

**ÇİFT YAKITLI BİR DİZEL MOTORDA
LPG/BİYODİZEL ORANININ PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Süleyman SARAÇ

**ÇİFT YAKITLI BİR DİZEL MOTORDA LPG/BİYODİZEL ORANININ
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Süleyman SARAÇ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2011

Süleyman SARAÇ tarafından hazırlanan; "ÇİFT YAKITLI BİR DİZEL MOTORDA LPG/BİYODİZEL ORANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26 / 01 / 2011

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KILIÇARSLAN (KBÜ)



... / ... / 2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İmzası

Süleyman SARAÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİFT YAKITLI BİR DİZEL MOTORDA LPG/BİYODİZEL ORANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Süleyman SARAÇ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Ocak 2011, 108 sayfa

Bu çalışmada; tek silindirli, direkt püskürtmeli, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda dizel yakıtı yerine alternatif olarak farklı oranlarda biyodizel/LPG çift yakıtı kullanılmasının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

Literatürde, biyodizel/LPG karışımının dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılmasıyla ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın gerekçesi, dizel yakıtına göre daha temiz yanabilen ancak dizel motorlarda yakıt olarak kullanılmasına şüphe ile bakılan LPG ile yenilenebilir, oksijen içeren ve daha temiz yanabilen biyodizel yakıtın uygun oranlarda kullanılmasıyla motor egzozundan daha az zararlı emisyonların yayılacağı tahmin edilmiş olmasıdır.

Deneysel çalışma, sabit devirde değişik yük ve çift yakıt oranlarında gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapmak için aynı koşullarda saf dizel ve saf biyodizel yakıtlarının deneysel verileri de kaydedilmiştir. Dizel ve biyodizel yakıtı motorun orijinal yakıt enjeksiyon sistemiyle silindir içine püskürtülmüştür. LPG gaz

yakıtı ise regülatör ile basıncı düşürüldükten sonra miktarı da hassas vana ile ayarlanarak sulu güvenlik ve alev geri tepme valflerinden geçtikten sonra emme manifoldundan emilen hava içerisine verilmiştir. Sıvı ve gaz yakıt tüketimleri dijital teraziler ile ölçülmüştür. Egzoz gaz sıcaklığı K tipİ sıcaklık sensörü ve dijital termometre ile tespit edilmiştir. Egzoz emisyonları uygun emisyon cihazlarıyla ölçülmüştür.

Deneyle sırasında; motor torku, yakıt tüketimleri, egzoz emisyonları ve egzoz gaz sıcaklığı değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu ölçümlerden yararlanarak motor gücü, özgül yakıt sarfiyatı ve motor termik verimi hesaplanmıştır. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda; ÖYT'nin düşük LPG oranında dizel ve biyodizelden düşük, yüksek LPG oranında ise yüksek çıktığı belirlenmiştir. Egzoz gaz sıcaklığının genel olarak düşük çıktığı görülmüştür. Emisyonlardan CO, HC ve NOx emisyonlarının yüksek, is emisyonunun ise düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Biyodizel, LPG, çift yakıtlı motor, performans, egzoz emisyonları.

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DUAL FUEL RATIO FOR A DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS EFFECTS OF BIODIESEL/LPG

Süleyman SARAÇ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

January 2011, 108 pages

In this study, single-cylinder, direct injection, compression ignition engine with different proportions of diesel fuel instead of biodiesel as an alternative / LPG dual-fuel use and emissions performance, the effect was investigated experimentally. In the literature, biodiesel / diesel fuel mixture of LPG as an alternative are very few the reason of the study, according to the cleaner diesel fuel as combustible fuel for diesel engines, but viewed with suspicion by the use of LPG and renewable, including oxygen, combustible and cleaner use of appropriate amounts of biodiesel fuel to the engine exhaust is less harmful emissions will spread to an estimated.

Experimental study of different load and dual-fuel ratios were constant speed. Under the same conditions to compare to pure diesel, pure biodiesel fuels have been the experimental data. Diesel and biodiesel fuel is sprayed into the engine's original fuel injection system, cylinder. LPG gas is the fuel pressure regulator and precision valves after being dropped by adjusting the amount of water and flame safety valves

after recoil absorbing air into the intake manifold are given. Liquid and gas fuel consumption was measured with digital scales. Exhaust gas temperature was determined with the K type temperature sensor and a digital thermometer. Exhaust emissions are measured in accordance with emission devices.

During the experiments, the engine torque, fuel consumption, exhaust emissions and exhaust gas temperature values were measured and recorded. This measurement, using the engine power, specific fuel consumption and engine thermal efficiency was calculated. Evaluation of data as a result of lower specific fuel consumption of diesel and biodiesel low rate of LPG, the high out of the high rate of LPG was determined. Exhaust gas temperature was observed to generally low. It is determined that smoke emissions is lower while, CO, HC and NO_x emissions are higher.

Key Words : Biodiesel, LPG, Dual fuel engine, performance, exhaust emissions.

Science Code : 708.3.026

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi, çok kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Bahattin ÇELİK ve Yrd. Doç. Dr Bülent ÖZDALYAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Araştırma Görevlisi Oğuzhan DOĞAN'a, arkadaşlarım Salih ÖZER, Engin MESUT ve Emre BİLDİ'ye teşekkür ederim.

Sevgili aileme maddi manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	13
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR	13
3.1. DİZEL MOTORLAR	13
3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA	14
3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu.....	15
3.2.2. Ani Yanma Periyodu	15
3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu.....	16
3.2.4. Art Yanma Periyodu.....	16
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	16
3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi	16
3.3.2. Karışım Oranının Etkisi.....	18
3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi	18
3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi.....	18

	<u>Sayfa</u>
3.3.5. Motor Devrinin Etkisi.....	19
3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı ve Basıncın Etkisi.....	19
3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi.....	19
3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi.....	20
3.4. DİZEL YAKITI.....	20
3.4.1. Dizel Yakıtın Sınıflandırılması.....	21
3.4.2. Dizel Yakıtın Özellikleri.....	22
3.4.2.1. Viskozite	23
3.4.2.2. Isıl Değer	23
3.4.2.3. Setan Sayısı	24
3.4.2.4. Akma Noktası	24
3.4.2.5. Uçuculuk	24
3.4.2.6. Parlama Noktası	25
3.5. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR	25
3.5.1. Doğalgaz.....	26
3.5.2. LPG.....	28
3.5.3. Bitkisel Yağlar	30
3.5.4. Biyodizel.....	31
BÖLÜM 4	32
LPG'NİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ	32
4.1. GAZ YAKITLAR	32
4.1.1. Daimi Gazlar.....	33
4.1.2. Sıvılaştırılmış Gazlar	33
4.2. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI.....	34
4.2.1. LPG'nin Elde Edilmesi.....	34
4.2.2. LPG'nin Çeşitleri.....	37
4.2.2.1. Ticari Propan	37
4.2.2.2. Ticari Bütan	38
4.2.2.3. Ticari Propan – Bütan Karışımı	39
4.2.2.4. Özel Hizmet Propanı.....	39

4.2.3. LPG'nin Özellikleri	39
4.2.4. Buhar Basınç Eğrisi	40
4.2.5. LPG'nin Isıl Değeri	41
4.2.6. Buharlaşma Gizli Isısı	42
4.2.7. Kaynama Noktası.....	42
4.2.8. LPG'nin Tutuşma Sınırları	44
4.2.9. LPG'nin Yoğunluğu	45
4.2.10. LPG'nin Yoğunluk Hesabı	47
4.2.11. LPG'nin Tam Yanma Şartları ve Teorik Yanma Denklemleri.....	46
4.2.12. LPG'nin Kokulandırılması	47
4.2.13. LPG'nin Depolanması	47
4.2.14. Motor Yakıtı Olarak LPG.....	49
4.2.15. LPG'nin Avantajları	50
4.2.16. LPG'nin Dezavantajları	50
4.2.17. LPG'nin Oktan Sayısı.....	51
4.2.18. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları	51
BÖLÜM 5	53
BİYODİZELİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ	53
5.1. BİYODİZELİN TANIMI	53
5.2. BİYODİZELİN ÇEVRESEL ÖZELLİKLERİ	53
5.3. BİYODİZELİ OLUŞTURAN YAĞ BİTKİLERİNİN ÜLKEMİZDEKİ POTANSİYELİ.....	55
5.4. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN ELDE EDİLMESİ. 55	
5.4.1. Biyodizelin İçerdiği Bitkisel Yağların Kimyasal Bileşenleri	57
5.5. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	58
5.6. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ	62
5.7. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	63
5.7.1. İnceltme.....	64
5.7.2. Mikroemülsiyon Oluşturma.....	65
5.7.3. Proliz.....	65

5.7.4. Transesterifikasyon.....	66
5.8. BİYODİZELİN ULUSLAR ARASI STATÜSÜ	66
5.8.1. Biyodizelin Uluslararası Uygulamaları	67
5.8.2. Biyodizelin Uluslararası Standartları.....	67
5.8.3. Biyodizelin Uluslararası Üretimi	68
5.8.4. Biyodizelin Uluslararası Kanunları	70
5.9. ÇEVRE VE BİYODİZEL	71
5.9.1. Biyodizel Tarımı.....	71
5.9.2. Türkiye Açısından Sonuçlar	72
BÖLÜM 6	73
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	73
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	73
6.2. DENEY DÜZENEĞİ VE YÖNTEM.....	73
6.3. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI..	77
6.3.1. Dinamometre	77
6.3.2. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	78
6.3.3. Kronometre	80
6.3.4. Yük Hücresi	81
6.3.5. Egzoz Gaz Analizörü ve İs Emisyon Ölçüm Cihazı.....	81
6.3.6. LPG Tüpü ve Regülatörü.....	83
6.3.7. Ölçekli Vana	84
6.3.8. Sulu Güvenlik	85
6.3.9. Alev Geri Tepme Valfi	85
6.4. BULGULAR VE TARTIŞMA	86
BÖLÜM 7	93
SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
EK AÇIKLAMALAR A.	
KANOLA BİYODİZELİN YAKIT ÖZELLİKLERİ VE ANALİZ RAPORLARI	102

