	111	103	111
Alt ısıl değeri (Mj/kg)	46.1	45.46	46.1

Ticari propan ve bütan karışımı: Ticari bütan ve ticari propanın karıştırılması sonucunda ortaya çıkan gazdır. Uçuculuğu ortalama bir ölçüdedir. Karışım ilintileri büyük bir aralığı kapsayabileceği için sınırlı gereksinimleri karşılayabilecek yakıt üretilebilir. Zaman ve iklim koşullarındaki yöntemlere göre endüstriyel, ticari ve evlerde kullanılmaya makul özelliklerde yakıtın üretilmesi uygundur (Yiğit, 2008).

3.2. LPG'nin Özellikleri

3.2.1. Buhar basıncı

Bir sıvının, herhangi bir sıcaklıkta buharı ile dengede, yani başka bir ifadeyle yoğunlaşma hızıyla buharlaşma hızının aynı olduğu basınca, bu sıvının buhar basıncı denir. Propanda, bütana nazaran daha düşük kaynama noktası sıcaklığı sebebiyle, daha uzun zaman ve daha büyük oranlarda buharlaşma ve ayrıca, düşük sıcaklıkta bile daha uygun basınçlar meydana gelebilir (Shipman, 1997).

3.2.2. Alt ısıl değeri

Birim hacimdeki gazın tümünün yakılmasıyla meydana gelen toplam ısıdan ürünlerde bulunan gaz halindeki suyun tamamının yoğuşması için gerekli olan ısının çıkarılmasıyla elde edilen net ısıdır.

Dahası, termodinamik hesaplarda alt ısıl değerin kullanılmasının sebebi, egzoz gazı sıcaklarının suyun kaynama noktasının oldukça üzerinde olması nedeniyle tepkimenin iki yanında da aynı oranda enerji bulundurup ne pozitif ne de negatif iş oluşturmasıdır. LPG, oldukça yüksek ısıl değerlerine sahip olduğundan dolayı verimli bir şekilde kullanıldığı taktirde iş yapma potansiyeli oldukça yüksektir. Çizelge 3.3'te bazı yakıtların alt ısıl değerleri gösterilmiştir (Ustael, 2011).

Çizelge 3.4. Birkaç yakıtın alt ısıl değerleri verilmiştir (Holt, 1982)

Yakıt	Mj/kg	Mj/l
Dizel yakıtı	42-45	35,7-38,25
LPG	46,2	102900
Benzin	45-47	33-34,5
Etanol	24	19,2
Metanol	29	-
Gazyağı	46	-
Taşkömürü	29,4	-

3.2.3. Kaynama noktası

Bir sıvının buhar basıncının dış ortam basıncına eşit olduğu sıcaklık, o sıvının kaynama noktasıdır. Literatürde bu değerler, 1 atm yani 1.01325 bar mutlak dış basınca göre tespit edilir. Sıcak iklimlerde bütan, daha soğuk iklimlerde ise propan fazlalı LPG kullanılır (Ustael, 2011).

3.2.4. İzafi yoğunluğu

Çizelge 3.2'de de verildiği gibi, sıvı haldeki bütan ve propan suya nazaran tahmini olarak yarı yarıya daha hafiftir. Fakat, gaz halindeki bütan ve ticari propan hava ile karşılaştırıldığında sırası ile yaklaşık olarak 2 ve 1,5 kat daha ağırlardır ve bu durum havadan daha hafif olan doğal gazla aralarındaki en belirgin farklardan birine sebep olur. Bu farklı özelliklerden iki önemli sonuç çıkar. Bunlardan ilki, doğalgazla çalışan bir takım, LPG'yle çalışır vaziyete getirildiğinde, belli bir çaptan eşit basınçtan geçen 2 değişik gazın miktarı gazların yoğunluklarının karesiyle ters orantılı olduğundan sabit basınçta aynı püskürtme ağız çapında çıkan gazın miktarı azalır. Bundan dolayı, püskürtme ağız çapı uygun gaz debisine bakılarak değiştirilir. İkincisi ise, havaya göre daha ağır olan bütan ve propan olası bir kaçak durumunda tabanda, bodrum/mahzen ya da kanalda toplanacağı ihtimaline karşı gerekli tedbirler alınmalıdır (Ustael, 2011).

3.2.5. Tutuşma sınırları

Bir yakıtın alev alabilmesi için gaz halinde hacim olarak hava ile minimum ve maksimum oranda karışmış olması lazım. Belirlenen bu çerçevenin dışına çıkıldığında ya yakıt yeterli miktarda oksijen bulamaz veya yanmayı devam ettirecek derecede yakıt olmaz. LPG, %2-10 civarında havayla teması sonucunda alev alabilir. Diğer yakıtlara nazaran daha kısıtlı aralığa sahip olduğu için LPG, bu anlamda daha güvenli bir yakıttır. Fakat, aşırı derecede zengin bir karışım şeklinde iletilirken kazara ortaya çıkacak bir sızıntı oldukça tehlikeli sonuçlar meydana getirebilir (Aydın, 2006).

3.3. LPG yakıt sisteminin avantaj ve dezavantajları

LPG yüksek oktan sayısına sahiptir (105 RON). Gaz halinde havayla daha homojen karıştığı için iyi bir yanma meydana gelir. Sıvı haldeki yakıtın buharlaşarak kartere sızıp karter içindeki yağı sulandırması bu sistemde mevcut değildir. LPG yakıtları tümüyle buharlaşmış bir şekilde emme manifolduna girer. Bu sebeple de motor yağı seyreltisi olmadığı için motor yağı daha uzun süre dayanır. LPG yakıtlı motorlarda, sıvı yakıtın buharlaşması sebebiyle yoğunlaşan yakıtın silindirin cidarındaki yağı ortadan kaldırarak segman ve silindiri yağsız bırakma sorunu yoktur. Dizel ve benzin yakıtlarıyla karşılaştırıldığında egzoz çıktılarının kirlilik oranı daha azdır. Onarım ve işletme maliyetleri daha düşüktür. Diğer yakıtlara nispeten daha ucuz bir yakıttır. Fakat, basınç altında sıvılaştırılarak saklanıldığı için depolanma ve dağıtımı oldukça zahmetlidir. LPG kullanıldığında motor verimi çok iyi olmamaktadır çünkü sıkıştırma oranı yüksek seçildiği takdirde bütün yakıtın buhar halinde motora alınması hacimsel (volumetrik) verimi düşürüyor. Kuru yanma, yanma odasının erken korozyonuna sebep olmaktadır (Çetinkaya, 1998).

Ekonomik oluşu, depolanabilmesi, kolay elde edilmesi, oktan sayısının yüksek oluşu ve diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında egzoz salınımlarının düşük olması LPG'nin içten yanmalı motorlarda alternatif bir yakıt halinde kullanılmasını sağlamıştır (Gümüş, 2009)

LPG çevreci bir yakıttır çünkü molekül ağırlığı ve karbon/hidrojen oranı diğer yakıtlara nazaran daha düşük olduğu için yandığında çevreye daha az zararlı emisyonlar salar (Jothi ve ark, 2007).

LPG yakıt sisteminin diğer yakıt sistemleriyle karşılaştırıldığında avantajları aşağıda belirtildiği gibidir:

- Ateşleme bujileri daha dayanıklı olur.
- Vernik, kurşun veya karbon atığı LPG içeriğinden çıkmadığı için motor odası ve karterini kirletmez.
- Egzoz emisyonları bakımından daha çevrecidir.
- Yakıt olarak kullanılmadan önce çok az arıtılmaktadır.
- Dizel ve benzin araçlarıyla karşılaştırıldığında oldukça ucuzdur.
- LPG kokusuz, renksiz ve toksik özelliği olmayan bir maddedir. Sıvı fazda suya benzerdir. Gaz kaçaklarının belirlenmesi için sonradan kokulandırılmaktadır.
- Otomobillerdeki var olan yakıt sistemi aksaklıklarını düşürür.
- LPG basınç altında depolanabilir, borular ve kalın çelik tanklarla taşınabilir.
- Motoru yağlamak için kullanılan yağ 3 kat daha dayanıklı olur.
- Egzoz borusu ve susturucular daha dayanıklı olmaktadır.
- Tümüyle kapalı bir sistem olduğundan çevreye zarar vermez. Buharlaşma ve akma yapmaz.

LPG kullanılan yakıt sistemi diğer yakıt sistemleriyle karşılaştırıldığında dezavantajları aşağıda belirtildiği gibidir:

- NOx emisyon sorunları ortaya çıkmaktadır.
- Isı yükseldikçe basınç yükselerek kritik bir basınç ve sıcaklıkta depolandığı tankın patlamasına sebep olabilir.
- Yakıt tüplerinin hacmi büyük olduğu için çok yer kaplar bu da bagaj hacmini azaltır.
- LPG toksik bir madde değildir. Fakat miktarı çoğaldıkça boğuculuk tesiri oluşur.
- Tipik özellikleri sebebiyle motor performansı biraz düşmektedir.
- Düşük sıcaklıkta buharlaşma sebebiyle sıvı gazın insan vücudu ile değmesi neticesinde şiddetli deri yanıkları oluşur.
- LPG sistemi ekstra maliyet ortaya çıkarmaktadır.
- Depolama esnasında sızıntı ve dökülme tehlikesi vardır. Havalandırma yapılmazsa risk yaratabilir (Yiğit, 2008).

3.4. LPG'nin taşıma ve depolanması

LPG'nin gaz halinde kullanılıp sıvı halde taşınabilmesi en büyük üstünlüklerinden biridir. 100 gr'lık çakmaklardan tutun da 15 tonluk tankerlere kadar çeşitli şekillerde depolanıp bir yerden başka bir yere taşınabilir. LPG sıvı halde taşınırken, basınçlı kaplarda saklanmalıdır. Test edilen basınçlı taşıma kapları yani başka bir deyişle LPG tankları, üç parça halinde yüksek nitelikli çelikten üretilerek su altı ark kaynağı vasıtasıyla birleştirilir. Sonradan 45 bar basınca bir dakikalık süreliğine hiçbir sızıntı, şişme, çatlama, esneklik ve akma belirtisi göstermeden dayanması için beklenilir. Uluslararası sularda deniz vasıtasıyla taşınan LPG ise sıvı halde muhafaza edilir, fakat LPG'yi sıvı halde muhafaza etmek için binlerce ton LPG'yi saklayacak kadar büyük tankları yapmak kadar, olabilecek bir kaza esnasında meydana gelebilecek felaketi azaltmak içinde önemli olduğundan konstrüksiyon, tasarım ve montajı ekonomik ve daha emniyetli olan soğutma sistemleri tercih edilir.

Basınçlı kaplarda muhafaza edilen LPG'nin, %80 doluluk oranı ve 15 ^{o}C sıcaklığa sahip olması beklenir. Kabın iç basıncını LPG'nin buhar basıncı sağladığı ve sıvı haldeki LPG'nin genleşme katsayısının yüksek hem de LPG'nin buharlaşma bakımından sıcaklığı çok hassas olduğundan bu kurala mutlaka tabi olunmalıdır. Yoksa kabın iç basıncı şiddetli bir şekilde artarak kazalara sebep olabilir (Aydın, 2006).

3.5. LPG'nin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması

Bugünkü benzin motorlarında sıklıkla kullanılan LPG, ilk kez Amerika kökenli bir şirket olan San Gas-electric Company tarafından kullanılmıştır. Bilim muhiti bu yakıtı kullanılabilirliğinin az ve yüksek emisyonlara sahip olması açısından yeni çalışmalar ile desteklenip kullanımını attırmıştır (URL 4). Motorlu taşıtlardaki gaz yakıtlar, özellik ve yapı açısından ikiye ayrılır. Bunlar daimi gazlar ve sıvılaştırılmış gazlardır. Doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı gibi, normal atmosferik şartlarda gaz fazında olan yakıtlara gaz yakıtlar denilmektedir (Çetinkaya, 1998). Gaz yakıtların bir kısmı kolay bir şekilde sıvılaştırılabilir, bir kısmı da sıvılaştırılamazlar.

Sıvılaştırılmış gazlar; belirli sıcaklık ve basınçta gaz fazında ya da sıvı fazdan gaz fazına dönüşebilen gazlardır. C_3H_8, C_4H_{10}, LPG vb. kritik sıcaklığı ortam sıcaklığının üstünde olan gazlardır. Tüplerde 10-15 atm. basınç altında sıvı halde taşınır ve depolanırlar (Kaya, 2002).

Daimi gazlar; oldukça yüksek basınç altında dahi sıvı faza geçmeyen her zaman gaz halinde olan gazlardır. Bunlar genellikle gaz kurallarına uyarlar, aynı zamanda perma gazları şeklinde de adlandırılırlar. CH_4, doğalgaz gibi kritik sıcaklığı, ortam sıcaklığının altında olan gazlardır. 200 atm altında boru hatlarıyla veya kalın çelik tüplerle nakledilirler (Çetinkaya, 1998).

İçten yanmalı motorlarda bir gazın veya sıvının yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı özellikleri sağlaması lazım. Fakat, çevrim türüne göre motorların yakıt tipi gereksinimi değiştiğinden hatta tutarsız olduğundan ilk olarak çevrimlerin gereksinimleri belirlenmelidir. Benzin motorları, sabit hacimde, oldukça hızlı ve başlangıcı denetlenebilir bir yanmaya ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı da yakıtın hızlı ve kolay buharlaşan başka bir deyişle uçucu fakat kendiliğinden alevlenmeyecek kadar da sağlam yani oktan sayısı ve vuruntu direncinin yüksek olması gerekmektedir. Dizel motorlarında ise belli bir zamana yayılacak şekilde, benzin motorları ile karşılaştırıldığında olabildiğince sabit basınçta ve daha yavaş bir yanmayı ister. Bunu yapacak olan yakıtın da yüzey gerilimli ve viskozitesinin düşük dahası tutuşma eğiliminin yüksek olması istenmektedir. Çünkü dizel yakıtı doğrudan silindire püskürtüldüğünden ve tutuşma belli bir gecikme ile başladığından yakıtın oldukça hızlı olarak zerrelere ayrılabilen, uçuculuğu düşük, akışkanlığı yüksek ve tutuşma eğiliminin yüksek olması gerekmektedir. Fakat çabuk tutuşan yakıtların bununla birlikte uçucu oldukları için dizelde bu durumda bir optimizasyona gidilir ve püskürtme sistemleriyle tutuşan ilk yakıt buharının olabildiğince az olması sağlanmalıdır. Bu sebeple, benzin motorlarındaki ani yanma olan dizel vuruntusuna örnek gösterilebilecek bu olayın neticesinde meydana gelen ani basınç yükselişi düşürülmektedir.

LPG, benzine nazaran daha yüksek oktan sayısı (> 100) ve atmosfer basıncı dolaylarında gaz halinde olması nedenleriyle benzin motorlarının çevrim türüne daha elverişlidirler. Dahası, tutuşma için hava ile karışma limitlerinin kıt olması, kaynama noktasının benzin ile karşılaştırıldığında oldukça düşük sıcaklıklarda olması nedeniyle hava ile daha homojen ve oldukça çabuk karışır bu nedenle daha temiz ve verimli yanması gibi sebeplerle iyi bir alternatif yakıt olmaktadır. Bunlara ilave olarak, motorların parçalarının aşınması ve yağ tüketim sorunlarına pozitif bir desteğinin olduğu da bilinmektedir (Aydın, 2006). LPG tankı ağır ve benzin tankıyla karşılaştırıldığında oldukça büyük oluşu ve bagaj hacminin daralması sorunlarına sebep olsa da benzinli taşıtlar LPG kullanır şekle çevrilmektedir. İlave masraflar iki

yakıt arasındaki fiyat farkından dolayı kısa zamanda kendini telafi eder (Ustael, 2011).

3.6. Taşıtlarda LPG kullanımı

Bütün dünyada çevresel ve ekonomik sebeplerden dolayı hükümetlerin benzin bazlı yakıtların verebileceği enerjiyi verecek, diğer yakıtları arama çalışmaları hele 1970-1980 yılları aralığında ortaya çıkan petrol sıkıntısı ile beraber büyük önem oluşturmuştur. Günümüzde LPG motorlu araçlar alanında dikkatleri üzerine çeken yakıtlardan biri olmuştur. LPG'nin otomotiv sektöründe kullanımı uzun yıllar öncesine dayanır. Örneğin, Hollanda ve İtalya'da taksilerde ve şahsi taşıtlarda 40 yıldan uzun bir zamandır LPG kullanılmaktadır (URL 5, 2017).

İtalya dünya çapında LPG kullanımlı araç yoğunluğu açısından 1,1 milyon civarında taşıt ile ilk sırada yer almaktadır. Bunu 490 bin taşıtta kullanan Avustralya, 400 bin taşıtta kullanan Kuzey Amerika, 360 bin taşıtta kullanan Hollanda takip etmektedir. İtalya havayı daha temiz yapmak adına yürüttüğü aralıklarla trafiğe çıkma sınırlamasını uygulamaya soktuğu belli alanlarında LPG'li taşıtları, uygulamaya hariç tutmaktadır. Dahası çevrimi yaptırılmış olan LPG'li taşıtlar, çevrilişleriyle beraber, üç sene süreyle taşıt vergileri ödememektedirler.

Japonya yılda 1,8 milyon tondan fazla LPG harcamasıyla dünyadaki en büyük otogaz kullanıcısıdır. LPG kullanımı Yokohama ve Tokyo gibi büyük kentlerin nüfus yoğunluğu ve hava kirliliği sorunlarına bir çare getirmiştir. Tokyo'daki taksilere Japonya hükümeti LPG kullanma zorunluluğu getirmiştir. Günümüzde Tokyo'da etkin olan 270 bin taşıt, taşıt başına senede altı ton civarında LPG harcıyor bu yüzden Japonya, günümüzün en büyük LPG kullanan ülkelerinden biri konumuna gelmiştir (URL 5, 2017).

Viyana'nın şiddetli kirlilik sorunları çok öncesine dayanmaktadır. Yetkililer hava kirliliğini düşürmek için otuz seneden beridir şehir içi ulaşım amacıyla iş gören otobüsleri LPG'li hale dönüştürmüşlerdir. Bunun sayesinde kirlilik dikkate değer bir ölçüde düşmüştür. Günümüzde Viyana şehrinde LPG'li sisteme dönüştürülmüş araç adeti yaklaşık dört yüzdür. İlginçtir ki bu süre zarfında LPG'den dolayı hiçbir sorun meydana gelmemiştir. İngiltere bir km karayoluna düşen taşıt sayısı açısından en yoğun ülkedir. Fakat İngiltere LPG'ye dönüştürülmüş taşıt bakımından istenilen seviyelerde değildir (yaklaşık yedi bin taşıt). İngiltere LPG'li taşıt kullanmayı artırmak için bazı

adımlar atmıştır. İngiltere bu amaçla dizel ve benzinin vergilerini yükseltirken, ekolojik yararları sebebiyle LPG vergisini, azaltmış ya da dondurmuştur. Mart 1999'da başka yakıtlardan aldığı vergiyi yaklaşık olarak %6 yükseltirken, LPG'nin vergisini %29 oranında azaltmıştır. LPG'de bir litre için 35-36 poundluk vergi istenirken, benzinden 70 poundluk vergi kesilmektedir. Dahası, taşıtlarını LPG'ye dönüştürenlere biraz daha indirim uygulanmaktadır. Fakat bir yaşını doldurmamış ve çevrimi yasalara paralel bir şekilde uygulanmış taşıtlara indirim yapılmaktadır (URL 5, 2017).

En düşük LPG vergisi (sıfır vergi) alan ülke Belçika'dır. LPG'ye ilgi bakımından dikkati üzerine çeken ülkelerin, Hollanda, Japonya, İtalya, A.B.D. vb. motorlu araç teknolojisinde ilerlemiş olmaları itibariyle LPG'nin gelecekte en çok talep edilecek yakıtlar arasında olacağını göstermektedir.

Ülkemiz hariç dünyanın çoğu ülkesinde, akaryakıta alternatif olarak LPG'li sistem yaygınlaşmaktadır. Nedeni de ortada, LPG ekolojiye zarar vermeyi engellemek bakımından, fosil bazlı yakıtların en gözde seçeneği şeklinde görülmektedir (URL 5, 2017).

Ülkemizin başta büyük kentlerinde hava kirliliği yükselmekte ve yaz aylarında motorlardan kaynaklanan hava kirliliği %55 civarındadır. Özellikle LPG'nin kullanma ve emniyetli dolum imkanları ilerletildiğinde hava kirliliği yüksek yerlerde kullanımı, büyük sorunları önemli oranda düşürebilir. Son yıllarda ülkemizde LPG sistemi ile çalışan araç sayısı oldukça çoğalmıştır (Öğüt ve Kuş, 1999).

3.7. Çift yakıtlı motorlar

Dizel-benzin benzeri yakıt veya dizel-gaz yakıtı ile çalışan motorlar çift yakıtlı dizel motorları olarak bilinmektedir. Bir dizel motorda gaz yakıtın (çift yakıtlı) kullanılması oldukça kolay bir yöntemdir. İki yakıt aynı anda kullanılıyorsa çift yakıtlı, dizel yakıtı tek başına kullanıldığında ise tek yakıtlı olarak izah edilmektedir. Gaz hava ile karıştırılır ve silindire girdikten sonra sıkıştırılır ve sıkıştırma zamanının sonunda da dizel yakıtı enjektörden püskürtülür.

Çift yakıtlı yanmanın karakteristiği tek yakıtlı yanmadan değişik bir şekilde olmaktadır. Dizel yakıt buharı silindire püskürtüldüğünden artan sıcaklıkta sıkıştırılan hava ile karıştıktan sonra kendiliğinden tutuşan ve buharlaşan damlacıklar içinde hızlıca çözülür. Çift yakıtlılarda ise yanma tersine alevin yayılması yoluyla kontrol edilmeye meyillidir. Bir buji kıvılcımıyla elde edilen enerji pilot dizel yakıtıyla elde

edilen enerjiden daha küçüktür. Bu durum motorun yeterince fakir hava yakıt oranında çalıştırılması için bir çift yakıtlı motora uygulanabilmektedir (Civiniz, 2001).

Çift yakıtlı çalışmanın büyük üstünlüğü, temelde iç değişikliğe gerek olmamasıdır. Motor herhangi bir anda tamamen dizel olarak devreye girebilir ve aynı anda çift yakıtla çalıştırılabilir, düşük dönüştürme maliyeti vardır (Barut, 1997).

Dünyadaki motorlar tip ve kullanım değişikliğine sahiptir. Bunun yanısıra, emilen hava ile gaz yakıt karışımının yerine ve silindire karışımın iletilmesi çift yakıtlı motorlarda bir diğer uygulamadır (Osnovenko, 1991). Bu gaz yakıt uygulamasında silindire direkt ya da ara sıra emme supabının arkasına püskürtülür (Barut, 1997).

Bujiden elde edilen enerji, pilot püskürtme demetinin enerjisiyle karşılaştırıldığında 102-104 kat daha azdır. Bu sayede, hava fazlalık katsayısının 1,4-2'lik değerlerinde ilk tutuşma güvence altına alınmış olur. Daha da önemlisi, pilot püskürtme sayesinde oda biçimine elverişli püskürtme demeti meydana getirerek, bunun yanısıra silindirde oluşturulan hava akımının da sayesinde, yanmanın yanma odasının her tarafında neredeyse aynı zamanda başlaması sağlanmaktadır. Böylelikle 16-17'lik sıkıştırma oranlarında vuruntusuz yanma sağlanır. Pilot püskürtme dizel motorunun orijinal enjektörü ile sağlandığında, enjektörün deliği püskürtme akımı için nispi olarak büyük kalacağından, demet kalitesiz olacaktır. Yanma odası gayet homojen dağılmış olan gaz-hava karışımı, kimi noktalarda tamamen yanmaz (Yiğit, 2008).

3.8. Çift yakıtlı motorlarda yanma kontrolü

Çoğu sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar çift yakıt ilkesine göre çalışmaktadır. Bu motorlar ana yakıt olağan gazların atmosferik basınç ve sıcaklıkta normal hava yoluyla yanma odasına gönderilir. Piston ÜÖN dolaylarında (sıkıştırma zamanında) normal dizel motorlarındaki gibi hava yakıt karışımına dizel yakıtı püskürtülür. Püskürtülen pilot yakıt miktarı, motorun tam yüküne ve çıkış gücüne dikkat edilmeden, çoğunlukla dizel motorunda püskürtülen toplam yakıtın %10'dan daha düşüktür. Tek yakıtlı çalışmada motor gücü ve havanın azaltılmaması, ana yakıt miktarı ve yakılan havanın silindire gönderilmesi ile kontrol edilir. Normal çift yakıt motoru istenildiğinde çift yakıtlı olarak veya tam dizel motoru olarak çalışabilir.

Kullanılan yakıt miktarına göre çıkış gücündeki limit tek yakıtlı motordakine eşit ya da benzer olabilir. Yanma kontrol kaybı, buji ile ateşlemeli motorlardaki vuruntu

ile özdeştir. Vuruntuya karşı fakir alkil bileşikleri sayesinde de çift yakıtlı motorlarda ana yakıtın vuruntuya karşı kalitesini çok yükseltirler (Felt, 1970).

Çift yakıtlı bir motorda gaz olan ana yakıt çoğunlukla hava ile beraber içeriye alınmaktadır. Pilot yakıt olarak bilinen dizel yakıtının az bir miktarı ana yakıt ile karışıp sıkıştırıldıktan sonra olağan bir şekilde püskürtülür. Sıkıştırma oranı dizel motorlarınkiyle aynıdır. Pilot dizel yakıtı, başlangıçta kendi kendine tutuşur ve içeri alınan ana yakıtın yandıktan sonra kızgın bir ateşleme kaynağı haline getirmektedir. Ana gaz yakıt, pilot yakıtın tutuşma gecikmesine tesir etmektedir. Düşük yüklerde çift yakıtlı motorların kontrollü yanması ve motor performansı için; kullanılan gaz, pilot yakıt miktarı ve içeriye alınan karışımın hava / yakıt oranı gibi parametreler önemlidir (Poonia, 1998).

4. LİTERATÜR TARAMASI

Civiniz (2001), deneyi dört zamanlı, bir silindirli, su soğutmalı direkt enjeksiyonlu dizel motoru ile yapmıştır. Deneyinde LPG'yi emme manifoldu önüne bir karıştırıcı venturi aracılığıyla sağlamıştır. Motora verilen LPG miktarını bir musluk sayesinde ayarlamıştır. Kütlesel olarak %70 dizel - %30 LPG yakıt oranlarını kullanmıştır. Motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi, özgül enerji maliyeti, özgül enerji tüketimi, motor gücü, tork, hava fazlalık kat sayısı, k faktörü, NOx değerleri, dizel ve çift yakıtlı sistem için karşılaştırmalı olarak belirlemiştir. Sonuçlara göre çift yakıtlı çalışmada motor gücü ve torkunda %5,8, NOx emisyonunda %5 ve duman emisyonlarında düşüşler saptamıştır.