EK AÇIKLAMALAR B.	
DENEYLERE İLİŞKİN HESAPLAMALAR	106
ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri	14
Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi	17
Şekil 4.1. Reforming ihtiva eden kraking tipi rafineri	35
Şekil 4.2. Destilasyonla elde edilen ürünlerin yüzdesi.....	36
Şekil 4.3. Propan, normal bütan ve izobütanın sıcaklığa bağımlı buharlaşma basınç değişimi.....	40
Şekil 4.4. Propan – bütan karışımı buhar basınç eğrisi	41
Şekil 4.5. Propan ve bütan tanklarında kaynamanın mukayesesi.....	43
Şekil 4.6. Hava içindeki çeşitli gazların % tutuşma sınırları	45
Şekil 4.7. % 20 Gaz - % 80 sıvı LPG'nin 15°C de depolandığında, 380°C – 50°C sıcaklıklarda yakıt deposundaki yakıt oranlarının değişimleri.....	48
Şekil 4.8. % 10 Gaz - % 90 sıvı LPG'nin 15°C de depolanmasından sonra, 50°C sıcaklıkta yakıt deposundaki yakıt oranlarının değişimleri.....	48
Şekil 5.1. Trigliseridin açık formülü	59
Şekil 5.2. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi.....	64
Şekil 6.1. Deney tesisatının şematik görünüşü.....	74
Şekil 6.2. a) Dinamometre kontrol panosu b) Dinamometre	78
Şekil 6.3. LPG yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan elektronik terazi.....	79
Şekil 6.4. Sıvı yakıt ve hassas terazi.	79
Şekil 6.5. Sıvı yakıtın hassas terazi üstünden deney motora gönderilmesi.....	80
Şekil 6.6. Kronometre	80
Şekil 6.7. a) İndikatör ve b) Yük Hücresi genel görünümü.	81
Şekil 6.8. Egzoz emisyon ölçüm cihazı	82
Şekil 6.9. Is emisyon ölçüm cihazı	82
Şekil 6.10. LPG tüpü ve regülâtörü.....	83
Şekil 6.11. Ölçekli vana.	84
Şekil 6.12. Sulu güvenlik	85
Şekil 6.13. Alev geri tepme valfi.....	85

Şekil 6.14. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile özgül yakıt tüketimi değişimi.....	86
Şekil 6.15. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile egzoz gaz sıcaklığı değişimi	87
Şekil 6.16. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile HC emisyonu değişimi	88
Şekil 6.17. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile CO emisyonu değişimi	89
Şekil 6.18. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile hava fazlalık katsayısının değişimi.....	90
Şekil 6.19. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile NO _x emisyonu değişim.....	91
Şekil 6.20. Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG yakıtının motor yükü ile is emisyonu değişimi	92
Şekil A.1. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu 1.	103
Şekil A.2. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu 2	104
Şekil A.3. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu 3.	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler	21
Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları.....	22
Çizelge 4.1. Sıvılaştırılmış ve daimi gazlara ait karşılaştırmalı özellikler.....	33
Çizelge 4.2. Petrol rafineri işleminde açığa çıkan ürünlerin hidrokarbon serisi	36
Çizelge 4.3. Türkiye TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde üretilen LPG yakıtının analiz sonuçları	37
Çizelge 4.4. LPG'nin yaklaşık özellikleri	38
Çizelge 4.5. Bazı gazların ısı değerleri	41
Çizelge 4.6. Propan ve bütanın buharlaşma gizli ısıları.....	42
Çizelge 4.7. Yakıt deposunda kalan yakıt yüzdeleri	43
Çizelge 4.8. Çeşitli ülkelerde yaz ve kış aylarında kullanılan LPG'nin içindeki propan / bütan oranları	44
Çizelge 4.9. Motor yakıtları ve LPG'nin karşılaştırmalı özellikleri	49
Çizelge 4.10. Ankara ili ulaşımında yakıt tüketimi bazında emisyon değerlerinin benzinli ve dizel motorlara göre değişimi.....	51
Çizelge 4.11. TOFAŞ / FİAT emisyon laboratuvarında LPG – benzin emisyon değerleri.....	52
Çizelge 4.12. LPG, kurşunsuz benzin ve motorinin emisyon değerlerinin karşılaştırılması	52
Çizelge 5.1. Dizel B100 ve B20 yakıtlarının emisyon değerlerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 5.2. Yağ bitkilerinin ekim alanı, üretim verimleri ve üretim miktarları	55
Çizelge 5.3. Bazı yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları.....	58
Çizelge 5.4. Bitkisel yağ asitlerinin karbon sayıları, çift bağlar, ergime ve kaynama noktaları ile formülleri	61
Çizelge 5.5. Bitkisel yağların kimyasal özellikleri	62
Çizelge 5.6. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	63
Çizelge 5.7. Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri.....	66
Çizelge 5.8. Uluslar arası biyodizel standartları	68
Çizelge 5.9. TS EN 14214 biyodizel standartları ve analiz yöntemleri	69

Çizelge 6.1. Deney motoruna ait teknik özellikler.....	73
Çizelge 6.2. Biyodizel (kanola) yakıtının özellikleri	75
Çizelge 6.3. Deneyleerde kullanılan LPG yakıtının teknik özellikleri	75
Çizelge 6.4. Ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan sonuçların belirsizlikleri.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B	: Yakıt tüketimi (kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
ε	: Sıkıştırma Oranı
F	: Baskı kuvveti (N)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
L	: Motor merkezinin Yük Hücresine uzaklığı (m)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
Me	: Etkin motor momenti (Nm)
n	: Motor hızı (1/min)
Pe	: Etkin motor gücü (kW)
rp	: Ön karışım oranı

KISALTMALAR

AÖN	: Alt Ölü Nokta
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu)
CNG	: Sıkıştırılmış Doğalgaz
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: Avrupa Normu
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
HCCI-DI	: Homojen Karışimli Sıkıştırma Ateşlemeli-Direkt Enjeksiyonlu
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
H/Y	: Hava – Yakıt Oranı
KMA	: Kam Mili Açısı
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
LPG	: Likit Petrol Gazı
MON	: Motor Oktan Sayısı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
PB	: Püskürtme Başlangıcı
PS	: Püskürtme Sonu
RON	: Araştırma Oktan Sayısı
Sİ	: Setan İndeksi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
Y/H	: Yakıt – Hava Oranı
BSU	: Bosch Smoke Unit (Bosch Duman Ünitesi)
B2	: Hacimsel Olarak %2 Biyodizel, %98 Dizel Yakıtı
B5	: Hacimsel Olarak %5 Biyodizel, %95 Dizel Yakıtı
B10	: Hacimsel Olarak %10 Biyodizel, %90 Dizel Yakıtı
B20	: Hacimsel Olarak %20 Biyodizel, %80 Dizel Yakıtı
B50	: Hacimsel Olarak %50 Biyodizel, %50 Dizel Yakıtı

B100	: Hacimsel Olarak %100 Biyodizel Yakıtı
CEN	: European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Birliği)
DEK	: Dünya Enerji Konseyi
DOE	: Departman of Energy (Enerji Departmanı)
Dİ	: Direk Enjeksiyon
ECU	: Elektronik Countrol Unit (Elektronik Kontrol Ünitesi)
EGR	: Egzoz Gazı Resilkülasyonu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
İDİ	: İndirekt Enjeksiyon
İHEA	: Uluslar Arası Hidrojen Enerjisi Birliği
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
POx	: NON katalitik kısmi oksidasyon
SR	: Katalitik Buhar Yapılandırması
TMI	: Tam Zamanlı Manifold Enjeksiyonu
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
C	: Karbon
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DEE	: Dietil Eter
DME	: Dimetil Eter
HC	: Hidrokarbon
NO _x	: Azot oksit
O ₂	: Oksijen
S	: Kükürt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsan sağlığı ve çevreyi tehdit eden kirletici emisyonların önemli bir kısmı fosil esaslı yakıtlarla çalışan benzinli ve dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Dizel motorlar çalışma prensipleri gereği yüksek sıkıştırma oranına sahip oldukları için daha verimlidirler. Dolayısı ile güç, ekonomiklik ve yaydıkları emisyon bakımından benzinli motorlara göre daha avantajlı oldukları için yük ve yolcu taşımacılığında daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Yüksek sıkıştırma oranı ve kısılmaz hava ile çalıştılarından CO emisyonları benzinli motorlara göre oldukça düşükken, NO_x ve is emisyonları yüksektir. Dolayısı ile dizel motorlardan kaynaklanan NO_x ve is emisyonları çeşitli yöntemlerle aşağı seviyelere çekilmeye çalışılmaktadır. Bunun için; egzoz gazı geri çevrimi (EGR), yeni yakıt püskürtme teknikleri ve daha temiz yanan alternatif yakıt kullanılması gibi yöntemlere başvurulmaktadır. Sorunun çözümü için temiz yanan gaz yakıtların kullanılması ümit verici görülmektedir. Bol bulunması, ucuz olması, yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntusuz ve temiz yanması nedeniyle doğal gaz (metan), dizel motorlarda kullanılabilir alternatif yakıtlardan birisi olarak görülmektedir. Ancak setan sayısının çok düşük olması ve kendi kendine tutuşmasının zor olması nedeniyle doğalgaz, dizel motor sıkıştırma oranı düşürülüp motora bir ateşleme sistemi ilave edilerek veya çift yakıt uygulaması şeklinde olmak üzere iki farklı yöntemle kullanılabilir. Bunlardan ilki, dizel motorun yaklaşık bir benzinli motor çalışma biçimine dönüştürülmesi nedeniyle dizel motorun yüksek sıkıştırma oranına sahip olma avantajını azaltması, büyük çaplı değişiklik gerektirmesi ve oldukça maliyetli olması nedeniyle pek tercih edilmemektedir. İkinci yöntem ise çift yakıt uygulamasıdır. Çift yakıt uygulamasında ise gaz yakıt atmosfer basıncının biraz üstünde bir basınçta emme havasına karıştırılarak silindire gönderilmekte, sıkıştırma zamanının sonunda orijinal dizel yakıt sistemiyle silindire püskürtülen pilot dizel yakıtı ile gaz yakıt ateşlenmektedir. Pilot dizel yakıtı ile sağlanan ateşleme enerjisi

buji ile ateşlemede sağlanan enerjiden daha büyüktür. Bu çift yakıtlı motorun yeterince fakir hava yakıt oranlarında çalışmasına imkân vermektedir. Çift yakıt uygulaması motor yüküne göre yakıtların oransal olarak ayarlanmasından başka önemli bir değişiklik gerektirmediği için daha düşük dönüştürme maliyetine sahiptir ve istenildiği zaman motor saf dizel yakıtı ile çalıştırılabilir. Dezavantajları ise, dizel yakıt sisteminin bulundurulmaya devam edilmesi ve bir miktar enerjinin dizel yakıtından sağlanması nedeniyle emisyon iyileştirmelerini bir miktar sınırlandırabileceği şeklinde ifade edilmiştir (Aktaş ve Doğan, 2010).

Çift yakıt yöntemi yüksek oranda doğal gazın kullanılmasına imkan vermektedir. Önceki çalışmalar, dizel yakıtı ve metan (doğal gaz) çift yakıtının birlikte kullanılmasının toplam verimi önemli miktarda değiştirmeden NOx ve is emisyonunu iyileştirdiğini, ancak özellikle düşük yüklerde HC ve CO emisyonlarını arttırdığını göstermiştir. Dizel motorlarda doğalgazın ikinci yakıt olarak kullanılması halinde artan CO ve HC emisyonunun azaltılması amacıyla püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisinin araştırıldığı birçok çalışmada; püskürtme zamanının öne alınması ile yanma veriminin arttığı, CO ve HC emisyonunun azaldığı ve NOx emisyonunun ise bir miktar arttığı ifade edilmiştir. (Aktaş ve Doğan, 2010).

Bol bulunması, ucuz olması, temiz yanması ve birçok gaz yakıtına göre daha kolay ve güvenli depolanabilmesi gibi özellikleri nedeniyle LPG'nin de dizel motorlarda kullanılabilirliği araştırılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalardan bazıları literatür araştırması bölümünde özetlenmiştir.