Aktaş ve Doğan (2010), dizel yakıtlı motorları sadece gaz yakıtlarla çalıştırabilmek için yanma odasına buji eklemek gerekir buda genellikle çok zor olmaktadır. Bu yüzden araştırmalarda genellikle dizel ve gaz yakıtlar beraber kullanılmaya gidilmiştir. Aktaş ve Doğan, direkt enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel motorda dizel ve LPG yakıt karışımlarının emisyon ve performansa etkileri üzerinde çalışmışlardır. Motora farklı yüklerde ikinci yakıt olarak LPG ekleyip 2600 d/dak tam yükte ve değişik yüklerde emisyon testi yapmışlardır. Çalışma sonunda, %40 LPG olan yakıt karışımından en kabul edilebilir performans ve emisyon değerleri elde edilmiştir. Bu oranın üzerindeki LPG oranlarında ÖYT artmıştır. LPG'nin ikinci yakıt olarak kullanılmasıyla NOx ve is emisyonlarının azaldığı, CO VE HC emisyonlarının ise arttığını gözlemlemişlerdir. Burada CO ve HC emisyonlarındaki artış, LPG'nin dizele göre daha geç tutuşmasından kaynaklandığını düşünmüşlerdir.

Saleh (2008), farklı bütan/propan oranlarına sahip farklı LPG oranlarını çift yakıtlı dizel motorda kullanarak emisyon ve performansa tesirlerini araştırmıştır. Deney için iki silindirli, doğal emişli, dört zamanlı direkt enjeksiyonlu dizel motorunu, pilot yakıt enjeksiyonlu çift yakıtlı motora dönüştürmüştür. Testleri sabit devir farklı yüklerle yapmıştır. Test neticelerinden değişik karışım oranlarındaki LPG'nin, çift yakıtlı motorun emisyon, yakıt verimliliği ve performans değerlerine tesir ettiğini saptamıştır. Propan oranının yükselmesi ile CO emisyonları azalırken bütan oranı yükseldikçe NOx emisyonu azalmıştır. Performans ve emisyon açısından en iyi sonuçlar %70 propan ve %30 bütan oranına sahip kütlesel olarak %40 LPG ve %60 dizel yakıtı kullanıldığında sağlamıştır.

Abd Alla ve ark (2000), ön yanma odalı tek silindirli Ricardo E6 dizel motorunu pilot enjeksiyonla ateşlemeli çift yakıtlı motora çevirmişlerdir. Metan ve propan yakıtlarını ikinci yakıt olarak kullanmışlardır. Her çevrim için motorun enjektör sistemi, eşit miktarda dizel yakıt enjekte edilecek şekilde ayarlamışlardır. Testleri değişken motor yüklerinde, sabit sıkıştırma oranı ve sabit motor devrinde yürütmüşlerdir. Testler 3 değişik pilot enjeksiyon miktarı için karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Pilot enjeksiyon miktarının yükselmesi ile beraber CO, HC emisyonlarının düştüğü, termik verimin yükseldiği, NOx emisyonlarında yükselme ve artan yüklerde erken vuruntuya rastlamışlardır.

Chen ve arkadaşları (2001), sıkıştırma ateşleyici homojen karışımlı motorda gerçekleştirdikleri deneylerde sıkıştırma ateşleyici motor üzerinde aynı derecede çözünen LPG karışımı ile yapmışlardır. Bir miktar DME'i (dimetileter) yanmayı ve tutuşmayı denetlemek için LPG ile karıştırmışlardır. Testlerin sonuçlarında, uygun miktarda DME ilave edildiğinde motorun geniş yük aralıklarında ve yüksek verimlilikle çalışabileceğini ve NOx emisyonlarında dikkate değer şekilde bir azalma olduğunu saptamışlardır.

Çarman ve diğerleri (2001), dizel motorlarında, çoğunlukla %30 LPG ile %70 dizel yakıtına ilaveten saf dizel yakıtının, emisyon, performansa tesirini araştırmışlardır. Bunun için doğrudan püskürtmeli, bir silindirli dizel motorunu hem dizel yakıtı hem de LPG ile kullanılabilir hale getirmişlerdir. Test sonuçlarında çift yakıtlı çalışmada motor gücü ve torkunda %5,8'lik gibi bir artış sağlanmış, is emisyonlarında azalma ve NOx'te ise %5,9'luk bir azalma gözlenmiştir. Genel sonuçlardan da görülebileceği gibi tek yakıtlı çalışmaya göre iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Poonia ve diğerleri (1999), LPG-dizel çift yakıtlı motorda değişik parametreler üzerinde deneyler yapmışlardır. Basınç artış oranı, tutuşma gecikmesi, ısı yayılım modelleri ve yanma süresi gibi yanma parametreleri değişik yük şartlarında gözlenmiştir. Gaz halindeki birincil yakıtın yoğunluğundaki yükselmeyle, tutuşma gecikmesinin oldukça arttığı gözlemlenmiştir. Gaz halindeki yakıtın daha büyük yük şartlarında yanması, pilot yakıtın ateşleme sonrası alev yayılması ile meydana gelmiştir. Düşük yük şartlarında pilot yakıt ve sürüklenen gaz, ısı yayılımının ana kaynağıdır.

Aydın ve ark. (2008), dört silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, Lavato marka sıralı enjeksiyon LPG sistemi ile çalışan 2000 model Hyundai Accent araç aracılığıyla deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Motor soğutma suyu ve yağ sıcaklığı 80 °C de kararlı duruma getirilmiş, deney sırasında soğutmaya faydalı olması için motorun yanına

soğutucu ünite konulmuştur. Deney başta benzin ile yapılmış, ardından LPG ile yapılarak motor emisyon ve performans değerleri karşılaştırılmıştır. Testlerin sonuçlarında LPG'nin benzin yakıtına göre performansta azalma olmadığı tespit edilmiştir.

Goto ve ark. (1994), işi azaltmak ve yüksek ısıl verimi sürdürtmek için bir dizel motorunu LPG ve dizel çift yakıtlarıyla çalıştırarak emisyon ve performanslar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Vuruntuyu engellemek ve yüksek dolum oranını devam ettirmek için LPG sprey halinde emme tarafına püskürtülmüştür. Yeni püskürtme zamanı ve tam yakıt denetimini sağlayan elektronik yakıt püskürtmesi yapmışlardır. Test sonuçlarında, çift yakıt ile yapılan çalışmada neredeyse dizel motorların ısıl verim düzeyine ulaşılmış ve egzozdaki işin ihmal edilebilecek sevide olduğu tespit edilmiştir.

Yiğit (2008), tek silindirli hava ile soğutmalı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda sabit yük farklı pilot enjeksiyonlarında LPG kullanımının egzoz emisyonlarına ve motor performansına tesirleri üzerine çalışmıştır. Deneyler %20, %25, %50 ve %75 motor yüklerinde farklı motor hızlarında yapılmıştır. Sonuçlara göre %25 ve %20 yüklerdeki LPG kullanımı motor gücü ve torkunu yükseltmiştir. CO emisyonları belli bir değere kadar yükselip daha sonra azalış eğiliminde olmuştur. LPG miktarı yükseldikçe is emisyonlarında artış gözlenmiştir. Buna ilaveten NOx ve HC emisyonlarında bir artış gözlemlenmiştir.

Jothi ve ark. (2005), dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve su soğutmalı dizel motoru üzerinde esas yakıtı LPG olmak üzere ve tutuşturucu içinde dietileterin (DEE) kullanılmasının yanma, emisyon ve performansa etkileri üzerinde çalışmışlardır. Karıştırıcı vasıtasıyla LPG emme manifoldu içine gaz fazında gönderilmiş ve DEE karıştırıcının önüne damlatılmıştır. Deney farklı yakıt oranlarında ve değişik yüklerde yapılmıştır. Test sonuçlarında tam yükte dizel yakıta göre ısıl verim düşmüş ve azot oksit emisyonlarında düşüş gözlenmiştir. Duman koyuluğu ve partikül madde emisyonlarında düşüş gözlemlenirken, HC ve CO emisyonlarında bir miktar yükseliş gözlemlenmiştir.

Qi ve ark. (2007), sıkıştırma ateşlemeli dizel-LPG birleşimi ile kullanılabilen motor üzerinde egzoz, yanma parametreleri üzerine olan çalışmalarında, saf dizel ve LPG-dizel karışımlarının doğrudan püskürtmeli, bir silindirli motor üzerinde farklı yüklerde ve hızlarda emisyon, yanmaya tesirleri üzerine çalışmışlardır. Test sonuçlarında, karışımdaki LPG oranının artması ile maksimum silindir basıncının düştüğü, tutuşma gecikmesinin arttığı gözlemlenmiştir. Dizel ile karşılaştırıldığında

NOx emisyonu ve duman koyuluğunda düşüş gözlemlenmiştir. Öte yandan düşük yüklerde CO emisyonlarında biraz artış olmuştur. HC oranının karışımdaki LPG kütlesinin artışına paralel bir şekilde yükseldiği saptamışlardır.

Selim (2004), dizel pilot yakıtı ile ateşlenen çift yakıtlı dizel motorda üç farklı gaz yakıtın vuruntu sınırı, yanma gürültüsü ve yanma limiti üzerine tesirlerini araştırmıştır. Ricardo E6 dizel motorunu kullanmıştır. Deneylerde kullanılan motor; krank açısını, motor silindir basıncını ve farklı parametreleri kaydedebilecek bir bilgisayar donanımına sahiptir. Deneyinde motor yükü, motor hızı, pilot yakıt miktarı, pilot enjeksiyon zamanı, ısıl verim, tork ve maksimum silindir basıncı üzerine tesirlerini araştırmıştır. Deneyde metan, doğalgaz ve LPG karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Gazlarda değerler farklılıklar göstermiştir. En erken vuruntu LPG de meydana gelmiş çünkü kendi kendine tutuşma sıcaklığı metan ve doğalgazdan daha yüksektir. Buna karşılık olarak basınç artışının en yüksek olduğu yakıt LPG olmuştur. Çalışmada genel olarak LPG doğalgaz ve metana göre düşük performans değerleri göstermiştir.

Selim ve ark. (2008), ana yakıtı LPG veya doğalgaz olan ve jojoba tohumu vasıtasıyla üretilmiş pilot bir yakıtı ile kullanılabilen çift yakıtlı dizel motoru üzerinde performansın yükseltilmesi ile ilgili olan deneylerinde değişik sıkıştırma oranlarında kullanılabilen çift yakıtlı dizel motoru üzerinde çalışmışlardır. Birbirleriyle karşılaştırmak içinde dizel yakıtını kullanmışlardır. Çalışmada pilot yakıt miktarı, enjeksiyon zamanı, motor devri, basınç artış oranı, fren gücü, özgül yakıt tüketimi, maksimum silindir basıncı, emisyon ve vuruntuya olan tesirleri saptamışlardır. Test sonuçlarına göre jojoba biodizelinin pilot enjeksiyonunun çift yakıtlı motor performansını yükselttiğini, vuruntuyu azalttığı ve yanma periyodunu uzattığını tespit etmişlerdir. LPG ve dizel yakıtın pilot enjeksiyon olarak kullanılan çalışmaların LPG ve jojoba biodizele göre maksimum silindir basıncı, basınç yükseliş oranı, fren gücü bakımından en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Buna karşın özgül yakıt tüketimi, hidrokarbon ve CO_2 emisyonları bakımından biraz düşük sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Barata, J. M. (1995), motor konstrüksiyonu üzerinde pek bir değişiklik yapmadan alternatif yakıt olarak gaz yakıtlarının kullanılmasının tesirini, 2 silindirli bir MAN DO22M dizel motoru üzerinde inceleyen bir grup araştırmacı, değişik oranlarda propan gazını dizel motorun enjeksiyon sistemini değiştirmeden silindire göndermişlerdir. Yapılan testlerde enerji bakımından propan %90'a kadar dizel yakıtıyla yer değiştirilmiş ve ısıl verimin aynı düzeylerde kaldığı gözlemlenmiştir. Ama

yüksek yüklerde propan gazının oranı yükseldikçe tek yakıt kullanımına göre ısıl verimin düştüğü gözlenmiştir. Sabit hızda maksimum motor gücünün %20 oranında yükseldiği, CO yoğunluğu ise tüm uygulamalarda daha yüksek düzeylere çıktığı gözlemlenmiştir. Düşük yüklerde CO yoğunluğu çok yükselirken yük yükseldikçe CO yoğunluğu düşmüştür. NOx emisyonunda ise bütün yüklerde dizel motoruna göre düştüğünü saptamışlardır.

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Deneyde kullanılan motor

Deneysel çalışmalarda NWK22 model, güç çıkışı 18 kW, su soğutmalı ve 4 silindirli olan dizel motoruna bağlı bir jeneratör kullanılmıştır. Deney mekanizması ile ilgili şematik diyagram şekil 5.1'de gösterilmiştir.