Bu çalışmada; Türkiye ve Avrupa'nın bir çok ülkesinde buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan kütleli olarak %30 propan + %70 bütandan oluşan LPG'nin farklı oranlarda pilot biyodizel yakıtı ile birlikte tek silindirli ve direkt püskürtmeli bir motorda kullanılmasının performans ve emisyon karakteristiklerine etkisinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aktaş ve Doğan. (2010), yaptıkları çalışmada, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda ikinci yakıt olarak %30 propan, %70 bütandan oluşan LPG'nin (Liquefied Petroleum Gas) dizel/LPG çift yakıtı içerisindeki oranının performans ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmıştır. Testler, maksimum tork devrinde (2600 1/min), maksimum torkun %20, %40, %60, %80 ve %100'ünde olmak üzere değişen yüklerde saf dizel yakıtı ve kütleli olarak %20, %40, %60, %80 ve %90 LPG içeren çift yakıt ile gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçları, her orandaki çift yakıt ile is ve azot oksit (NOx) emisyonlarının azaldığını, karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının ise arttığını göstermiştir. Ayrıca, fren Özgül Yakıt Tüketiminin (ÖYT) %40 LPG ile yüke bağlı olarak dizel yakıtına göre %3,5-15 oranında azaldığı ve egzoz gaz sıcaklığının da genel olarak dizel yakıtından düşük çıktığı görülmüştür. LPG'nin yakıt olarak kullanılması sonucu tek olumsuz etki olarak ortaya çıkan bir miktar CO ve HC emisyon artışı herhangi bir yöntemle düşürülebildiği takdirde, dizel yakıtı ile birlikte %40-%60 oranında LPG'nin yakıt olarak kullanılabilceği tespit etmişlerdir.

Özsezen et al. (2009), tarafından, atık palmiye ve kanola yağı metil esteriyile çalıştırılan direk püskürtmeli bir dizel motorun performans ve yanma karakteristikleri araştırılmıştır. Performans ve yanma karakteristiklerini belirlemek için deneyler 1500 d/d sabit motor hızında ve tam yükte gerçekleştirilmiştir. Deneyler, atık palmiye yağı biyodizelin dizel yakıt performansından daha düşük çıktığını ve yanma karakteristiklerinin hafif değiştiğini göstermiştir. Biyodizelin CO, HC ve is emisyonunu düşürdüğünü ancak NOx emisyonunu arttırdığı tespit edilmiştir

Sahoo et al. (2009), jatropha, karanja, polanga esaslı biyodizelin bir dizel motorda yakıt olarak kullanılmasının analizini yapmışlardır. Yenilmeyen filtre edilmiş

jatropha, karanja, polanga yağı esaslı biyodizel üretmişlerdir ve dizel yakılarıyla karıştırarak kullanmışlardır. Bu araştırmanın esas amacı Hindistan'da tarımsal uygulamalarda kullanılan tek silindirli bir motorda biyodizelin pratik uygulamalarına ulaşmaktır. Jatropa, karanja ve polangadan elde edilmiş saf biyodizeller ve onların hacimsel olarak %20 ve %50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak değişik yüklerde dizel yakıt olarak testler gerçekleştirmişlerdir. Maksimum basınç için geçen süre açığa çıkan ısı oranı tutuşma gecikmesi gibi motor yanma parametreleri hesaplanmıştır. Yanma analizleri maksimum silindir basıncını veren yakıtın polanga dizel karışımı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Jatropa biyodizelinin 5,9 - 4,2 krank mili açısı arasında değişen yüklerde tutuşma gecikmeleri ile dizel yakıtından daha düşük çıkmıştır. Benzer şekilde saf karanja ve polanga biyodizeli için de tutuşma gecikmeleri dizelinkinde daha kısa çıkmıştır.

Kaya et al. (2009), biyodizel üretimi için potansiyel hammadde olarak fıstık yağının biyodizeli Türkiye'nin güneydoğu Anadolu bölgesinde yetişen yer fıstığından %50 solvent ekstraksiyonu ile fıstık yağı elde edilmiştir. Fıstık yağı biyodizel üretimi için hammadde olarak araştırılmıştır. Biyodizeli, metanol ve NaOH kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile elde etmişlerdir. Estere dönüştürme oranı maksimum % 89 olmuştur. Üretilen biyodizelin viskozitesi dizele yakın ısıl değerinin dizelden %6 fazla olduğunu bulmuşlardır. Fıstık yağı yapısında O₂ olduğu için ısıl değeri %8.3 daha düşüktür. Fıstık yağının ve biyodizelin kinematik viskozitesi, yoğunluğu, parlama noktası, iyot sayısı netürülüzasyon sayısı akma noktası bulutlanma noktası Setan sayısı gibi önemli özellikleri dizel no:2 yakıtı ASTM ve EN biyodizel standartları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak fıstık yağı biyodizeli özellikleri ham fıstık yağından daha uygun olduğu görülmüştür.

Srivastava et al. (2008), yenilenebilir bir alternatif enerji kaynağı olan karanja yağından biyodizel elde edilmesi çalışmaları yapmışlardır. Jharkand bölgesinde yetişen karanja tohumunun yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde edilmiştir. Hem biyodizelin hem bitkisel yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Biyodizelin maksimum termik verimin belirlenmiş ve dizel yakıttan hafif yüksek bulunmuştur. ÖYT dizel yakıt ile karşılaştığında dizelinkinden hafif

yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyodizelin ve karışımlarının CO, HC, NO_x emisyonları belirlenmiş ve dizel yakıt ile karşılaştırmışlardır.

Banapurmath et al. (2008), hongca, jatropa ve susam yağı metil esterleriyle çalışan direk püskürtmeli bir dizel motorun performans ve emisyon karakteristikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Yüksek viskoziteli bitkisel yağlar pompalama ve püskürtme karakteristiklerinde sorunlara neden olur. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının en iyi yolu onları biyodizele çevirmektir. Biyodizel bitkisel yağlardan yenilebilen ya da yenilmeyen ve hayvansal yağların metil ya da etil esterleridir. Biyodizelin esas kaynakları hangca yağı, jatropa yağı, kauçuk ya da nagahompa yağı gibi yenilmeyen bitki çeşitleri olabilir. Biyodizel saf halde veya karışım halinde dizel motorlarda önemli bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Bunun sebebi biyodizel yakıtın dizel yakıt özelliklerine çok yakın olmasındandır. Bu çalışma tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda hongca yağı, jatropa yağı ve susam yağı biyodizeliyle çalışma sonuçlarını sunmaktadır. Karşılaştırmalı olarak fren termik verimi is emisyonu HC, CO, NO_x tutuşma gecikmesi yanma süresi açığa çıkan ısı sunulmuş ve tartışılmıştır. Susam yağı termik verimi HC, CO ve NO_x emisyonları hongca ve jatropa biyodizeline göre daha düşük olduğu gözlenmiştir

Selim et al. (2008), jojoba tohumundan türetilmiş pilot biyodizel yakıtı, esas yakıt olarak doğalgaz ya da LPG ile çalışan çift yakıtlı bir dizel motorun performansının iyileştirilmesi adlı çalışmasında sıkıştırma oranı değiştirilebilen Ricardo E6 çift yakıtlı dizel motorunu kullanmıştır. Dizel yakıtını da karşılaştırma için referans yakıt olarak kullanmıştır. Deneysel çalışmasında özgül yakıt tüketimine bağlı olarak motor verimini, motor fren gücünü ve maksimum basınç ve maksimum basınç artış oranına bağlı olarak motor gürültüsünü, emisyonları, vuruñu sınırı gibi ölçümleri yapmıştır. Testler, gaz yakıt tipi, motor hızı ve yükü, pilot yakıt püskürtme zamanı, pilot yakıt miktarı ve sıkıştırma oranına göre incelenmiştir. Sonuç olarak jojoba pilot yakıtıyla çift yakıtlı motorun performansının arttığı, gürültü emisyonunun azaldığı, yanma süresinin kısaldığı ve vuruñu limitinin genişlediğini tespit etmişlerdir.

Wang et al. (2008), tarafından yapılan çalışmada direk enjeksiyonlu bir motorda hidrojen ve doğalgaz karışımının uygulanmasının yanma karakteristikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar düşük ve orta yüklerde hidrojen miktarının artışıyla termal verimin arttığı ve en yüksek termal verimin tam yükte gerçekleştiği belirtilmiştir. Karışımdaki hidrojen miktarının artışıyla sıcaklık artışlarının gerçekleştiği, HC ve CO₂ oranlarında azalmalar olduğu belirtilmiştir. NO_x'in yüksek motor yükünde hidrojen miktarının artışıyla arttığı ve en iyi sonuçların %20 civarındaki yakıt harmanlamasında elde edildiği açıklanmıştır.

Masood et al. (2007), yaptıkları bir çalışmada farklı oranlarda dizel hidrojen karışımlarının emisyonlar ve performansına etkisini incelemişlerdir. Hidrojen-dizel oranı aralığı olarak %20–80 aralığı seçilen çalışmada hidrojen motora iki farklı metotla göndermiş ve bu metotlar birbiriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Birinci metot hidrojenin manifoldtan verilmesi ikinci metot ise hidrojenin 60 bar basınçla bir enjektör vasıtasıyla yanma odasına ulaştırılması olarak denenmiştir. Hidrojenin yanma odasına manifold yoluyla ulaşımında termal verimde %19 luk bir kazanç sağladığı ortaya konmuştur. Her iki yöntemde de hidrojen yüzdesinin artmasının yanma hızını düşürdüğü ve hidrojenin yanma odasına enjektör vasıtası ile ulaşmasının NO_x oluşumunu artırdığı belirtilmiştir.

Ramadhas et al. (2007), kauçuk tohumu yağı ve hindistancevizi lifi özü üretici gazı gibi yenilenebilir yakıtlarının dizel motorlarında çift yakıt biçiminde kullanıldığı çalışmalarında, gaz dönüştürücüsündeki biokütlenin kısmi yanması ile içten yanmalı motorlarda ilave veya tek yakıt olarak kullanılabilen üretici gazını oluşturmuşlardır. Hindistancevizi lifi özünden elde edilen üretici gazı ve pilot yakıt olarak kauçuk tohumu yağının kullanıldığı çift yakıt çalışmasını, farklı yük durumlarında değişik üretici gaz-hava akış oranları için analiz etmişlerdir. Deneysel kullandıkları motoru, çift yakıt çalışmasında maksimum pilot yakıt tasarrufuna göre deneysel olarak en uygun hale getirmişlerdir. Farklı yük durumlarında, çift yakıt motorunun performans ve emisyon karakteristiklerini dizel motoruna göre kıyaslamışlardır. Bütün yük koşullarında, çift yakıtlı çalışmadaki özel enerji tüketiminin daha yüksek tarafta olduğunu bulmuşlardır. Saf dizel/yağ çalışması ile kıyaslandığında çift yakıtlı

çalışma durumunda egzoz emisyonun daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Yinelenebilir yakıtlı motor çalışmasının, motor performans karakteristikleri bakımından tümüyle aşağı derecede olduğu fakat sabit motor uygulamaları ve elektrik üretimi için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Duc et al. (2007), tarım uygulamalarında kullanılan küçük bir endirekt enjeksiyonlu ön karışım odalı dizel motorunda biyogaz kullanıma yönelik deneysel araştırmalar yapmışlardır. Biyogaz, selülozlu biokütle materyallerinin anaerobik fermantasyonu yardımıyla üretilen, içten yanmalı motorlar için temiz bir yakıttır. Biyogaz, petrol krizi durumlarında, fosil yakıtların oldukça büyük bir miktarını karşılayabilecek, özellikle dizel motorlar için umut verici alternatif bir yakıt olarak görev yapabilir. Dizel motorlar kolaylıkla çift yakıtlı motorlara dönüştürülebilirler. Bu, kendiliğinden kaynaklanan yüksek tutuşma sıcaklığına sahip biyogaz gibi alternatif yakıtları değerlendirmek için en pratik ve verimli yoldur.