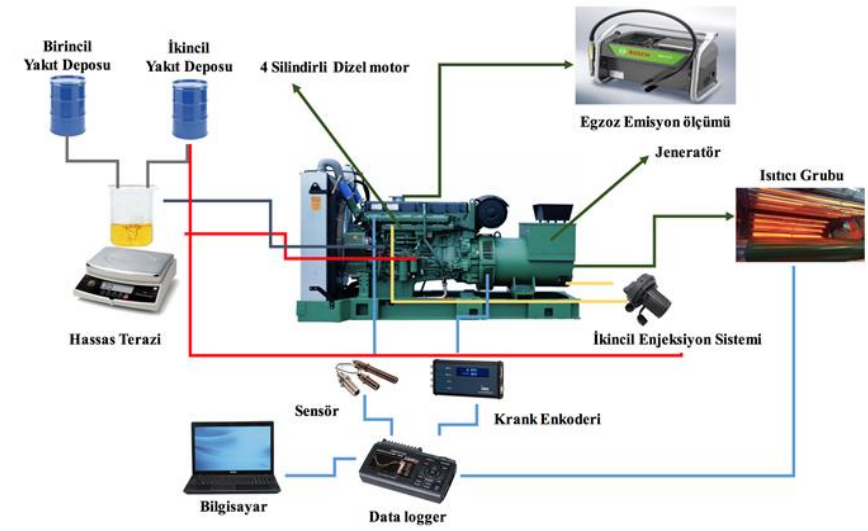
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan NWK22 model dizel motoru

Deney çalışmalarında kullanılan motorun teknik özellikleri çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri

Model	**NWK22**
Güç Çıkışı @1500 rpm	18 kW
Motor Soğutma Sistemi	Su Soğutmalı
Emme Sistemi	Doğal Emişli
Motor Modeli	4DW81-23D
Çap *x* strok (mm)	85*x*100
Silindir Hacmi (cm^3)	2400
Silindir Sayısı	4
Tutuşturma sistemi	Direkt enjeksiyon
Sıkıştırma Oranı	17:1
Püskürtme Enjektörü sayısı	4

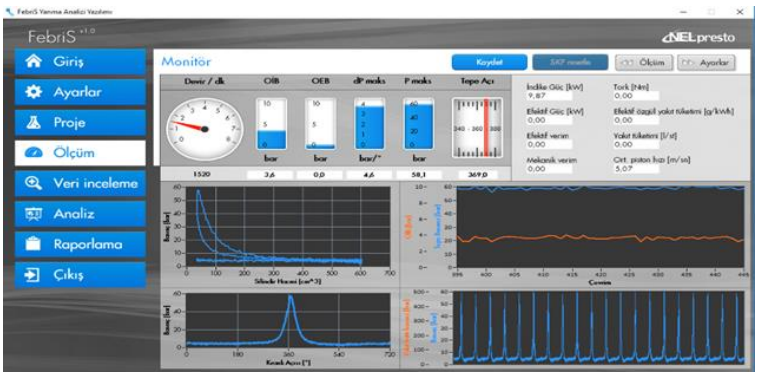
Şekil 5.2'de deney test mekanizmasının şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Deney test düzeneği şematik diyagramı

5.2. Deneyde kullanılan FEBRİS yazılımı

Yapılan deneylerde performans ve yanma verilerinin analiz edilebilmesi için FEBRİS yanma analizi yazılımından faydalanılmıştır. Deney mekanizmasındaki dizel motora konulan silindir içi basınç sensörü ve krank açısı enkoderinden alınan sinyaller yazılıma gönderilmektedir. Silindirdeki basınç sensörü 1^o lik krank açısı ve her 100 çevrimin ortalaması şeklinde toplanmaktadır. FEBRİS programı aracılığıyla sinyallerden alınan veriler eş zamanlı şekilde bilgisayar ekranına alınıp kayıt edilmektedir. FEBRİS yazılımı bu ölçümler neticesinde hesaplanan verilere göre yanma parametrelerini grafikler haline getirebilmektedir.



Şekil 5.3. FEBRİS programı yanma verileri

Deneyler sırasında elde edilen deney verileri FEBRİS yazılımı aracığıyla gözlemlenip kayıt altına alınmıştır. Bunun sayesinde ortalama gaz sıcaklığı, ortalama efektif basınç, güç, indikatör, kütlesel yanma oranı, verim ve her krank açısına tekabül eden vuruntu yoğunluğu gibi değerler hesaplanmış birçok değerin analizi elde edilmiş olur. Sonrasında da bu ölçüm ve verilerin grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Deney düzeneği

5.3. Deneyde kullanılan egzoz emisyon cihazı

Deneylerde egzoz emisyon cihazı olarak CAPELEC marka CAP 3200 model dizel ve benzinli emisyon aletinden yararlanılmıştır. Alet OIMLR99, ISO 3930 ve BAR 97 standartlarına uygun bir alettir. Emisyon cihazına NOx sensörü bağlanmıştır. Egzoz sıcaklığını ölçebilmek için, egzoz manifoldu üzerinde yanma odasına olabilecek en yakın nokta seçilmiştir. Her parametrenin cevaplama müddeti 5sn'dir. Temassız kızılötesi sıcaklık ölçen dijital bir termometre aracılığıyla sıcaklık ölçülmüştür. Emisyon aletinin teknik özellikleri çizelge 5.2 de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

Parametre	**Değer Aralığı**	**Hassasiyet**
HC	0-20,000 ppm	1 ppm
CO_2	%0-20	%0.1
CO	%0-15	%0.001
O_2	%0-21.7	%0.01
NOx	0-5000 ppm	1 ppm
Duman opaklığı	% 0-99,9	% 0,01

Şekil 5.6'da deneyde kullanılan tüp gösterilmiştir. Tüp bir yakıt istasyonunda ticari LPG ile doldurulmuştur. Uygun bir şekilde motorun emme manifolduna monte edilmiştir. Aynı zamanda bir hassas terazi üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 5.5. Egzoz gazı analiz cihazı



Şekil 5.6. Deneyde kullanılan tüp

Tüketilen yakıtın hesaplanması için dijital göstergeli hassas terazi kullanılmıştır.

Şekil 5.7'de kullanılan bu terazi gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Deneyde kullanılan dijital göstergeli hassas terazi

5.4. Hesaplanmış Parametreler

Febris yazılımı yanma parametrelerini analiz etmek için kullanılmıştır. Silindir gaz basıncı değerleri, silindir hacmi, piston ivmesi, ortalama piston hızı ve krank milinin konumu program aracılığıyla belirlenir. Basınç sensörü sayesinde silindir gazı basınç verilerine ulaşılır. Aşağıda verilen denklemler aracılığıyla her bir krank açısı için parametreler hesaplanmıştır.

5.4.1. Isı salınım hızı

Kapalı sistemlerdeki ideal gaz yasası ve termodinamiğin birinci yasası hesaplamalarına göre ısı salınım hızı denklem kullanılarak bulunmuştur. Isı salınım hızı, yanma odasındaki enerji yayılımının belli bir süre için izlediği yoldur.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \tag{5.1}$$

5.4.2. Toplam ısı salınımı

Isı salınım hızının integrali, toplam ısı salınımı olarak hazırlanmıştır. 5.1'deki denklem birikmiş ısı salınımı hesaplanmasında kullanılır.

$$\int dQ = \int \left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right) p(dV) + \int \left(\frac{1}{(\gamma-1)}\right) V(dP) \tag{5.2}$$

Burada γ ,1.32 olarak alınan özel bir sıcaklık oranı, θ krank açısı, P silindir gaz basıncı ve V ise silindir hacmidir.
Burada, basınç verisi basınç sensöründen ayrılmıştır ve; V ve $dV/d\theta$ terimleri aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$V = Vc + A.r\{1 - cos\left(\frac{\pi A}{180}\right) + \frac{1}{\lambda}\left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}\right)\} \tag{5.3}$$

$$\frac{dV}{d\theta} = \left(\frac{\pi A}{180}\right) x\, r\{\sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + \frac{\lambda^2 sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}{2x\sqrt{1-\lambda^2 sin^2\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)}}\} \tag{5.4}$$

$$\lambda = \frac{l}{r} \text{ ve } A = \frac{\pi D^2}{4} \tag{5.5}$$

Burada, r (krank yarıçapı) =H/2, l rod bağlantı çubuğunun uzuluğu, *D* silindir çapı ve *Vc* ise strok hacmidir.

Isı transfer katsayısı (*J*) Hohenberg bağıntısına bağlı olarak silindir duvarından hesaplanır.

$$\frac{dQ_w}{d\theta} = hA(T - T_w) \tag{5.6}$$

Aşağıdaki denklem ortalama gaz sıcaklığına dayanarak özgül ısılar oranını verir.

$$\gamma = 1{,}338 - 60\times10^{-5}T + 10^{-8}T^2 \tag{5.7}$$

Hohenberg ısı transfer katsayısı aşağıda verilen denklem ile yanma analizlerinde kullanılır.

$$h_c = C_1 V^{-0.06} P^{0.8} T^{-0.4} [C_m + C_2]^{0.8} \tag{5.8}$$

Burada h, ısı transfer katsayısı, *V* anlık silindir hacmi, *P* anlık silindir basıncı, *T* ortalama gaz sıcaklığı, C_m ortalama piston hızını ve C_1 ile C_2 değerleri ise deneysel olarak bulunan sırasıyla $13x10^{-3}$ ve *1.4* sabitleridir.
Vuruntu yoğunluk analizi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$dp(\theta) = \frac{[86(p_{i-4} - p_{i+4}) + 142(p_{i+3} - p_{i-3}) + 193(p_{i+2} - p_{i-2}) + 126(p_{i+1} - p_{i-1})]}{1118 d\theta} \tag{5.9}$$

Burada γ özgül sıcaklık katsayısıdır, *Q* belirgin ısı salınım hızı deneysel denklem ile elde edilen (*J*) ile hesaplanır. *P* Silindir basıncı (*bar*), *V* silindirin anlık hacmi (m^3) ve Q_w sıcaklık transfer katsayısı, *J* ise Hohenberg bağıntısına dayanarak silindir duvarından hesaplanır.

5.4.3. Ortalama gaz sıcaklığı

Ortalama gaz sıcaklığı sonuçları yanma odasındaki gaz sıcaklığının bölgesel ortamlarından alınır. Yanma odası sistemi çoğunlukla ideal karışım olarak kabul edildiğinden dolayı ortalama gaz sıcaklığı ideal gazlar için durum denklemi vasıtasıyla kolaylıkla hesaplanır. Silindir ve piston için çoğunlukla yerel sabit ısı kullanılır. Genleşme stroğu politropik olduğu kabul edilmekte ve aşağıdaki denklem sayesinde ortalama gaz sıcaklığı hesaplanır.

$$T_i = P_i V_i \frac{T_{ref}}{P_{ref} V_{ref}} \tag{7.10}$$

Burada, T_i; ortalama gaz sıcaklığı,P_i ve V_i eşzamanlı basınç ve silindir hacmini; T_{ref}, P_{ref} ve V_{ref} politropik genleşme eğrisinin herhangi bir noktasındaki referans parametreleridir.

Çizelge 5.3. Karışımların adı ve karışım oranları

Karışımın Adı	**LPG(%)**	**Dizel (%)**
D100	-	100
D80 & LPG20	20	80
D70 & LPG30	30	70
D60 & LPG40	40	60
D55 & LPG45	45	55
D45 & LPG55	55	45
D35 & LPG65	65	35

6. DENEY SONUÇLARI

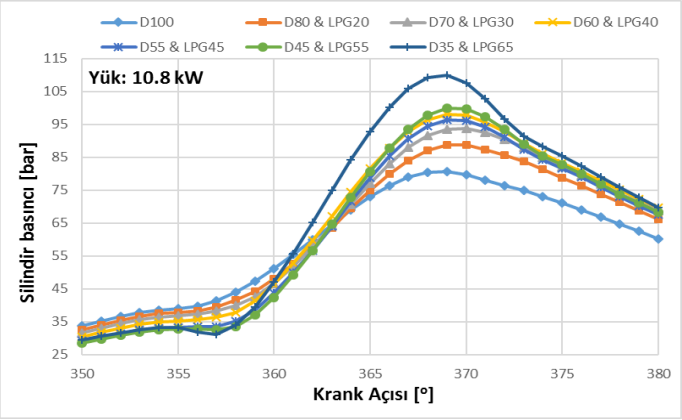
6.1. Motor Yanma Sonuçları

6.1.1. Silindir basıncı

Şekil 6.1'de, test yakıtlarının, 10,8 kW yükte 1500 dev/dak'da silindir iç basınç değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

Şekilde görülebileceği gibi silindir içi pik basıncı tüm yakıtlar için krank açısı yaklaşık 367° - 368° olduğu noktalarda görülmüştür. Yakıt silindir içine püskürtülme anının başlangıcı ve yanmanın başlama aralığı olan 356° ile 360° krank mili açısı arasındaki süre tutuşma gecikmesinin periyodunu ifade eder.

En yüksek silindir içi basıncı D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir. En düşük silindir içi basıncı saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. Genel olarak motorda kullanılan LPG oranı arttıkça basınç eğrileri hemen hemen orantılı olarak farklılaşmıştır. Bu farklılaşma tutuşma gecikmesinin artması şeklinde olmuştur. Aynı zamanda kontrolsüz yanma periyodu boyunca yakılan yakıt miktarının da artması ve sonuç olarak dizel vuruntusuna varan bir farklılaşma görülmüştür. Sonuç olarak, D35LPG65 yakıtına ait basınç eğrisinin oluşumu diğer yakıtlara nazaran oldukça farklı çıkmış ve bu eğrinin LPG kullanımında bir dizel vuruntusu sınırını oluşturduğu söylenebilir. LPG oranının artması ile beraber oluşan bu durumun nedenleri; LPG'nin benzin benzeri bir yakıt olması, setan sayısının düşük olması, kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması ve yanma başladıktan sonra ise alev hızının yüksek olması olarak sıralanabilir.

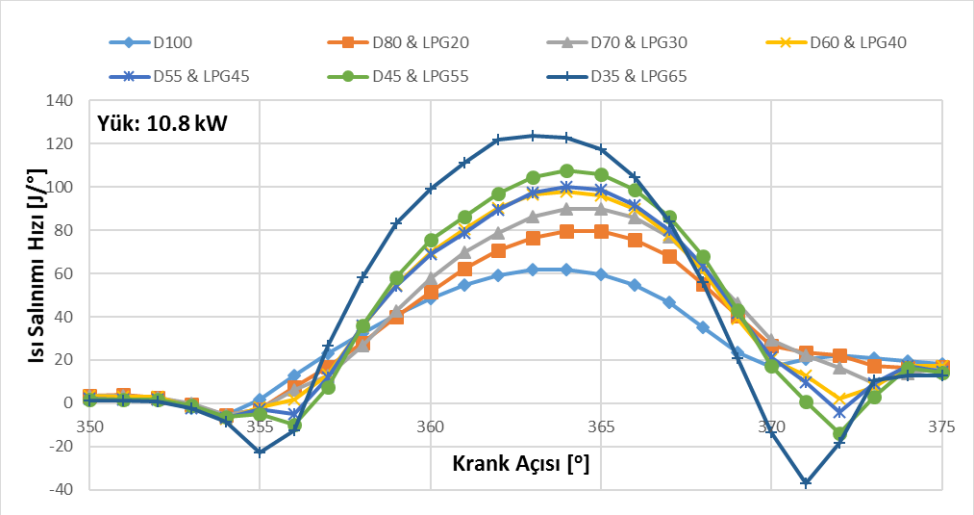


Şekil 6.1. Silindir iç basıncının krank açısına bağlı değişimi

6.1.2. Isı salınım hızı oranı

Şekil 6.2'de test yakıtlarının, 10,8 kW yükte ve 1500 dev/dak'da ısı salınım hızı oranı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

Şekilde görülebileceği gibi yanma başlangıcında, ısı salınım hızı 353° ile 355° KMA arasında bir düşüş ile başlar. Yaklaşık 363° krank açısına karşılık gelen bölgedeki eğimler en yüksek artışı göstermektedir. Şekilde görülebileceği gibi en yüksek ısı salınım hızı D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir. Bunu D45LPG55, D55LPG45 ve D60LPG40 yakıtları takip etmiştir. En düşük ısı salınım hızı saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. D35LPG65 yakıtına ait basınç eğrisinin oluşumu diğer yakıtlara nazaran oldukça farklı çıkmış bu durumun nedenleri daha öncede bahsedildiği gibi LPG'nin özelliklerinden kaynaklıdır. Şekilde görülebileceği gibi D35LPG65 yakıtında yanma işlemi geç başlamış ve yanma başladıktan sonra ise hızlı bir şekilde yanma odasına ısı geçişi olmuştur. Bu durum uzayan tutuşma gecikmesi periyodu ve biriken yakıt miktarı ve yanma başladıktan sonra yüksek olan alev hızına bağlanabilir.



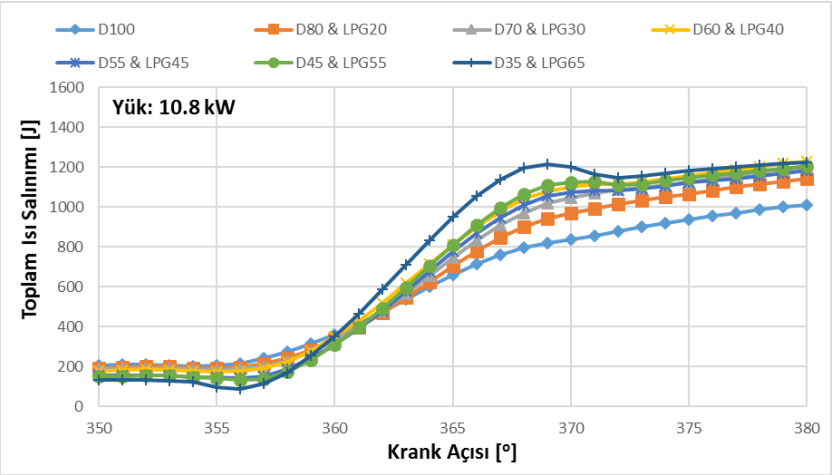
Şekil 6.2. Isı salınım hızı oranının krank açısına bağlı değişimi

6.1.3. Toplam ısı salınımı oranı

Şekil 6.3'te test yakıtlarının, 10,8 kW yükte ve 1500 dev/dak'da toplam ısı salınımı oranı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

Şekilde görülebileceği gibi en yüksek toplam ısı salınımı D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir. Bunu küçük bir düşüşle D45LPG55 ve D60LPG40 izlemektedir.

Ancak daha sonra D60LPG40 yükselerek 2. en yüksek konuma ulaşmıştır. En düşük toplam ısı salınımı saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir.

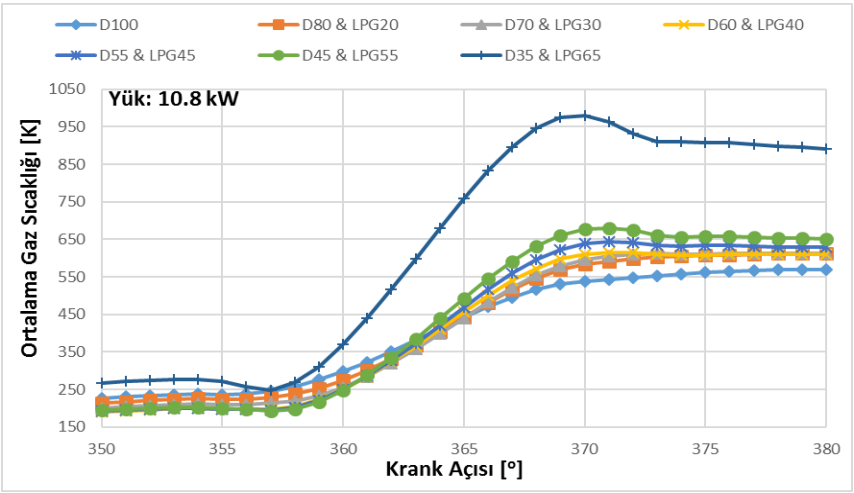


Şekil 6.3. Toplam ısı salınımı oranının krank açısına bağlı değişimi

Artan LPG miktarı ile beraber toplam net ısı salınımı eğrileri dizel yakıtından farklılaşmıştır. D35LPG65 yakıtının kullanımında oluşan toplam net ısı salınımı eğrisi oldukça faklı olup bu durumun nedenleri daha öncede bahsedildiği gibi LPG'nin özelliklerinden kaynaklanıyor.

6.1.4. Ortalama gaz sıcaklığı

Şekil 6.4'te test yakıtlarının, 10,8 kW yükte ve 1500 dev/dak'da ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir.

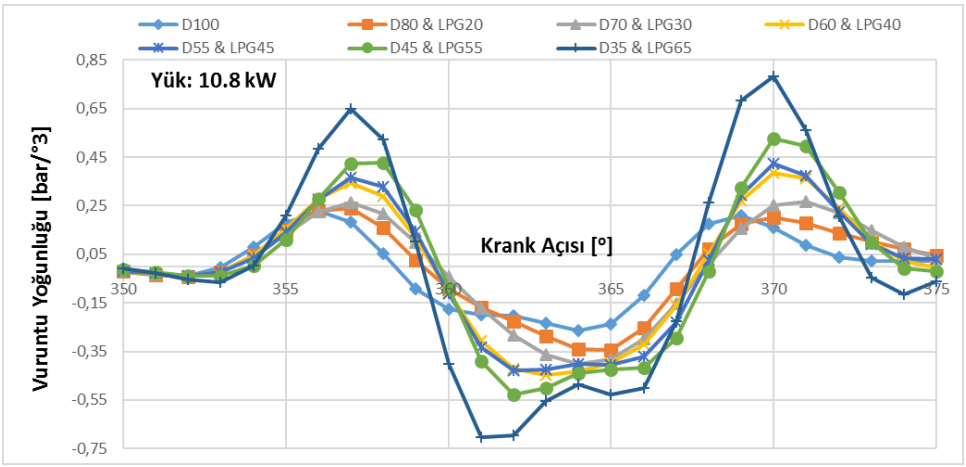


Şekil 6.4. Ortalama gaz sıcaklığının krank açısına bağlı değişimi

Şekilde görülebileceği gibi en yüksek ortalama gaz sıcaklığı D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir. Bunu D45LPG55 ve ardından D55LPG45 izlemiştir. En düşük ortalama gaz sıcaklığı saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. D35LPG65 yakıtının kullanımında oluşan silindir içi sıcaklık değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. %50 civarında LPG kullanımına kadar müsaade edilen bir durum söz konusudur. Fakat bu orandan sonra yukarıda belirtilen nedenlerden kaynaklanan ve dizel vuruntusu olarak tasnif edilebilecek bir durum meydana gelmiştir. Dizel vuruntusu sırasında yanma odasında oluşan türbülanslı alev bölgelerinin oluşturduğu yüksek ısı aktarım bölgelerinin artması sıcaklığın tüm yanma odasında artmasına neden olmuştur. Bu nedenle ortalama silindir içi gaz sıcaklıkları D35LPG65 durumunda maksimum çıkmıştır.

6.1.5. Vuruntu yoğunluğu

Şekil 6.5'de test yakıtlarının, 10,8 kW yükte ve 1500 dev/dak'da vuruntu yoğunluğu değerlerinin krank açısına göre değişimi verilmiştir. D35LPG65 yakıtının daha öncede bahsedildiği gibi vuruntu olarak kabul edilebilirliği aşağıda verilen şekil ile desteklenebilir. D35LPG65 durumunda vuruntu yoğunluğu değerleri maksimum düzeyde gerçekleşmiştir. Genel olarak LPG oranının artması vuruntu meyillini artırmıştır.



Şekil 6.5. Vuruntu yoğunluğunun krank açısına bağlı değişimi

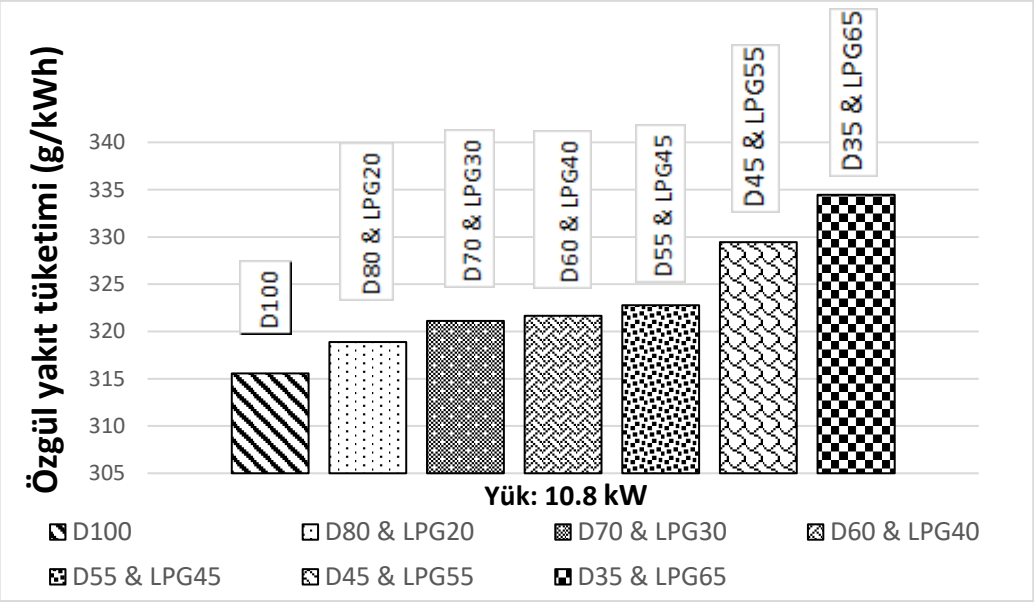
6.2. Motor Performans Değerleri

6.2.1. Özgül yakıt tüketimi değerlendirmesi

Şekil 6.6'da her bir yakıtın tam yükte güç için saatte harcadığı yakıt miktarının kg cinsinden değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Grafik incelendiğinde, en düşük özgül yakıt tüketimi saf dizel yakıtı (D100) için gözlemlenmiştir. %45 ve %55 LPG kullanımında bu oran önemli derecede artmıştır. En yüksek özgül yakıt tüketimi D35LPG65 için gözlemlenmiştir. Esasen LPG oranının artmasıyla bu orandan sonra motor çalışmasında düzensizlikler artmıştır. Çünkü özgül yakıt tüketimi vuruntu oluşumu ile beraber motordaki düzensiz çalışma nedeniyle devir değişikliklerinden dolayı azalmıştır. Devrin azalması D35LPG65 durumunda özgül yakıt tüketiminin azalması ile sonuçlanmıştır.

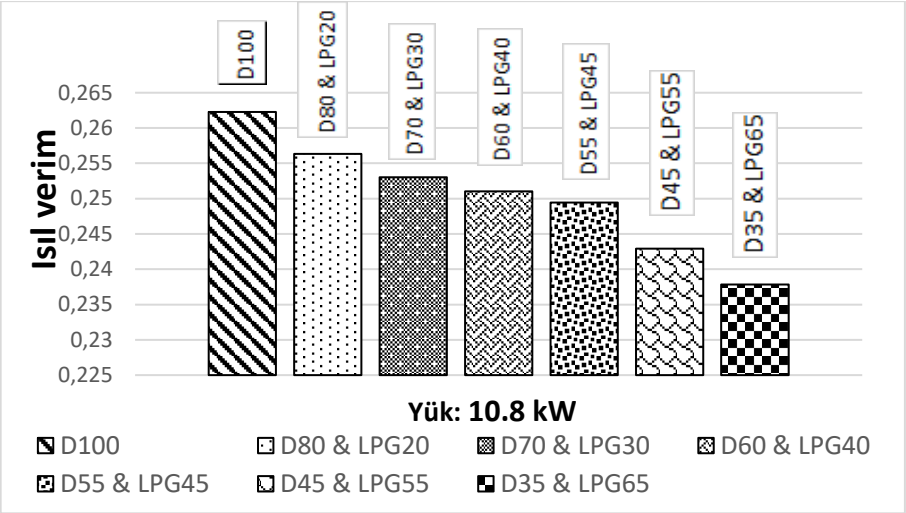
Bu durum motor gücünü de azaltmıştır. Sonuç olarak, özgül yakıt tüketiminin de arttığı söylenebilir. Ancak yaklaşık %50'ye varan LPG kullanımı motorda aşırı özgül yakıt tüketimine ve motorun çalışmasına olumsuz bir etkisi olmamıştır.



Şekil 6.6. Özgül yakıt tüketiminin değişimi

6.2.2. Isıl verim değerlendirilmesi

Şekil 6.7'de görülen grafik, yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı iş haline dönüştürme oranını ifade eder.