Qi et al. (2007), LPG-dizel karışımı ile çalışan sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun yanma ve egzoz emisyon karakteristikleri adlı çalışmalarında, saf dizel ve LPG-dizel karışımlarının (%10, %20, %30, %40) tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda değişik motor hızları ve yüklerine göre yanma ve emisyonlara etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak; karışım içersindeki LPG oranının artmasıyla maksimum silindir basıncının düştüğünü, tutuşma gecikmesinin arttığını, NO_x ve is emisyonunun azaldığını, diğer yandan düşük yüklerde CO emisyonunun arttığını ancak tam yükte CO emisyonunun önemli miktarda düştüğünü, HC emisyonunun arttığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla LPG'nin hem NO_x emisyonunu hem de is emisyonunu kontrol altına almak için dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Junjun Ma et al. (2007), Çift yakıtlı HCCI-DI (homojen karışimli sıkıştırma ateşlemeli-direkt enjeksiyonlu) bir dizel motorda manifolda püskürtülen n-heptanın yanma ve emisyonlar üzerine etkilerinin incelendiği deneysel çalışmada; test motoru, sabit bir hızda tutulurken, direkt püskürtmeli dizel yakıtına ek olarak ön karışimli n-heptanın nicelikleri ayarlanarak yük koşullarının geniş bir aralığında farklı ön karışım oranları elde edilmiştir. Ön karışım oranı (rp) ve direkt enjeksiyon

zamanlamasının HCCI-DI yanma karakteristikleri ve emisyonlar üzerine etkileri araştırılmıştır. HCCI yanmasının özelliklerini geliştirmek için, klasik dizel ve HCCI motor performansları sonuçlarıyla karşılaştırılarak ortaya konulmuştur. Üstelik birleştirilmiş yanma süreci analizine özel vurgu yapılmıştır. NO_x emisyonlarının kısmi ön karıştırmayla dramatik olarak azaldığı bulunmuş ve ön karışım oranı, 0,3 ten düşük olduğu zaman ön karışım oranına bağlı olarak alçalan bir eğilim sergilemiştir; ama ön karışım oranı daha yüksek olduğunda, NO_x artmak için büyük bir eğilim göstermiştir.

Papagiannakis et al. (2007), pilot yakıt miktarının püskürtme zamanının çift yakıtlı bir dizel motorunun performans ve emisyonu üzerine etkilerinin kuramsal çalışması adlı çalışmalarında, geleneksel dizel motorların yanma prosesinin iyileştirilmesi ve egzoz emisyonlarının düşürülmesi için motor üzerinde ciddi değişiklikler yapılmaksızın klasik dizel yakıtına ilave olarak doğalgazın kullanıldığı çift yakıtlı doğalgaz dizel motorları olarak adlandırılan değişik çözümler teklif etmişlerdir. Bunların en genel olanı pilot ateşlemeli doğalgaz dizel motoru olarak bilinmektedir. Burada, ilk yakıt olarak doğalgaz kullanılırken, pilot dizel yakıtı sıkıştırma zamanının sonuna doğru püskürtülerek gaz yakıt karışımının yanması için etrafta bir ısı kaynağı oluşturması için kullanılmaktadır. Önceki araştırma çalışmaları, çift yakıt yanmasının asıl dezavantajının motor verimliliği üzerindeki olumsuz etkisi ve normal dizel çalışmasına göre artan karbon monoksit emisyonları olduğunu göstermiştir. Pilot yakıt miktarı ve püskürtme avansı yanma mekanizmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Sonra, performans ve emisyonlar üzerindeki bu iki parametrenin etkisini sınamak için laboratuvar koşullarında yüksek hızlı, pilot ateşlemeli bir doğal gaz dizel motoru üzerinde kapsamlı çift bölgeli fenomenolojik bir model üzerinde çalışmış ve uygulama yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre, eş zamanlı olarak pilot yakıt miktarının ve enjeksiyon zamanının artışının sonuçlarından biri motor veriminin artması CO emisyonlarının düşmesi ve negatif olarak NO emisyonlarının artmasıdır.

Nwafor (2006), doğalgaz ile çalışan dizel motorunda avanslı enjeksiyon zamanlamasının emisyon karakteristikleri üzerine olan etkisini araştırmıştır. Petter model AC1 tek silindirli, hava soğutmalı, direkt püskürtmesiz, yüksek hızlı, dört

zamanlı dizel motorunda test sonuçları, alternatif yakıtların gecikme karakteristiklerinin motor yükü ve hızından etkilendiğini göstermiştir. Avanslı enjeksiyon zamanlaması, her alternatif yakıtın kendi gecikme periyoduna ayrılması gerektiğini göstermiştir. Avanslı enjeksiyon zamanlamasının yakıt tüketiminde ufak bir artışa eğilimi olduğu bulunmuştur. Avanslı zamanlamayla karbondioksit emisyonlarında önemli bir azalma olmuştur. Standart zamanlamaya oranla avanslı zamanlama ünitesi ile egzozdaki CO konsantrasyonları çok düşmüştür. Çift yakıt sistemlerindeki HC emisyonları yükleme koşulları boyunca yüksek olmuştur. Avanslı enjeksiyon zamanlaması, çift yakıtlı standart ünite üzerindeki HC emisyonlarında marjinal bir gelişme göstermiştir. Motor, standart zamanlamaya göre 3.5° ilerlemeyle, çift yakıtlı hafif yük koşullarında düzgünce çalışmıştır.

Carlucci et al. (2006), direkt enjeksiyonlu çift yakıt bir dizel-doğalgaz motorunun deneysel araştırması ve yanma analizi adlı çalışmalarında, tek silindirli bir dizel motorunu, CNG-hava karışımını ateşlemek için kullanılan bir pilot dizel yakıt enjeksiyonu ile beraber doğalgaz ile çalışan çift yakıtlı bir motor haline dönüştürmüşlerdir. CNG, bu uygulama için tasarladıkları bir gaz enjektörü yoluyla emme manifolduna püskürtmüşlerdir. Akış katsayısı, ani kütle akış oranı, elektrik sinyali ve enjektör açılışı arasındaki gecikme zamanı gibi gaz enjektörünün ana performansını, enjektörü optik bir sabit-hacim kabında test ederek tanımlamışlardır. CNG fiskiyesini dahi, gölge grafiği tekniği yoluyla tanımlamışlardır. Farklı motor yükü ve hızlarına bağlı olarak geniş bir çalışma koşulları aralığında motoru çift yakıtlı çalıştırarak test etmişlerdir. Bütün test edilen çalışma koşulları için, CNG ve dizel yakıt enjeksiyon basıncının etkisi, pilot enjeksiyon esnasında püskürtülen yakıt miktarı ile beraber, motor performansında ve özel emisyon düzeyleri ve yakıt tüketimi bakımından yanma gelişimi üzerine inceleme yapmışlardır.

Jothi et al. (2005), tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda tutuşturucu yakıt olarak dietil eter (DEE) ve esas yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanılmasının yanma, performans ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. LPG karıştırıcı yardımıyla emme manifolduna gaz olarak verilmiş ve ateşlemeyi arttırıcı DEE de sıvı fazda karıştırıcının önüne damlatılmıştır.

Değişik yüklerde (yüksüzden tam yüke kadar) ve değişik yakıt oranlarında (LPG oranı %62-%72) çalışma gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda tam yükte dizel yakıtta göre termik verimin yaklaşık olarak %23 kadar düştüğünü ve azot oksit (NO) emisyonunun ise %65 azaldığını tespit etmişler. Dizel yakıtta göte duman koyuluğunda maksimum azalmanın yaklaşık %85 ve partikül madde emisyonunda yaklaşık %89 olduğunu, ancak CO ve HC emisyonun bir miktar arttığını belirtmişlerdir.

Selim (2004), motor parametreleri ve gaz yakıt tipinin çift yakıtlı motorların çevrim değişkenliği üzerine etkisi adlı deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yanma basıncı bilgisini gösterebilen, tek silindirli, doğal emişli, 4 zamanlı Ricardo E6 motorunu dizel ve LPG gaz yakıtı veya metan ile çalışabilen çift yakıtlı bir dizel motoruna dönüştürmüş ve çevrim-çevrim yanma değişkenliğinin analizi yapmıştır. Bir piezo-elektrik basınç sensörü ile şarj yükselteci ve üzerinde hızlı veri kazanç kartı bulunan bir IBM mikrobilgisayarından oluşan bir ölçme düzeneğini, motor çalışma ve tasarım parametreleri, çeşitli silindir içi bileşimleri ve ardışık yanma çevrimlerinden oluşan 1200'den fazla verinin bir araya getirilmesi için kullanmıştır. Bu parametreler gaz yakıt çeşidi, motor yükü, sıkıştırma oranı, pilot yakıt enjeksiyon zamanı, pilot yakıt kütlesi ve motor hızını kapsamaktadır. Her çalışma koşulu verisini, maksimum basınç, maksimum basınç artış oranı, yanma gürültüsü oluşumu ve görülen basit efektif basınç için analiz etmiştir. Çevrim-çevrim değişme miktarını, basit anlamda standart sapma ve bu parametrelerin değişim katsayısı olarak ifade etmiştir. Gaz yakıt tipi ve motor çalışma ve tasarım parametrelerinin yanma gürültüsü ve çevrimsel değişme miktarı ve bunların etkilerine tesir ettiğini ortaya koymuştur.