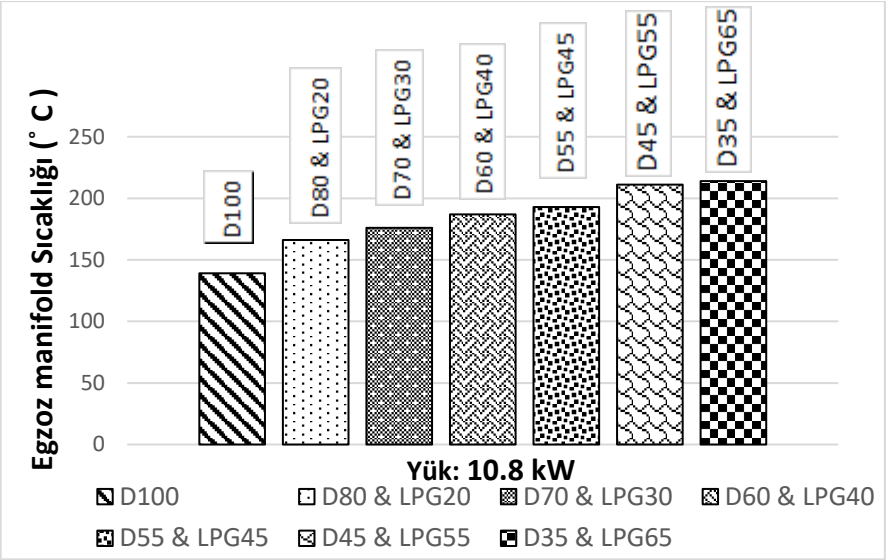
Şekil 6.7. Isıl verimin değerlerinin LPG oranına göre değişimi

Elde edilen grafiksel sonuçlara göre en yüksek ısıl verim saf dizel yakıtı (D100) için gözlemlenmiştir. Bunu D80LPG20 çalışma durumu takip etmiştir. Ardından küçük bir düşüşle ısıl verimleri birbirine paralel olan D70LPG30 ve D60LPG40 yakıtları takip etmiştir. Genel olarak LPG kullanımına bağlı ısıl verim düşüşü meydana gelmiştir. En düşük ısıl verim D35LPG65 çalışma modu için gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra LPG kullanımı ise vuruntu tarafından sınırlandırıldığı için ısıl verimin hesaplanması veya yorumlanması söz konusu değildir. Bu durum özgül yakıt tüketimi bölümünde ayrıntılı bir şekilde yorumlanmıştır.

6.2.3. Egzoz sıcaklığı değerlendirilmesi

Şekil 6.8'de görülen grafik, egzoz manifoldundan geçen gazların sıcaklığını ifade etmektedir. Grafiklerdeki verilere göre en düşük egzoz gaz sıcaklığı saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. Daha sonra LPG katkısı arttıkça genel olarak egzoz gaz sıcaklığında düzenli bir artış olmuştur. En yüksek egzoz gaz sıcaklığı D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir.

Çift yakıtlı çalışmalara ait egzoz gazı sıcaklığı tek yakıtlı çalışmadan daha yüksek değerde çıkmıştır. Bunun sebebi çift yakıtlı çalışmada silindir içinde gerçekleşen yanma sonu sıcaklıklarının tek yakıtlı çalışmanın silindir içi yanma sonu sıcaklıklarından daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

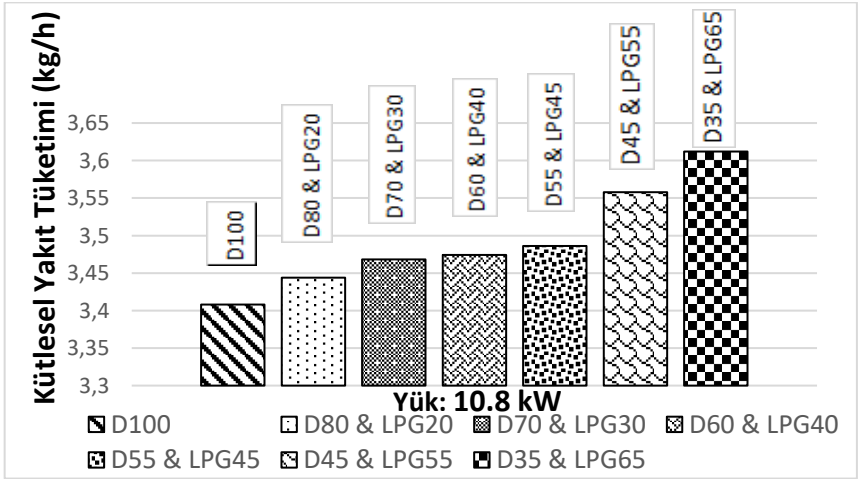


Şekil 6.8. Egzoz manifold sıcaklığının değişimi

İçten yanmalı motorlarda, yanma sonucunda ortaya çıkan enerjinin bir bölümü işe dönüşmekte, bir bölümü sürtünme ve ataletin yenilmesinde kullanılmakta, büyük bir bölümü de egzoz gazları ile atmosfere atılmakta, geri kalan bölümü ise motor bloğundan soğutma suyuna ve yağlama yağına geçmekte, kalan çok az bir kısmı ise ışıma yoluyla kaybolmaktadır. Silindir içi sıcaklığının artması ile egzoz gaz sıcaklığı da artmaktadır. Egzoz gazı sıcaklığının artması azot oksit emisyonlarıyla dolaylı olarak ilişkilidir (Yiğit, 2008).

6.2.4. Kütlesel yakıt tüketiminin değerlendirilmesi

Şekil 6.9'da her bir yakıtın tam yükte saatte harcadıkları yakıt miktarının kg cinsinden değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Kütlesel yakıt tüketiminin değişimi

Grafiklerdeki verilere göre en yüksek kütlesel yakıt tüketimi D35LPG65 çalışma modunda gözlemlenmiştir. En düşük kütlesel yakıt tüketimi saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. D80LPG20 modundaki kütlesel yakıt tüketimi değerleri kullanılan LPG oranına bağlı olarak biraz yükseliş göstermiştir. D45LPG55 ve D35LPG65 çalışma koşullarında ise normal olmayan bir şekilde çok yükselmiştir. En yüksek özgül yakıt tüketimi D35LPG65 için gözlemlenmiştir. Esasen LPG oranının artmasıyla bu orandan sonra yakıt tüketimi artmıştır. Ancak fazla oranda LPG kullanımıyla kütlesel yakıt tüketimi vuruntu oluşumu ile beraber motordaki düzensiz çalışma nedeniyle devir değişikliklerinden dolayı azalmıştır. Devrin azalması D35LPG65 durumundan sonra kütlesel yakıt tüketiminin azalması ile sonuçlanmıştır. Bu durumda motor gücüde azalmıştır. Sonuç olarak, kütlesel yakıt tüketiminin de arttığı söylenebilir. Ancak yaklaşık %50'ye varan LPG kullanımı motorda aşırı yakıt tüketimine ve motorun çalışmasına olumsuz bir etkisi olmamıştır.

6.3. Motor Emisyon Sonuçları

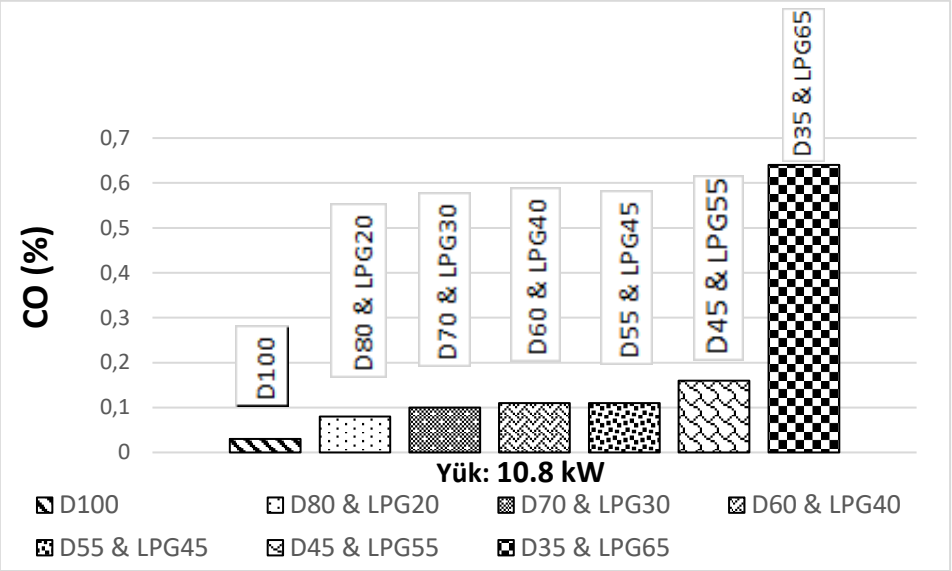
6.3.1. CO emisyonunun değişimi

Dizel motorları genellikle fakir karışım oranlarında çalışmaktadır. Yakıt demetinin civarında karışım genelde yerel olarak zengin olsa da genelde silindir içinde karışım oranının fakir olması, CO emisyonlarının düşük olmasına sebep olmaktadır. Çift yakıtlı deneylerde ilave LPG yakıtın eklenmesi H/Y oranını düşürerek CO emisyonlarını artırmaktadır (Yiğit, 2008).

Grafikler incelendiğinde, en düşük CO emisyon miktarı saf dizel yakıtı olan D100 için gözlemlenmiştir. LPG miktarı arttıkça karışımın zenginleşmesiyle CO emisyon oranında yükseliş gözlenmiştir. Bu yükseliş aşamalı olarak düzenli artarken D35LPG65 yakıtının CO emisyonu diğer yakıtlara göre çok büyük bir artış göstermiştir.

Yanma ürünlerinin içinde CO bulunmasının asıl sebebi oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odası genel olarak ele alındığında oksijenin genellikle yetersiz olabileceğinin yanısıra karışımın tam olarak homojen olmaması halinde, yanma odasının belli bir noktasında oksijen yetersiz olabilir. Ana sebep olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Yanma odasında yakıt dağılımının aynı olmaması, yanmanın da üniform bir şekilde meydana

gelmesini önlemektedir. Bu çalışmada kullanılan tüm yakıtların CO emisyonlarının değişimleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



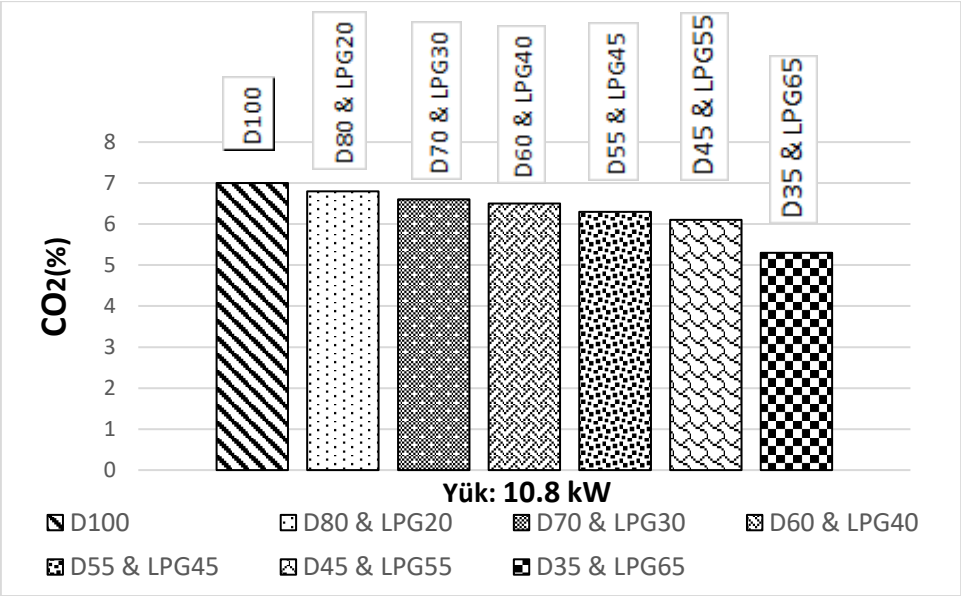
Şekil 6.10. CO emisyonunun değişimi

Bu nedenle tepkimeye girmeyen ve eksik yanan hidrokarbonlar artmaktadır. Yanma odasında yakıtın her yerde aynı dağılımda olmaması, yetersiz oksijen, düşük tepkime sıcaklığı gibi sebeplerden dolayı CO yoğunluğu artmaktadır (Koca, 2013).

6.3.2. CO_2 emisyon değerleri

Bu deneyde kullanılan deneysel yakıtların CO_2 emisyonlarının değişimleri Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, CO_2 emisyonu değişimleri saf dizel yakıt olan D100'e göre LPG katkılı dizel yakıtının kullanıldığı durum, şekilde de görüldüğü gibi %40 LPG oranına kadar düzenli bir azalış gözlenirken, %40'tan daha fazla LPG katkılı karışımda CO_2 seviyesinde belirgin bir azalış gözlenmiştir.

Grafiğe göre en düşük CO_2 emisyonu D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir. D45LPG55 ve D35LPG65 durumlarında içeriye giren yakıt miktarı arttığından zengin karışım oluşmuş ve CO emisyonu artmış ve dolayısıyla CO_2 emisyonunda düşüşe yol açtığı gözlenmiştir.