Selim et al. (2004), Gaz yakıt karışımları için çift yakıtlı motorun yanma ve vuruşu sınırlarına duyarlılığı adlı çalışmalarında ikinci yakıt olarak metan, LPG ve CNG kullanmışlardır. Ricardo E6 dizel motorunu çift yakıtlı dizel motoruna dönüştürmüşlerdir. Silindir basıncı, krank açısı ve motor çalışma parametreleri bilgisayara kaydedilir hale getirilmiştir. Motor hızının, yükünün, pilot yakıt püskürtme açısının, pilot yakıt miktarının ve sıkıştırma oranının yanma gürültüsü, vuruşu, termik verim ve maksimum basınç üstündeki etkisi çift yakıtlı dizel motorda

üç gaz yakıt için ayrı ayrı incelenmiştir. Yanma gürültüsünün, vuruntu ve ateşleme sınırlılıklarının gaz çeşitleri, motor tasarımı ve çalışma parametreleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Chen et al. (2001), LPG yakıtlı, homojen ön karışım şarjlı sıkıştırma ateşlemeli motor üzerine yaptıkları çalışmalarında, sıkıştırma ateşlemeli bir motorda homojen LPG karışımı kullanmışlardır. Tutuşturma ve yanmayı kontrol etmek için küçük bir miktar DME (Di metil eter) LPG ile karıştırmışlardır. Yanma, motor performansı ve egzoz karakteristikleri üzerindeki deneysel ve analitik çalışmaları, CI (sıkıştırma ateşlemeli) motorlardaki LPG uygulamasını olasılıkları ve problemlerini araştırmak için gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda, uygun bir miktarda DME eklendiğinde motorun yüksek bir verimlilikle geniş bir yük aralığında çalıştırılabileceğini ve NO_x emisyonlarının sifıra yakın bir düzeye azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Çarman vd. (2001), dizel motorlarında dizel yakıtı + LPG kullanımının performans ve emisyon etkisi adlı deneysel çalışmalarında, dizel yakıtı ve ağırlıklı olarak %30 LPG ve %70 dizel yakıtının, performans ve emisyon parametrelerine etkisi incelemiştir. Bu amaçla tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoru LPG+Dizel yakıtı ile çalışabilecek şekilde modifiye etmişlerdir. Sonuçta çift yakıtlı çalışmada motor torku ve gücü %5,8 oranında arttığı, emisyonunda ise NO_x'te %5,9, is emisyonunda ise 1/9 oranında tek yakıtlı çalışmaya göre iyileşme olduğunu ortaya koymuşlardır.

Abd Alla et al. (1998), Esas yakıtın metan ya da propan ve pilot yakıtın dizel olduğu çift yakıtlı tek silindirli bölünmüş yanma odalı bir araştırma dizel motorunda (Ricardo E6) düşük yükte püskürtme avansının motor performansına etkisini araştırmışlardır. Gaz yakıt emme manifolduna gaz halinde dâhil edilmiş, pilot dizel yakıtı da sıkıştırma zamanında bilinen yöntemle püskürtülmüştür. Deneysel araştırma sonucunda pilot dizel yakıtının avansının artırılmasıyla hafif yüklerde termik verimin ve emisyonların iyileştirebildiğini tespit etmişlerdir.

Pirouzpanah et al. (1995), endüstriyel bir indirekt enjeksiyonlu dizel motorunun LPG ve dizel yakıtı yardımıyla çift yakıtlı hale getirilmesi adındaki deneysel çalışmalarında, geleneksel dizel yakıtı ile LPG yakıtının kısmi yer değiştirmesi için indirekt enjeksiyonlu bir dizel motoruna, dizel gazı karışımı yaklaşımını uygulamışlardır. Bu maksatla, karbüratörlü bir yakıt sistemini tasarlayarak motor emme manifolda üzerine yerleştirmişlerdir. Hem saf dizel hem de dizel LPG motorlarında tam yük koşullarında geniş ölçüde performans testleri gerçekleştirmişlerdir. Motorların eşit güç ve orantılı hızlarında çift yakıt içersindeki LPG miktarının arttırılmasının özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve isi düşürdüğü, ancak yanmamış HC ve CO gibi kirleticileri, silindir tepe basıncı ve basınç artış oranını yükselttiğini tespit etmişleridir.

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR

3.1. DİZEL MOTORLAR

Sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda, silindir içindeki yüksek basınç ve sıcaklıktaki hava içine püskürtülen yakıtın damlacıklara ayrılması, buharlaşması ve tutuşması ile yanma başlamakta ve difüzyon alevi (heterojen yanma) şeklinde devam etmektedir.

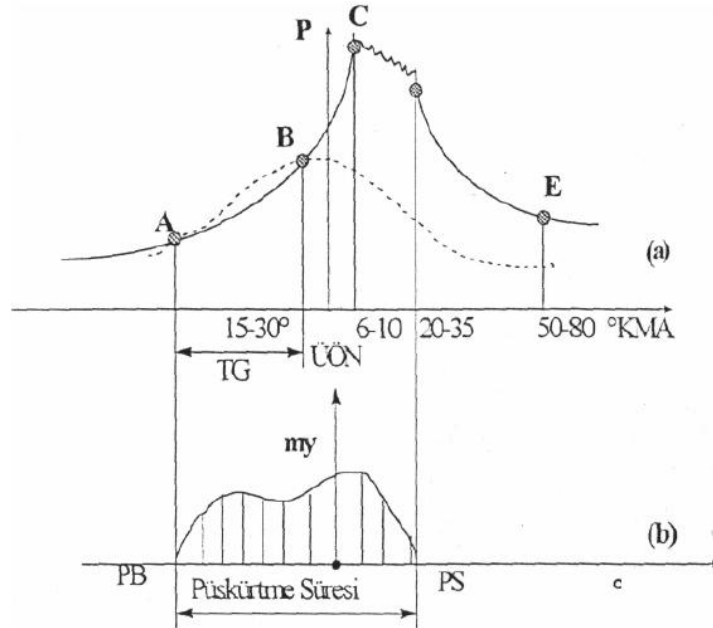
Dizel motorlar, yakıtın püskürtülmesi yönünden Direk Püskürtmeli Motorlar (Direct Injection Engine – DI) ve Endirekt Püskürtmeli Motorlar (Indirect Injection Engine – IDI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Endirekt püskürtmeli dizel motorlar, ön yanma odalı, hava huzmeli vb. gibi çeşitleri bulunmaktadır. Örneğin ön yanma odalı motorlarda bu oda dar bir geçit ile ana yanma odasına bağlanmaktadır. Sıkıştırma zamanı sırasında, silindirden ön yanma odasına doğru oluşan hava geçişi, ön yanma odasında yüksek derecede hava hareketi oluşturur. Bu hava hareketi yakıtın ön yanma odasına püskürtülmesi ile hava-yakıt karışımının çok hızlı oluşmasını sağlar ve yanma ön yanma odasında başlar. Ön yanma odasında meydana gelen yanmanın oluşturduğu yüksek basınç ve sıcaklık ile yanma ana yanma odasında devam eder. Direk püskürtmeli motorlarda ise yanma odası bölünmemiştir ve genel olarak piston yüzeyine açılmış bir oyuk bulunmaktadır. Bu oyuk iyi yanma için gerekli hava hareketlerinin oluşmasına kolaylık sağlamaktadır. Bazı motorlarda hava hareketlerini iyileştirmek için emme kanalına da helisel bir şekil verilmektedir. Emme esnasında helisel giriş kanallarından geçen hava dönme hareketi yapar ve bu hareket sıkıştırma sırasında piston üzerindeki oyuk tarafından kuvvetlendirilir. Yakıt enjektör vasıtasıyla yüksek basınç altında yanma odası içine püskürtülür ve yanma burada başlayarak devam eder (Tillem, 2005).

3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorlarında yanma ve egzoz emisyonlarının oluşumu fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir.

Dizel motorlarında yanma, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki tüm fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Dizel motorlarında yanma odası içerisinde homojen bir karışım yoktur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan yanma odasında sıkıştırma zamanında yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Bu ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır (Ünal, 2006).

Sekil 3.1(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Sekil 3.1(b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir.



Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri (Borat vd. 1994).

Şekilden de anlaşılacağı gibi dizel motorlarda yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir;

- Tutuşma Gecikmesi Periyodu (A-B)
- Ani Yanma Periyodu (B-C)
- Kontrollü Yanma Periyodu (C-D)
- Art Yanma Periyodu (D-E) (Borat vd. 1994).

3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu

Yakıtın püskürtülmeye başladığı an ile tutuşmaya başladığı an arasındaki safhadır. Püskürtülen yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini (TG) etkileyen en önemli etkenler; yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı tutuşma gecikmesini etkilemez. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir (Ünal, 2006; Borat vd. 1994).

3.2.2. Ani Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki basınç artış hızını (dp/dt) da belirler. Yüksek bir basınç artış hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması demek olacağından, bu parçalarda tahribata sebep olur. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilir. Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden tutuşma gecikmesidir (Ünal, 2006; Borat vd. 1994).

3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesinde püskürtülen yakıtın tamamen yanması ile bu safhaya geçilir. Ani yanma süresi sonundaki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Yanmaya hazır karışım miktarı ile yanma kontrol edilir. Bu safhadaki yanma hızı yakıt buharı ile havanın karışmasına bağlıdır. Verimin yüksek olması için yanmanın ÜÖN' ya mümkün olduğunca yakın tamamlanması istenir (Ünal, 2006).

3.2.4. Art Yanma Periyodu

Kontrollü yanma sonrasında silindir içinde bir miktar yakıt tam yakılamaz ve genişleme esnasında yakıtı yakacak hava girişiyle yanma devam eder. Motor veriminin yüksek olması için bu safhanın kısa olması istenir. Çok uzun art yanma silindir yüzeylerini, silindir kapağını ve piston başının aşırı ısınmasına, segman yuvalarında karbon ve yapışkan artıklar oluşmasına neden olur (Karasu ve Yelken, 1997; Bilginperk, 2003).

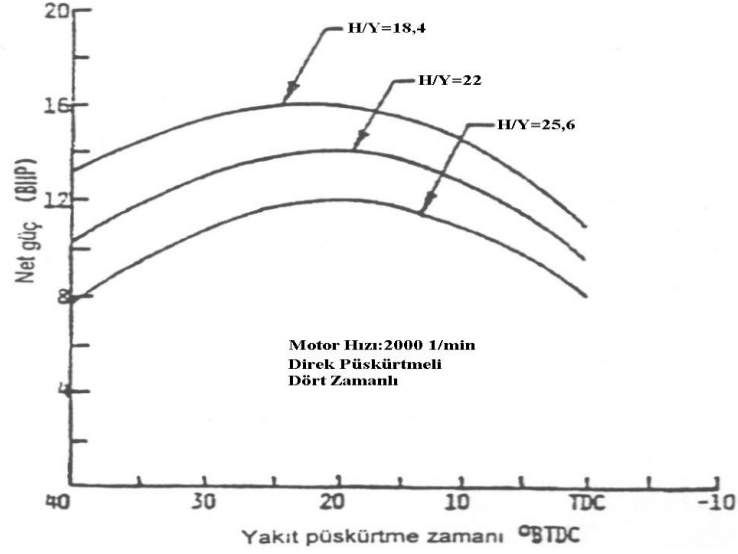
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi daha birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir (Aktaş ve Sekmen, 2007).

3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi

Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden birisidir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç artma hızını dolayısıyla yanma periyodunu doğrudan etkilemektedir.

Püskürtme avansının belirli noktaya kadar artması ile tutuşma gecikmesi kısılırken daha da artırılması tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır. Optimum püskürtme avansı ile motor performansı ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanabilmektedir (Karakuş, 2000; Kegl, 2006; Aktaş ve Sekmen, 2008). Şekil 3,2’de püskürtme avansının motor gücüne etkisi görülmektedir



Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi (Karakuş, 2000).

Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vuruntulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından NOx emisyonları artacaktır.

Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Ancak, yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma periyodunda yanacağından ve hacim genişlemesi nedeniyle yanma sonu maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşecektir. Ayrıca, silindir içi sıcaklıklar düşük olacağından NOx emisyonları azalacaktır (Topgül, 2000; Karakuş, 2000).