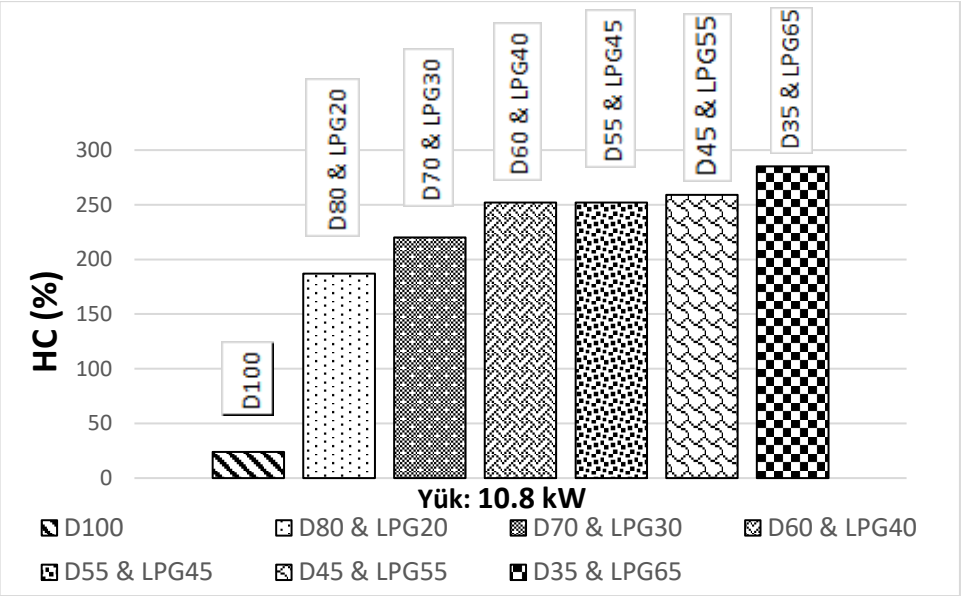
Şekil 6.11. CO_2 emisyonunun değişimi

Alev cephelerinde tepkimeler yüksek sıcaklıklara ulaşıldığında dengeye erişmektedir. Ancak silindirdeki karışımın iyi karışması ve türbülanslı yanma, alev bölgesinde CO'ler CO_2'e dönüştükleri için CO_2 oranları artmaya meyilli olurlar. CO_2 miktarı tüm LPG yüzdelerinde, saf dizel yakıtı olan D100 yakıtına göre düşük çıkmıştır. Bunun nedeni LPG'nin emme manifoldunda hava ile karıştıktan sonra silindire alınması ve alev cephesinde veya türbülanslı alev bölgesinden çıkıp soğuk alev bölgesine geçen gazlardaki CO'ler CO_2'e hızla dönüşememesinden dolayı olduğu düşünülmektedir (Civiniz, 2001).

6.3.3. Hidrokarbon (HC) emisyon değerleri

Dizel motorlarında HC emisyonlarının farklı nedenleri vardır. Motor dizaynındaki eksiklikler ve hava türbülansı ihmal edilirse özellikle normal emişli direkt püskürtmeli motorlar düşük yüklerde HC salmak gibi bir sakıncaları vardır. Tutusma gecikmesi (TG) uzadıkça HC salınımında yükselme olur. Setan indeksi (Si) dizel yakıtlarının TG zamanını sınıflandırmasında önemli bir etkiye sahiptir (Yiğit, 2008). Şekil 6.12'de Hidrokarbon emisyonunun değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Şekil 6.16'da hidrokarbon emisyonu değerlerine bakıldığında en düşük HC salınımı saf dizel yakıtı (D100)'e aittir. En yüksek HC emisyonu D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir.

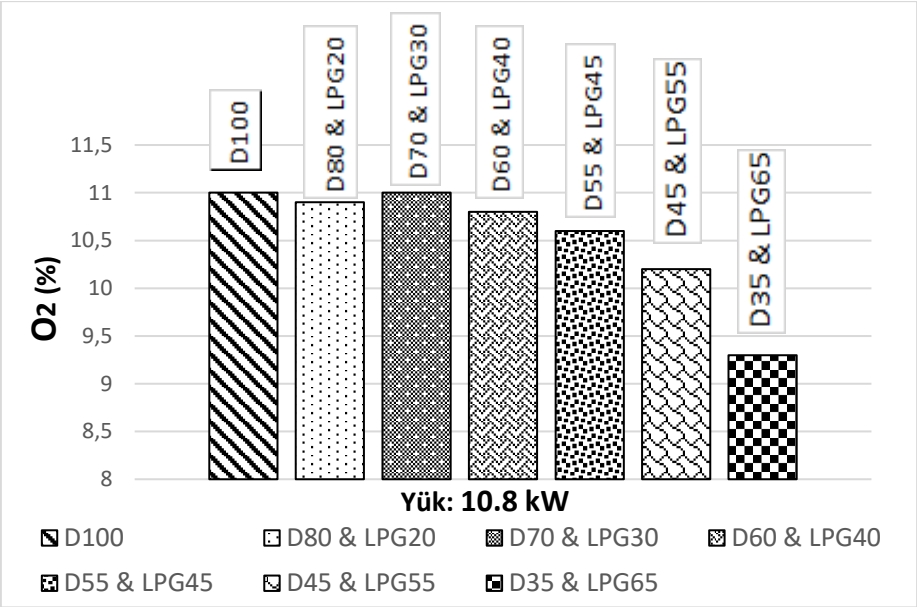


Şekil 6.12. HC emisyonunun değişimi

LPG katkısıyla genel olarak HC emisyonlarında bir artış olmuştur. LPG miktarının artırılması çift yakıtlı deneylerde dizel yakıt miktarını azaltmaktadır. Dizel yakıtının azalması LPG'yi alevletecek olan ısı enerjisinin de düşmesine sebep olmaktadır. Tam olarak yanmayan LPG içerisindeki HC'ların miktarının yükselmesi motorda düzensiz yanmalara neden olmaktadır. HC'ların tam yanmaması HC emisyonlarını artırmıştır. HC miktarının hızla yükselmesi düzensiz yanmanın başlamasından olduğu düşünülmektedir (Yiğit, 2008). Ayrıca, LPG kullanımıyla beraber HC emisyonlarının oldukça arttığı görülmektedir. Bunun nedeni hava yakıt oranının bozulması ve yanma odasında oksijenin yetersiz kalması şeklinde yorumlanabilir.

6.3.4. O_2 emisyon değerleri

Şekil 6.13'ten de görüldüğü gibi saf dizel yakıtı (D100) ile çift yakıt olan D80LPG20 ve D70LPG30'un O_2 ölçümleri paralel ve yüksek çıkmıştır. D45LPG55 'te bu oran yaklaşık olarak %6, D35LPG6'te ise bu oranda yaklaşık olarak %19'luk bir düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 6.13. O_2 emisyonunun değişimi

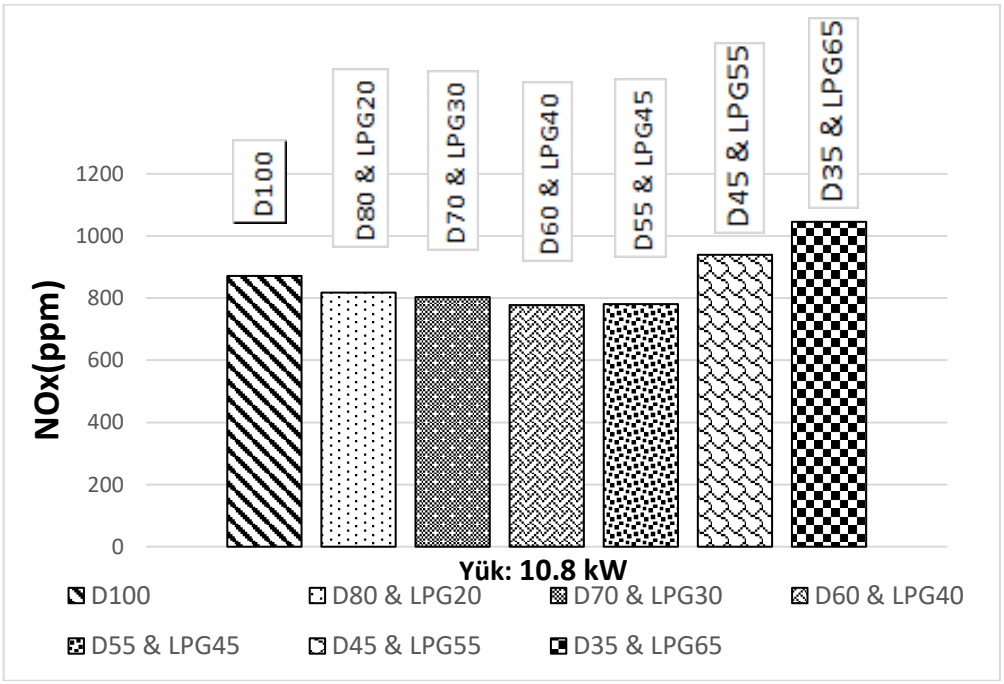
Deneyde içeri alınan havanın çok olmasından dolayı oksijen miktarı fazla çıkmıştır. Ancak silindir içerisindeki hava miktarının düşmesi egzozdan çıkan oksijen miktarını düşürmüştür. LPG-hava ile homojen karıştığından yanma anında yakıt zerreleri çevresinde daha çok hava olacağı için çıkan oksijen miktarının da düşmesine sebep olmaktadır. Buna ek olarak çift yakıtlı deneylerde, LPG-hava ile beraber silindire girdiğinde silindir içerisindeki hava miktarı, silindir içerisine alınan LPG miktarı gibi düşük olduğundan oksijen miktarı az çıkmıştır (Civiniz, 2001).

6.3.5. NOx emisyon değerleri

NOx emisyonları yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Dizel motorlarında yanma sonucu meydana gelirler. NO oluşumu genellikle stokiyometrik orana yakın hava-yakıt karışımlarında yanma esnasında ortaya çıkar. NO oluşum hızı alevin geçtiği bölgelerdeki gaz sıcaklığına ve karışım oranıyla ilişkilidir. Stokiyometrik karışımlardaki NO oluşumu, en yüksek iken karışım zenginleşip fakirleştikçe meydana gelen NO miktarında düşüş olur (Koca, 2013).

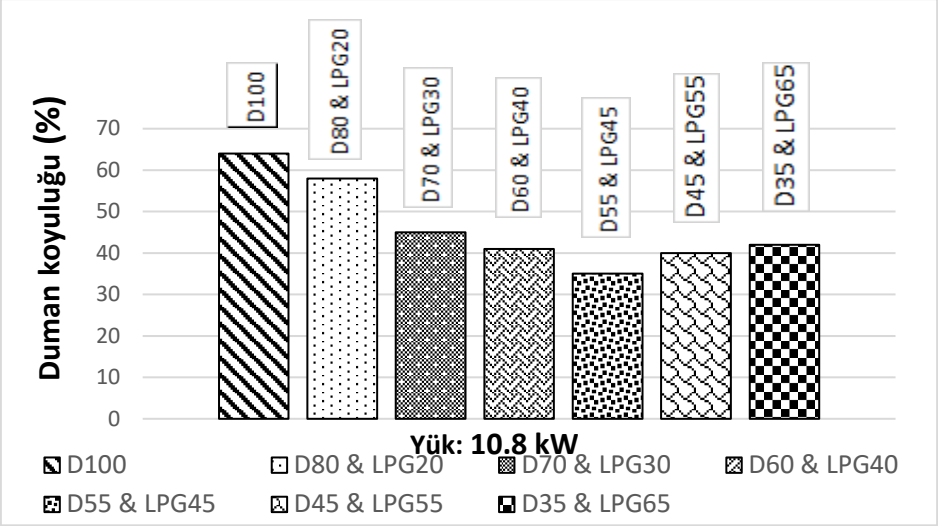
Gazların sentezi ve sıcaklıkları dizel motorlarında NOx oluşumunu belirler. NOx'in çoğunluğu, kontrolsüz yanma sırasında ortaya çıkmaktadır. Püskürtmeyi geciktirmek maksimum basıncı, maksimum sıcaklığı düşürür ve TG'ni kısaltır. Bu nedenle NOx oluşumu düşse de bu verimin azalmasına sebep olur. Y/H oranını değistirmek yoluyla da NOx oluşumu düşürülebilir (Yiğit,2008).

Şekil 6.14'te Azot oksit emisyonlarının yakıtlara göre değerleri ve birbirlerine göre karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi başlangıçta saf dizel yakıtı (D100) ile LPG katkılı yakıtların NOx değerleri benzer çıkmıştır. En yüksek NOx değeri D35LPG65 yakıtı için gözlemlenmiştir. Bunu D45LPG55 yakıtı, çok az bir düşüşle de D80LPG20 yakıtı takip etmiştir. Artan LPG oranıyla NOx emisyonu değerlerinde genellikle bir azalış söz konusu olmuştur. Ancak LPG55 ve LPG65 yakıtlarında NOx emisyonunda bir artış gözlenmiştir. Bunun nedeni artan yanma odası sıcaklıkları ve vuruntu oluşumu nedeniyle artan kontrolsüz yanma safhası olduğu düşünülebilir. Genel olarak LPG katkısı arttıkça NOx emisyonlarında bir azalma olduğu grafikten de gözlemlenmiştir.



Şekil 6.14. NOx emisyonunun değişimi

Duman koyuluğu değerlerinin LPG oranına göre değişimi Şekil 6.15'te gösterilmiştir. Burada görülebileceği gibi pilot LPG oranının artması egzozdan çıkan gazların koyuluğunu yani duman miktarını azaltmıştır. Ancak belirli bir LPG oranından sonra yanmanın kötüleşmesi duman koyuluğu değerlerinin tekrar artmasına neden olmuştur. En ideal duman koyuluğu değerleri D55LPG45 çalışma modunda gözlemlenmiştir.



Şekil 6.15. Duman koyuluğu değerlerinin LPG oranına göre değişimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deney sonuçlarına göre bir dizel motorlu jeneratörde ikinci yakıt olarak, manifolda püskürtülen kısmi LPG'nin oranının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

Silindir basıncı grafiklerinde, D35LPG65 yakıtına ait basınç eğrisinin oluşumu diğer yakıtlara nazaran oldukça farklı çıkmış ve bu eğrinin LPG kullanımında bir dizel vuruntusu sınırını oluşturduğu söylenebilir. LPG oranının artması ile beraber oluşan bu durumun nedenleri; LPG'nin benzin benzeri bir yakıt olması, setan sayısının düşük olması, kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması ve yanma başladıktan sonra ise alev hızının yüksek olması olarak sıralanabilir.