3.3.2. Karışım Oranının Etkisi

Dizel motorlarında yakıt; silindire sıvı olarak püskürtülür ve içeride buharlaşır. Dolayısıyla, buharlaşmanın bölgesel durumuna bağlı olarak, silindir içerisindeki Y/H oranları homojen bir dağılım göstermez. Sadece havanın bulunduğu noktalardan, sadece buharlaşmamış yakıt damlacığı bulunan noktalara kadar değişik Y/H oranları mevcuttur. Bu yüzden püskürtülen yakıt miktarından ziyade buharlaşan yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Yanma, en uygun Y/H oranlarının olduğu noktalardan başlar. Bu nedenle Y/H oranının TG üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Ancak, dolaylı olarak Y/H oranının azalması TG'nin artmasına yol açmaktadır. Yani TG'nin artması fakir karışımlarda açığa çıkan yanma ısısının ve buna bağlı olarak silindir cidar sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır. Y/H oranının en önemli etkisi emisyonlarda görülür. Tam yükte, Y/H oranı ayarlanırken duman sınırı esas alınır. Bu sınır değeri aşıldığı takdirde fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış olarak dışarı atılır. Dolayısıyla duman emisyonu artar (Sönmez, 2006).

3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi

Sıkıştırma oranının yükseltildiği durumlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncında artış olması sebebiyle dp/dt değerinin yükselmesi gerekirken yapılan deneysel çalışmalarda bu etkinin fazla olmadığı tespit edilmiştir (Sönmez, 2006).

3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi

Dizel motorlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı yüksek olduğundan püskürtülen çok az yakıt miktarı bile yüksek bir termik verimle yanmaktadır. Püskürtülen yakıtın enjeksiyon hızı yerine, püskürtme süresi değiştirildiği zaman kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt püskürtülmekte ve böylece yanmanın ikinci safhasında basınç değişim hızında (dp/dt) bir azalma görülmektedir (Karakuş, 2000).

3.3.5. Motor Devrinin Etkisi

Düşük motor devirlerinde TG süresince daha az yakıt birikeceğinden basınç artış hızı ve miktarı düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük devirlerde TG süresi aynı olmasına rağmen iyi bir türbülans sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı değişmeyeceği ve aynı sürede daha iyi bir karışım mümkün olacağından daha az etkili hava hareketi sağlayan motora nazaran sadece yakıt miktarının fazla olmasından dolayı dp/dt oranı daha yüksektir (Sönmez, 2006).

3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi

Karakuş (2000) tarafından yapılan çalışmada motora giren havanın basıncının yüksek olması tutuşma gecikmesini ve dp/dt oranını azaltmakta olduğu ve bu azalmanın temel olarak sıcaklık artışından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Giriş basıncı arttıkça dolgu miktarı da artacağından daha fazla yakıt enjekte edilerek motor gücünün arttırılabildiği, motor soğutma suyu sıcaklığı ve hava giriş sıcaklığının fazla olduğu durumlarda TG'si ve dp/dt oranında azalma olduğu, fakat hava miktarında da azalma olacağından maksimum gücün düştüğü belirtilmiştir.

3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi

Hava yerine sadece oksijen kullanmanın birim hacim basına açığa çıkan enerji miktarını yaklaşık beş kat arttırdığı, karışımdaki artan oksijen yüzdesi enerji açığa çıkma hızını arttırarak tutuşma gecikmesini azalttığı ortaya konmuştur.(Borat vd., 1994).

Sönmez (2006) tarafından yapılan deney sonuçlarına göre emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile motor performansları ve egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar elde edilmiş, emme havasının oksijence zenginleştirilmesiyle motor momentini ve gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir.

CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile ortalama %95,5 azaldığı görülmüş, buna karşın CO₂ emisyonunda artış tespit edilmiştir. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası oksijence zenginleştirildiğinde HC emisyonlarında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen yüzdesinin artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlendiğini gösterir.

Emme havasına oksijen ilave edilmekle yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte, bu ise silindir içi sıcaklığını arttırmakta ve NO_x emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı reaksiyonun is emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Sönmez, 2006).

3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi

Aşırı doldurma giriş basıncını olduğu kadar giriş sıcaklığını da artırır. Her iki artış da tutuşma gecikmesini azaltıcı yöndedir. Dolayısıyla aşırı doldurma, düşük basınç, yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı bakımından aynı motorun aşırı doldurmasız haline kıyasla daha olumlu sonuçları olduğu belirlenmiştir (Karakuş, 2000).

3.4. DİZEL YAKITI

Ham petrolün damıtılması esnasında 200–300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıttır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Mazot olarak tanımlanan yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan yakıtlar grubudur. Bu grup içerisinde, kullanım alanına bağlı olarak en ideal olan dizel motoru yakıt türü belirlenir (Yamık, 2002).

3.4.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir;

- No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Degisik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.
- No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.
- No.4-D: Damıtık ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır.

Çizelge 3.1'de dizel yakıtlarının özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler (Öz, 2003).

İstenilen Özellik	1	1D	2	2D	4	4D
Setan Sayısı, min.	–	40	–	40	–	30
Parlama Noktası, min. °C	38	38	38	52	55	55
Akma Noktası, max. °C	-18	–	-7	–	–	–
Viskozite, min-max. SU [s], 37.78[°C]	30 34	30 34	33 38	33 45	45 125	45 125
API min	35	–	30	–	–	–
ASTM damıtımı, 10% max[°C] 90% max(°C)	215,55 288	288	282 338	282 357	–	–
%10 artık içindeki c [kütl. %]	0.15	0.15	0.35	0.35	–	–
Kül [kütl. %]	–	0.01	–	0.02	0.10	0.10
Su + tortu [hac. %]	eser	Eser	0.10	0.10	0.50	0.50
Kükürt [kütl. %]	–	0.50	–	1.0	–	2.0

3.4.2. Dizel Yakıtının Özellikleri

Güvenlik, çevresel faktörler ve motor çeşitliliği gibi birçok neden, motorlarda kullanılan yakıtların belirli standartlarda üretilip kullanılmasını gerektirmektedir. Bu standartlar yakıt türlerine göre değişimler göstermektedir. Dizel yakıtının standartları Çizelge 3.2.'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları. (ASTM standardı)

ÖZELLİK	BİRİM	LİMİT	METOD
Yoğunluk	15°C kg/l	0,820 - 0,860	ASTM-D 1298
Alevlenme noktası	°C	55 (En düşük)	ASTM-D 93
Soğuk Filtre Tıkama Noktası, Kış/Yaz	°C	(-10 Enyüksek) / (+5 Enyüksek)	IP 309
Damıtma	Hacimde %		ASTM-D 86
İyileştirilmiş	250°C	(+65 Enyüksek)	
iyileştirilmiş	350°C	(+85 Enyüksek)	
İyileştirilmiş	370°C	(+95 Enyüksek)	
Kükürt	Ağırlıkça %	(+0,70 Enyüksek)	IP336 veya IP242
Karbon Tortusu	(%10 Tortuda) Ağırlıkça %	(+0,30 Enyüksek)	ASTM-D 524 veya ASTM-D 4530
Viskozite	40°C , cst	2,0 - 4,5	ASTM-D 445 veya ASTM-D 88
Bakır Çubuk Korozyonu	3h 50°C	No: 1 (En yüksek)	ASTM-D 130
Kül	Ağırlıkça %	(+0,01 Enyüksek)	ASTM-D 482
Setan İndeks	Hesaplanmış	(+46 Enyüksek)	ASTM-D 976
Su	mg/kg	(+200 Enyüksek)	ASTM-D 1744
Partiküller	mg/kg	(+24 Enyüksek)	IP 415
Oksidasyon Dengesi	g/m ³	(+25 Enyüksek)	ASTM-D 2274

3.4.2.1. Viskozite

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite; birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m² alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden birisi de kinematik viskozite kabiliyetidir (Altın, 1998).

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak da silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerreler ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir yanma oluşumu gerçekleşmektedir. Viskozitenin çok düşük olması durumunda ise püskürtme sisteminin farklı bölgelerinde kaçaklar oluşabilmektedir.

Viskozitenin büyük olması durumunda ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreler şeklinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamaz. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır. Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki ettiğinden, viskozite her zaman sıcaklıkla birlikte verilmelidir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50 °C' de 1,5–5 Engler derecesi olmalıdır. Viskoziteleri bu Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40–100 °C'a kadar ısıtılarak Kullanılırlar (Yamık, 2002).

3.4.2.2. Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değeri denir. Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütesinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir (Yamık, 2002).

3.4.2.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (Yamık, 2002).

Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızını da artırmaktadır (Heywood, 1988). Bu yüzden, yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanması egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, setan indeksi yüksek olan yakıtların emisyon değerlerinde olumlu sonuçlar alındığı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Aktaş ve Sekmen, 2007; Yiğit, 2008).

3.4.2.4. Akma Noktası

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçemeyerek motorun çalışmasını engelleyebilir. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve Degisik kimyasal maddeler katılmaktadır (Hacıkadıroglu, 2007).

3.4.2.5. Uçuculuk

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekme de, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için

gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 180°C–370°C arasında değişmektedir (Altın, 1998).

3.4.2.6. Parlama Tehlikesi

Bir yakıtın parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşması halindeki en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinde yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 K'dir (Ulusoy, 1999).

3.5. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Dizel motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar olarak; doğalgaz, LPG, ilave hidrojen, Biyodizel, bitkisel yağlar, etanol, metanol vb. gibi değişik alternatif yakıt türleri dizel motorlarda denenmektedir. Performans ve emisyon karakteristikleri bakımından iyileştirici sonuçların elde edildiği veya daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için gerekli çalışma ve müdahalelerin denemeleri her geçen gün devam etmektedir.

Dizel motorlar için günümüz motor teknolojisine uyum sağlayabilecek dizel yakıtın alternatifi olabilecek yakıtlar üzerinde çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Yanma özellikleri iyi, kirletici özellikleri az olan alternatif dizel motor yakıtı, çalışmalarda temel kıstas olarak göze çarpmaktadır. Alternatif yakıtların bazıları tamamen dizel motoru yanma prensibine uyum sağlamaması nedeniyle çift yakıt motorları şeklinde kullanılabilirler. Dizel motorlarda mevcut motor düzeninin bozulmadan en iyi ve verimli kullanılabilen alternatif yakıt, biyodizeldir. Bunun yanı sıra birçok alternatif yakıt da dizel motorlar için denenmiştir.

3.5.1. Doğalgaz

Doğalgaz renksiz, kokusuz, yanarken duman çıkarmayan ve çeşitli gazların bir karışımıdır, en önemli oranı da, gazın geldiği bölgeye bağlı olarak, toplam hacimse %80'den %98'e varan karışımlarla, metan gazı teşkil eder. Diğer bölümü ise etan, propan, bütan, azot, pentan ve karbondioksitten oluşmaktadır (Papagiannakis and Hountalas, 2004).

Doğalgazda yüksek oktan sayısına sahiptir ve benzin motorlarıyla karşılaştırıldığında, ısıl verimliliği % 10 civarında daha fazladır. Bu her iki özelliği de, doğalgazla çalışan araçların iyi bir kalkış yapmasına ve sessiz çalışmasına olanak sağlar. Diğer motorlarla karşılaştırıldığında gürültü emisyonlarında % 30 oranında azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Yanma veriminin yüksekliği ve kimyasal yapısının basitliği aynı zamanda motorda temiz bir yanma gerçekleşmesini de sağlar. Böylelikle araç motoru daha az yıpranmış olur ve bakım giderlerinde ciddi miktarlarda tasarruf sağlanmış olur (örneğin, yağ değişiminde 35.000-40.000 km'ye kadar olanak tanır) (Tekiner, 2006).

Doğalgaz yakıt zinciri boyunca doğalgaz sızıntıları sırasında atmosfere karışan hidrokarbonlar sayılmazsa ana kaynaktan tüketim noktasına gelene kadar düşük emisyon değerlerine sahiptir. Bunun yanı sıra doğalgazın araçlarda kullanılması ile NOx emisyonlarını % 90, CO emisyonlarını % 25 oranında düşürmek mümkün olmaktadır. Kapalı alanlarda ufakta olsa bir patlama riski taşısa da, havadan hafif olması özelliği herhangi bir sızıntı anında dahi doğalgazın bulunduğu ortamı hemen terk etmesine olanak sağlar (Tekiner, 2006).

Doğalgaz çevre koşulları altında nispeten düşük bir enerji içeriğine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı genellikle 200–250 bar basınç aralığında sıkıştırılmış olarak depolanır. Doğalgazın bu şekildeki kullanımını CNG (Compressed Natural Gas) adını almaktadır.

Gazın sıkıştırılması yöntemi daha verimli ve daha yaygın olsa da sıvı formda da doğalgazı depolamak ve sonra araçlarda kullanmak mümkündür. Doğalgazın bu türlü kullanımı LNG (Liquified Natural Gas) adını almaktadır.

CNG genellikle hafif araçlar ve kısa menziller için uygun olmakla beraber LNG daha fazla yakıt tüketimine neden olan ağır araçlar ve daha uzun menziller için uygun olmaktadır. LNG çok düşük sıcaklıklarda depolanması gerektiği için araçlarda yakıt tankları çok iyi izole edilmiş olması gerekir. Bu özelliğinden dolayı LNG depolama ve kullanım sorunları yaratmaktadır (Tekiner, 2006).

Doğalgazın dizel motorlarda kullanılması ve düzgün bir yanmanın gerçekleştirilmesi için motor üzerinde bir takım modifikasyonların yapılması gerekmektedir. Bir dizel motorunu CNG ile çalıştırmanın iki temel yolu vardır. Bunlardan ilki motorun sıkıştırma oranını azaltmak ve bir ateşleme tertibatı tesis etmektir. Böyle bir dönüşüm sonunda kullanılan tek yakıt doğalgaz olacaktır. Bir diğeri ise hem dizel yakıtın hem de doğalgazın motorda belli karışım oranında kullanıldığı çift yakıtlı (Dual-Fuel) çözümlerdir. Bu uygulama tekniğinde doğalgaz %80-85 mertebelere kadar dizel yakıtın yerini almakta yani motorda bu oranda doğalgaz tüketilmektedir. Geri kalan %15-20 enerji ihtiyacı, araç ilk çalıştırma veya rölantide iken veya ön püskürtme sırasında harcadığı dizel yakıt sayesinde sağlanır (Tekiner, 2006).

Doğalgazın dizel motorda tek yakıt olarak kullanıldığı çözüm optimum güç eldesi ve emisyon değerleri bakımından olumlu sonuç verse de, motor üzerine bir ateşleme sisteminin oluşturulmasını gerektirmektedir. Ateşleme sistemi doğalgazın ilk alev almasını kolaylaştırmak için oluşturulmaktadır. Ayrıca motorun sıkıştırma oranı da düşürülmelidir. Çünkü hava ve yakıt karışımı 11,5:1 sıkıştırma oranının üzerine sıkıştırılırsa kıvılcımla tutuşturma yöntemi yakıtı ateşlemede başarılı olamaz. Bu sebepten ötürü kıvılcım ile ateşlemeli doğalgaz motorları güç ve verimi sağlayan yüksek sıkıştırma oranlarını kullanamaz. Ayrıca bu sistemler hava kelebekli bir emme sisteminin tesis edilmesini de gerektirir (Tekiner, 2006).

Dual-Fuel teknolojisi ise daha iyi çözümler sunmaktadır. Dizel motorun normal şartlar altında sıkıştırma oranı olan yaklaşık 16:1 sıkıştırma oranında kullanılabilir.

Ufak miktarlarda gerçekleştirilen dizel yakıt enjeksiyonunu ateşlemenin kaynağı olarak doğalgaz ile çalışmayı sağlayabilir. Bu uygulamada belli bir miktar doğalgaz silindire girmeden önce hava ile karıştırılır. Bu fakir hava-yakıt karışımı daha sonra motorun verimliliğini koruyarak aynı sıkıştırma oranına kadar sıkıştırılır. Silindir içerisinde sıkıştırılan hava, yakıtın kendiliğinden alev almasını sağlayacak kadar ısınmadığından dolayı, yani doğalgazın sıkıştırma ile olan tutuşmaya direncinden dolayı (doğalgazın kendiliğinden alev alma sıcaklığı dizel yakıtından yüksektir) doğalgaz karışımı sıkıştırma altında hemen alev almaz. Bunun yerine, bu yakıt hava karışımını tutuşturmak için toplam enerji miktarının %10'u kadarlık bir dizel yakıtının pilot püskürtülmesi (sıkıştırma zamanından önce ön püskürtme) gerçekleştirilir. Bu yöntem sonucunda yaklaşık olarak %90 oranında dizel yakıtın yerini alan doğalgaz tüketilmiş olsa da, yanma sonucunda orijinal dizel motorundan elde edilebilecek verimlilik ve güç elde edilebilmektedir. Motor ilk çalıştırma anında dizel ile çalışmakta iken optimum devir sayısı olan 1500-2000 devirden sonra doğalgaza geçmektedir. Bu yöntem sayesinde dizel yakıttan önemli miktarlarda kazanç elde edilmiş olur (Tekiner, 2006).

3.5.2. LPG

LPG ticari propan ve ticari bütanın genel adıdır. Petrol ve gaz endüstrisinde üretilen hidrokarbon ürünüdür. Çoğunlukla propan üç karbon atomu içeren hidrokarbonlardan, ticari bütan ise dört karbon atomu içeren hidrokarbonlardan oluşmaktadır.

LPG Türkiye'de daha çok mutfaklarda, ısınma, aydınlatma ve sanayinin birçok alanlarında, dünyada ve özellikle ABD, Japonya ve AB ülkelerinde otomotiv sektöründe araçlara enerji elde etmede, havalandırma cihazlarının çalıştırılmasında ve petrol kuyuları sondaş donanımlarına güç elde etmede gibi daha birçok alanda kullanılır. LPG; Propan (C_3H_8) ve Bütan (C_4H_{10})'ın belli oranlardaki karışımından oluşan ve Liquefied Petroleum Gases kelimelerin bas harfleri ile ifade edilen sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Dünyadaki LPG üretimin %61 'i doğalgaz, %39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir.(Yiğit, 2008).

LPG kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre avantajları şunlardır (Yiğit,2008);

- Benzinli ve dizel araçlara göre daha ekonomiktir. LPG, benzin ve motorinden litre fiyatı olarak oldukça ucuzdur.
- LPG içersinde kursun, vernik ya da karbon atığı çıkarmadığı için motor yanma odası ve karterini kirletmez.
- Otomobil üzerinde kullanılan orijinal yakıt sistemi arızalarını azaltır.
- Ateşleme bujisinin ömrü uzun olur.
- Motorun yağlaması için kullanılan yağın ömrü yaklaşık 3 kat uzun olur.
- Tamamen kapalı bir sistem olduğu için çevreyi kirletmez. Akma ve buharlaşma yapmaz.
- Yakıt olarak kullanılmadan önce çok az rafine edilmektedir.
- Egzoz borusu ve susturucuların ömrü uzun olmaktadır.
- Egzoz emisyonları açısından daha çevrecidir.
- LPG renksiz, kokusuz ve toksit özelliği bulunmayan bir maddedir. Gaz kaçağının tespit edilmesi için sonradan kokulandırılmaktadır. Sıvı halde suya benzer.
- LPG basınç altında depolanabilir, kalın çelik tank ya da borularla taşınabilir.

LPG kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre dezavantajları şunlardır (Yiğit,2008);

- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kapladığı için bagaj hacmini küçültür.
- Uzun atmosferik süreklilikten dolayı sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından karbondioksit oranla 20 kez daha etkilidir.
- NOx emisyon problemleri olabilmektedir.
- LPG sistemi ekstra yapım maliyeti getirmektedir.
- Karakteristik özelliklerine bağlı olarak motor performansı bir miktar düşmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır. Havalandırma gerçekleştirilmez ise tehlike yaratabilir.
- LPG zehirli değildir. Ancak miktarı fazlaştıkça boğuculuk etkisi ortaya çıkar.
- Düşük sıcaklıkta buharlaşması nedeniyle sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıkları oluşur.

- Isı arttıkça basıncı artarak kritik bir sıcaklık ve basınçta içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olabilir.

Dizel motorlarda LPG kullanımını açısından yapılan çalışmalarda, LPG'nin HC ve NOx emisyonları hariç, motor performansı ve emisyon ölçümlerinde olumlu derecede iyileştirmelere yol açtığı deneysel olarak belirlenmiştir (Aktaş, 2010; Yiğit, 2008).

3.5.3. Bitkisel Yağlar

Bitkisel yağların dizel motorlarında ilk kullanım çalışmaları 1900'lü yıllarda Rudolf Diesel tarafından yapılmıştır. Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak kullanımı genel olarak petrol yakıtlarda yaşanan sıkıntılarla düşünülmüştür.

Bitkisel yağlar, kanola, soya, keten, ay çekirdeği, aspir ve mısır gibi yenilenebilir bitkilerden elde edilmektedir. Bitkisel yağların az oranda sülfür içermeleri, yapılarında oksijen bulunması, setan sayılarının yüksek olması ve yanmaları sonucunda daha az zararlı emisyon yaymaları, onların özellikle dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıt olabileceklerini göstermektedir (Çanakçı and Gerpen, 1999; Çanakçı and Gerpen, 2001; He, 2003; Ramadhas, 2004; Huzayyin, 2004; Rakopoulos, 2006; Gerpen et al, 2007).

Ayrıca, daha yüksek parlama noktasına ve daha iyi yağlama özelliğine sahip olmaları da olumlu özelliklerindedir (Yori, 2007).

Bitkisel yağlar, yüksek viskozite ve düşük uçuculuk özelliğine sahip yakıtlardır. Bitkisel yağların bu özellikleri dizel motorlarda kullanımını olumsuz yönde etkiler. Yüksek viskozite motor yakıt sisteminin ve filtresinin tıkanmasına, enjektör açılma basıncının yükselmesine, kötü atomizasyona (Nwafor, 1996; Karaosmanoğlu, 1999; Demirbaş, 2003; Demirbaş, 2007; Çanakçı, 2007) ve yanma sürelerinin petrol kökenli yakıtlara göre daha uzun olmasına sebep olmaktadır (Varde, 1982; Baranescu, 1982).