Isı salınım grafiklerinde en düşük ısı salınım hızı saf dizel yakıtı (D100) için gözlemlenmiştir. D35LPG65 yakıtına ait basınç eğrisinin oluşumu diğer yakıtlara nazaran oldukça farklı çıkmıştır. D35LPG65 yakıtında yanma işlemi geç başlamış ve yanma başladıktan sonra ise hızlı bir şekilde yanma odasına ısı geçişi olmuştur. Bu durum uzayan tutuşma gecikmesi periyodu ve biriken yakıt miktarı ve yanma başladıktan sonra yüksek olan alev hızına bağlanabilir.

Toplam net ısı salınımı grafiklerinde en düşük toplam ısı salınımı saf dizel yakıtı (D100) için gözlemlenmiştir. Artan LPG miktarı ile beraber toplam net ısı salınımı eğrileri dizel yakıtından farklılaşmıştır. Bunun nedenleri; LPG'nin benzin benzeri bir yakıt olması, setan sayısının düşük olması, kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması ve yanma başladıktan sonra ise alev hızının yüksek olması olarak sıralanabilir.

Ortalama gaz sıcaklığı grafiklerinde en düşük ortalama gaz sıcaklığı saf dizel yakıtı (D100) için gözlemlenmiştir. D35LPG65 yakıtının kullanımında oluşan silindir içi sıcaklık değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. %50 civarında LPG kullanımına kadar müsaade edilen bir durum söz konusudur. Fakat bu orandan sonra dizel vuruntusu olarak tasnif edilebilecek bir durum meydana gelmiştir. Dizel vuruntusu sırasında yanma odasında oluşan türbülanslı alev bölgelerinin oluşturduğu yüksek ısı aktarım bölgelerinin artması sıcaklığın tüm yanma odasında artmasına neden olmuştur.

Vuruntu yoğunluğu grafiklerinde D35LPG65 durumunda vuruntu yoğunluğu değerleri maksimum düzeyde gerçekleşmiştir. Genel olarak LPG oranının artması vuruntu meyillini artırmıştır.

Özgül ve kütlesel yakıt tüketimlerinin arttığı söylenebilir. Ancak yaklaşık %50'ye varan LPG kullanımı motorda aşırı özgül yakıt tüketimine ve motorun çalışmasına olumsuz bir etkisi olmamıştır.

Isıl verim vuruntu oluşumu ile beraber motordaki düzensiz çalışma nedeniyle devir değişikliklerinden etkilenmiştir. Belli bir orandan sonra LPG kullanımı ise vuruntu tarafından sınırlandırıldığı için ısıl verimin hesaplanması veya yorumlanması söz konusu değildir.

Egzoz gaz sıcaklığı en düşük olan yakıt saf dizel yakıtı (D100) için gözlemlenmiştir. LPG katkısı arttıkça genel olarak egzoz gaz sıcaklığında düzenli bir artış olmuştur. Çift yakıtlı çalışmalara ait egzoz gazı sıcaklığı tek yakıtlı çalışmadan daha yüksek değerde çıkmıştır. Bunun sebebi çift yakıtlı çalışmada silindir içinde gerçekleşen yanma sonu sıcaklıklarının tek yakıtlı çalışmanın silindir içi yanma sonu sıcaklarından daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

CO emisyon yoğunluğu LPG miktarı arttıkça karışımın zenginleşmesiyle artış göstermiştir. Yanma odası genel olarak ele alındığında oksijenin genellikle yetersiz olabileceğinin yanısıra karışımın tam olarak homojen olmaması halinde, yanma odasının belli bir noktasında oksijen yetersiz olabilir. Ana sebep olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

CO_2 emisyonu değişimleri saf dizel yakıt olan D100'e göre LPG katkılı dizel yakıtının kullanıldığı durum ile karşılaştırıldığında %40 LPG oranına kadar düzenli bir azalış gözlemlenirken, %40'tan daha fazla LPG katkılı karışımda CO_2 seviyesinde ani düşüş olmuştur. Bunun nedeni LPG'nin emme manifoldunda hava ile karıştıktan sonra silindire alınması ve alev cephesinde veya türbülanslı alev bölgesinden çıkıp soğuk alev bölgesine geçen gazlardaki CO'ler CO_2'e hızla dönüşememesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

HC emisyon değerleri incelendiğinde, en düşük HC yoğunluğu saf dizel yakıtı olan D100'e aittir. LPG katkısıyla genel olarak HC emisyonlarında bir artış olmuştur. Bunun nedeni hava yakıt oranının bozulması ve yanma odasında oksijenin yetersiz kalması şeklinde yorumlanabilir.

O_2 emisyon değerleri incelendiğinde, genel olarak LPG katkısı arttıkça emisyon yoğunluğunda bir düşüş olmuştur. LPG-hava ile homojen karıştığından dolayı yanma anında yakıt zerreleri çevresinde daha çok hava olacağı için çıkan oksijen miktarının da düşmesine sebep olmaktadır.

NOx değerleri incelendiğinde, LPG'nin özelliklerinden kaynaklı olarak LPG55 ve LPG65 yakıtlarının NOx emisyonlarında bir artış görülmüştür. Bunun nedeni artan yanma odası sıcaklıkları ve vuruntu oluşumu nedeniyle artan kontrolsüz yanma safhası olarak yorumlanabilir. Fakat esasında artan LPG oranıyla NOx emisyonu değerlerinde bir azalış söz konusu olmuştur.

Duman koyuluğu değerleri incelendiğinde, LPG oranının artması egzozdan çıkan gazların koyuluğunu yani duman miktarını azaltmıştır. Ancak belirli bir LPG oranından sonra yanmanın kötüleşmesi duman koyuluğu değerlerinin tekrar artmasına neden olmuştur.

8. KAYNAKLAR

Abd Alla, G.H., Soliman, H.A., Badr, O.A., Abd Rabbo, M.F. “Efect of pilot fuel quantity on the performance of a dual fuel engine”, Energy Conversion & Management, 41: 559-572 (2000).

Aktaş, D., Doğan, O., “Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda Lpg Yüzdesinin Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 25 (1): 171-178 (2010).

Altın, R., (1998) Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s,33-67.

Anonymous, (1997) , "Yıllık Raporu", Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Ankara.

Anonim 1999. Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı., Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 217, Haziran, Ankara.

Aydın, F., 2006. Sıralı Gaz Fazı Enjeksiyon Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.

AYDIN, F., ACAROĞLU, M. „“Sıralı Gaz Fazı Lpg Enjeksiyon Sisteminde Taşıt Performansı Ve Egzoz Emisyonlarının incelenmesi.”, 10. Yanma Sempozyumu, s 250-256, 2008.

Barata, J. M., (1995). Performance and emissions of a dual fueled DI diesel engine. SAE Technical Paper Series .

Barut, E., 1997. Desing and Implementation of a Distributive Gas Fuel Metering System for the Dual Fuel Operation of a Diesel Engine, İn Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Master Science in the Departmant of Mechanical Engineering, METU, Ankara, Eylül

Bauer H., (1999). “Diesel-engine managment” Robert Bosch Gmbh, Stuttgart.

Borat O, Balcı M A, ve Sürmen A., (1994) İçten Yanmalı Motorlar Ders Kitabı. Cilt I. G.Ü. Teknik Egitim Vakfı Yayınları-2. İstanbul.

Chen Z, Konno M and Goto S**.,** (2001) Study on Homogenous premixed Charge CI Engine Fueled With LPG, JSAE Review Volume 22, Issue 3, Pages 265-270.

Ciniviz, M., 2001. Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı ve LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Ç.S.G.B., "Sıvılaştırılmış petrol gazları ve akaryakıt dolum tesislerinde iş sağlığı ve güvenliği proje denetim değerlendirme raporu" , Ç.S.G.B. İş Teftiş Kurulu Başkanlığı Ankara, 5-6 (2005).

Çarman, K., Salman, S. ve Ciniviz, M., (2001). "Diesel Motorlarında Diesel Yakıtı ve LPG kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi" ,Selçuk-Teknik Online Dergisi/Issn, 1302-6178

Çetinkaya, S., (1998). "Taşıtlarda LPG Kullanımı", S.Ü. Tek. Eğt. Fak. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli, Konya.

Ergenç, A.T., (2009). Biodizel yakıt ile çalışan motordaki püskürtmenin performans ve emisyon yönünden optimizasyonu , YTÜ, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Felt, A., E., and Steele W., A., 1970. Combustion Control in Dual-Fuel Engines S.A.E. Paper No : 70644.

Goto, S., Furuntani, H., Komorit, M., Yagit, M., 1994, LPG Diesel Engine. International Journal of Vehicle Desing. Vol. 15. Nos 3/4/5.

Guibet, J.C., (1999). "Fuels and Engines Volume 1" Instıtut Françaıs Du Petrole Publications, France.

Gümüş, M., (2009). "Çift yakıt enjeksiyonlu buji ateşlemeli bir motorda LPG kullanım oranının performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi" , Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24 (2): 265-273, Ankara

Heywood, J,B. "Internal Combustion Engine Fundamentals" McGrow-Hill, New York, 2-5 (1989).

Holt, D., J., 1982. Propane Fueled Vehicles. Automotive Enginering, C90, num.2. pp133.

İlkılıç, C., (1999) Çesitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik Ve Deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, s.5-13.

Jothi N K M, Nagarajan G, Renganarayanan S., (2005) Experimental Studies on Homogeneous Charge CI Engine Fueled With LPG Using DEE as An Ignition Enhancer, Renewable Energy 32 1581-1593.

Jothi, N.K.M, Nagarajan, G., Renganarayanan, S., (2007). "Experimental studies on homogeneous charge CI engine fueled with LPG using DEE as an ignition enhancer", Renewable Energy, 32: 1581–1593.

Karakus, N., (2000) Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.1-23.

KAYA, M., "LPG Sektörü – Taşıtlarda LPG Dönüşüm Sistemleri ve Karşılaşılan Problemler", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.

Koca D.Ö., (2013) " Dizel Motorlarında Motorin ve LPG Yakıtlarının Birlikte Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması" Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KUTLUK, S.,'Benzin Motorunda LPG Kullanımı ve LPG'nin Özellikleri, s26-30, 2003.

Osnovenko, N., 1991. Use of Gaseous Fuel for Municiple Puplic and Other Selective Uses, Symposium on the use of Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Natural Gas (LNG), Liquefied Petroleum Gas (LPG) as Fuel for Internal Combustion Engines, Kiev.

Owen, K., Coley, T., (1990). "Automotive Fuels Handbook 2nd ed". Society of Automotive Engineers. Inc**.,** USA ,275-278, 327-330, 338-345.

Öğüt,H. ve Kuş, R.,(1999). Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı , II. Ulaşım ve Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı,TMMOB Makine Müh.Yayını,242,149162.

Poonia, P., M., Ramesh, A., Gaur, R. R. 1998. Effect of Intake Air Temperature and Pilot Fuel Quantity on the Combustion Characteristics of a LPG Diesel Dual Fuel Engine. S.A.E. Technical Paper Series : 982455.

Qi D H, Bian Y Z H, Ma Z H Y, Zhang C H H and Liu SH Q., (2007) Combustion and Exhaust Emission Characteristics of A Compression Ignation Engine Using Liquefied Petroleum Gas-Diesel Blended Fuel, Energy Conversion And Management Volume 48, Issue 2, Pages 500-509.

Safgönül B, Ergeneman M, Arslan H E ve Sorusbay C., (1999) İçten Yanmalı Motorlar, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Otomotiv ABD, Birsen Yayınevi, İstanbul.

SAHAKK-İ Projesi, Motorlu Taşıtlar ve Adapazarın' da Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonların Envanterlenmesi, www.sahakk.sakarya.edu.tr/.../motorlu-tasitlar-ve-emisyonlari.pdf , 26 Mart 2012.

Saleh, H.E. , "Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in dual fuel diesel engine", Fuel**,** 87: 3031–3039 (2008).

Selim, M.Y.E. , "Sensitivity of dual fuel engine combustion and knocking limits to gaseous fuel composition" , Energy Conversion and Management**,** 45: 411–425 (2004).

Selim, M.Y.E. , Radwan, M.S. , Saleh, H.E. , "Improving the performance of dual fuel engines runnig on natural gas/LPG by using pilot fuel derived from jojoba seeds", Renewable Energy, 33: 1173–1185 (2008).

Sertçelik, N., (2010), "Çift Yakıtlı Motorlarda LPG Kullanımının Performans Ve Emisyona Etkisi", Yüksek Lisans Tezi ,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Shipman, R. H., 1997. Liquified Petroleum Gas Industry Technical Association, pp. 323–333.

Toboldt, W.K., "Diesel", The Goodheart-Willeox Company,Inc**.,** Tinley Park,7-8 (1983).

URL1 http://www.maviayotogaz.com/lpg-nedir/1-lpg-nedir.html (22.03.2017)

URL 2 http://www.megep.meb.gov.tr Sınıf Modülleri (28.05.2008).

URL 3 http://web.ttnet.net.tr/users/grupgas/urun1.htm

URL 4 www. Karenlpg.com.tr

URL 5 http://guneyotogaz.com/tum-dunyada-lpg/ (22.03.2017)

Ustael, K., (2011). "Traktör Dizel Motorunun Yüksek Sıkıştırma Oranında Lpg İle Çalışmasını Sağlayan Yeni Bir Yanma Odasının Teorik Ve Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yamık, H., (2002). Diesel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yiğit, A., 2008. Bir Dizel Motorda LPG Kullanılması ve Farklı Özellikteki Pilot Dizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyon Etkisinin İncelenmesi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük.

9. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet AYDIN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : 16.09.1991
e-mail : g.ahmetaydin@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Akşemsettin Anadolu Lisesi	Bağcılar	İstanbul	2009
Üniversite	:	Batman Üniversitesi	Merkez	Batman	2014
Yüksek Lisans	:	Batman Üniversitesi	Merkez	Batman	2017

YABANCI DİLLER

İngilizce