Bitkisel yağlar, çözücü özelliği, uzun süre depolanamaması, soğukta filtre tıkanması, bazı kauçuk ve metal malzemelere zarar vermesi ve yağlama yağını inceltmesi gibi diğer olumsuz özellikleri nedeniyle saf olarak ve uzun süre kullanılması tavsiye edilmemektedir (Gerpen et al, 2007).

Bitkisel yağların tüm bu olumsuz özellikleri nedeniyle birçok ülkede saf olarak kullanılmamakta, dizel yakıt karışımlarıyla ya da yakıt iyileştirme yöntemleriyle özelliğinin dizel yakıtına yakınlaştırılmasıyla tüketilmektedir (Romano, 1982; Nwafor, 1982; Çanakçı, 2006; D'Ippolito, 2007; Ramadhas, 2007).

3.5.4. Biyodizel

Biyodizel yağlı tohumu sahip bitkilerin tohumlarından, hayvansal yağlardan ve kullanılmış evsel yağlardan elde edilebilen yağ bazlı bir yakıttır. Biyolojik yapıya sahip oluşu kullanım sonrası oluşan atıkların doğada daha hızlı bir şekilde yok olmasını sağlaması yönünde oldukça çevreci bir yakıt olarak da bilinir. Bitkisel yağların yakıt iyileştirme çalışmaları sonrası elde edilen bir üründür. Bitkisel yağlara oranla viskozitesi dizel viskozitesine daha yakındır ve öz içerik olarak setan indeksi yüksekliğiyle daha iyi bir yanma sağladığı bilinmektedir (Yiğit, 2008).

Biyodizel kullanımının, bitkisel yağların dizel motorlarda kullanımıyla karşılaşılan yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme neden olmadığı, ayrıca biyodizelin motor üzerinde teknik bir değişim olmadan kullanılabilmesi, emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgenmesi ve dolmuş sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur (Ulusoy ve Alibas, 2002). Biyodizel dizel motorlarında saf halde kullanılabilmesi gibi dizel yakıtıyla karıştırılarak da kullanılabilir. B2'nin (%2 biyodizel + %98 dizel) yakıtın yağlama özelliğini iyileştirdiği ve B20'nin (%20 biyodizel + %80 dizel) ise hem yakıtın yağlama özelliğini iyileştirdiği hem de motor emisyonlarını azalttığı belirtilmiştir (Gerpen et al, 2007). Biyodizel; düşük emisyon ve araçlarda kullanım olumsuzluklarının azlığı gibi birçok avantajla günümüzün önemli alternatif enerji kaynaklarından sayılmaktadır.

BÖLÜM 4

LPG'NİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin ihmal edilemez düzeyde olduğu bilinmektedir. Taşıtların egzozlarından çıkan karbon monoksit, hidrokarbon, azot bileşikleri ve parçacıkların meydana getirdiği çevre sorunları ciddi boyutlara ulaşmıştır. Gaz yakıtlar, karışımın oluşturulması, dağıtımın ateşlenmesi ve yanması kontrolüne en az zorluk gösteren yakıtlardır. Egzoz emisyonları bakımından daha az kirlletici olmaları sebebiyle ideal yakıtlar olarak bilinirler.

Kısa vadede alternatif yakıtlar olarak; LPG, Alkoller ve CNG, 2010 yılı sonrası için; hidrojen, biokütle, yakıt hücresi gibi yakıtlar gündemdedir (Çelik ve Akay 2000, Polat 1999, Acaroğlu 2003).

4.1. GAZ YAKITLAR

Motorlu taşıtların hızla gelişimi ve petrol ürünü yakıtlara bağımlılığı araştırmacıları, doğada doğal olarak bulunan veya değişik metotlarla elde edilebilecek alternatif yakıtları bulma, geliştirme ve deneme çalışmaları yapmaya zorlamıştır. Bu amaçla motorlarda denenilen ve kullanılan alternatif yakıtlardan bir bölümünü de gaz yakıtlar oluşturmaktadır. Motorlu taşıtlarda kullanılan gaz yakıtlar, yapı ve özellikleri bakımından iki halde bulunurlar (İçingür 1994):

- Daimi gazlar
- Sıvılaştırılmış gazlar

4.1.1 Daimi Gazlar

Çok yüksek basınçta bile sıvı hale geçmeyen, daimi gaz fazında olan gazlardır. Doğalgaz, Metan gazı, Hava gazı doğalgazlar sınıfındandır. Bu gazların depolanarak kullanılması yüksek maliyetler gerektirdiğinden boru hat sistemleri döşenerek kullanılmaktadırlar.

4.1.2. Sıvılaştırılmış Gazlar

Belirli basınç ve sıcaklıkta gaz halinden sıvı haline veya sıvı halden gaz haline dönüşen gazlardır. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı olarak adlandırılan LPG, propan ve bütan karışımından meydana gelmektedir. (<http://web.ttnet.net.tr/users/grupgas/urun1.htm>). Sıvılaştırılmış ve daimi gazlara ait karşılaştırmalı özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sıvılaştırılmış ve daimi gazlara ait karşılaştırmalı özellikler (İçingür, 1994)

Özellikleri	Sıvılaştırılmış gazlar			Daimi gazlar	
	Propan	Bütan	Propan(%50) Bütan(%50)	Motor Metanı	Hava Gazı
Gazın Özgül Ağırlığı 15°C de (kg/m ³)	1,81	2,38	2,06	0,915	0,6
Sıvının Özgül Ağırlığı 15°C de (kg/L)	0,51	0,58	0,54	–	–
Isı Değeri (kJ/m ³)	83580	108780	94929	42000	21000
Oktan Sayısı	126	95	80	100	90
1 kg gaz yakıtın ısı değerine karşılık gelen eden benzin miktarı	1,4 - 1,81			0,46 - 0,551	

SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI

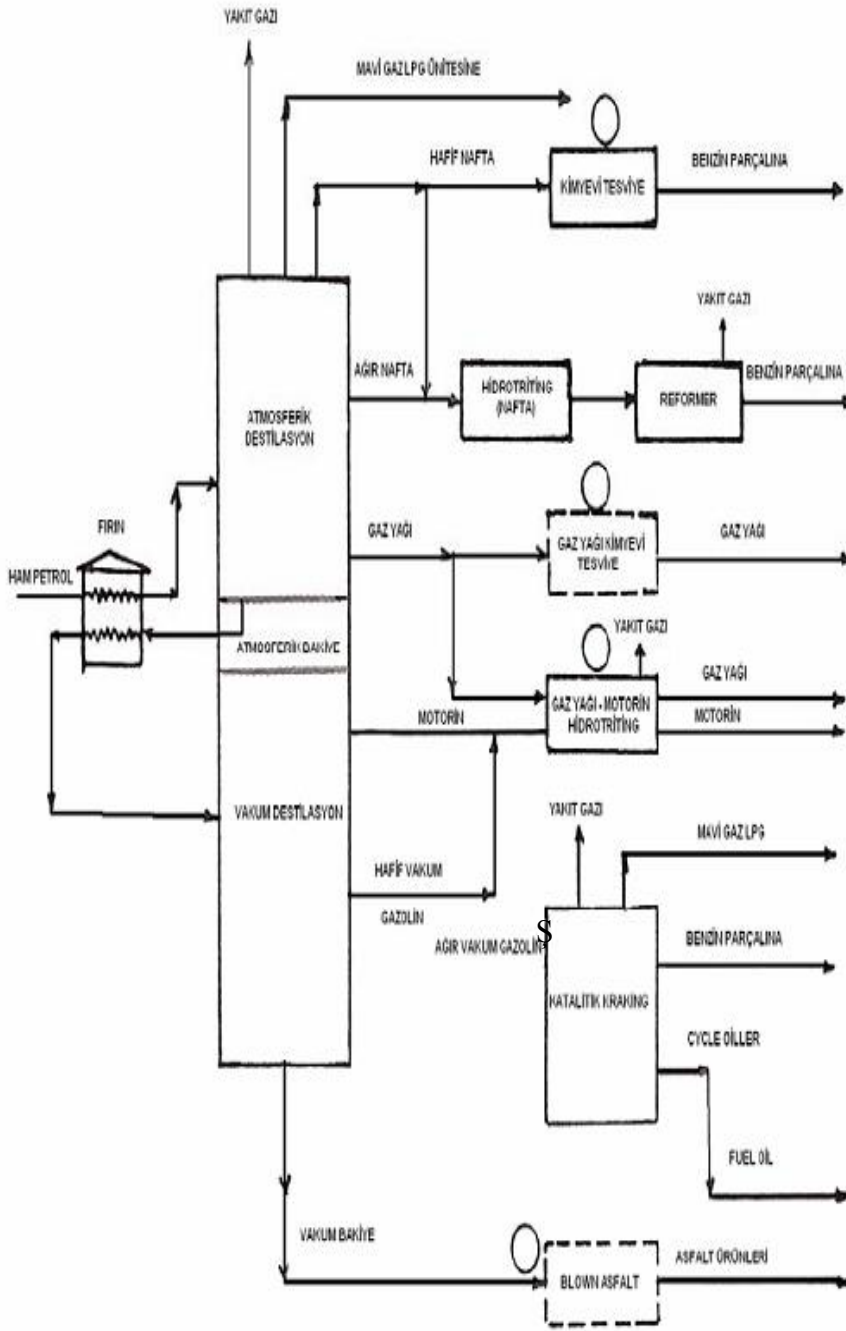
4.1.1. LPG'nin Elde Edilmesi

LPG doğalgaz kuyuları ve ham petrol rafinerileri olmak üzere iki ana kaynaktan elde edilir. Ham Petrolün distilasyonu ile elde edilen LPG, sudan arıtılır ve içerdiği kükürt miktarı standartlara uygun sınıra indirilir. Kokusuz olan LPG, etilmerkaptan (C_2H_5SH) ile kokulandırılır. Oda sıcaklığı ve 1 atm basınçta gaz halinde olup, basınç uygulandığında sıvılaőrır.

Sıvılaőrınca hacmi azaldığından taşıma, depolama ve ölçme işlemleri sıvı haldeyken yapılır. Basınç düşürüldüğünde ve çevreden aldığı ısı ile gaz haline dönüşür ve gaz halindeyken kullanılır.

LPG, benzinden daha ucuz olarak piyasaya arz edilmektedir. Taşıtlarda LPG kullanımının benzine göre % 50 daha ucuz olduğu ifade edilmektedir. Taşıtlarda LPG ve benzin kullanım miktarları, araçtan araca ve mevsimlere göre değişiklik arz etmektedir (Anonim 2002).

LPG, tüplü olarak konutlarda ve endüstriyel işletmelerde kullanılır. LPG, dökme olarak da yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Endüstride sıcak su ve buhar üretiminde, ısıl işlemlerde, kurutma, lehimleme, kesme gibi çeşitli proseslerde kullanılabilir (<http://www.aygaz.com.tr>).



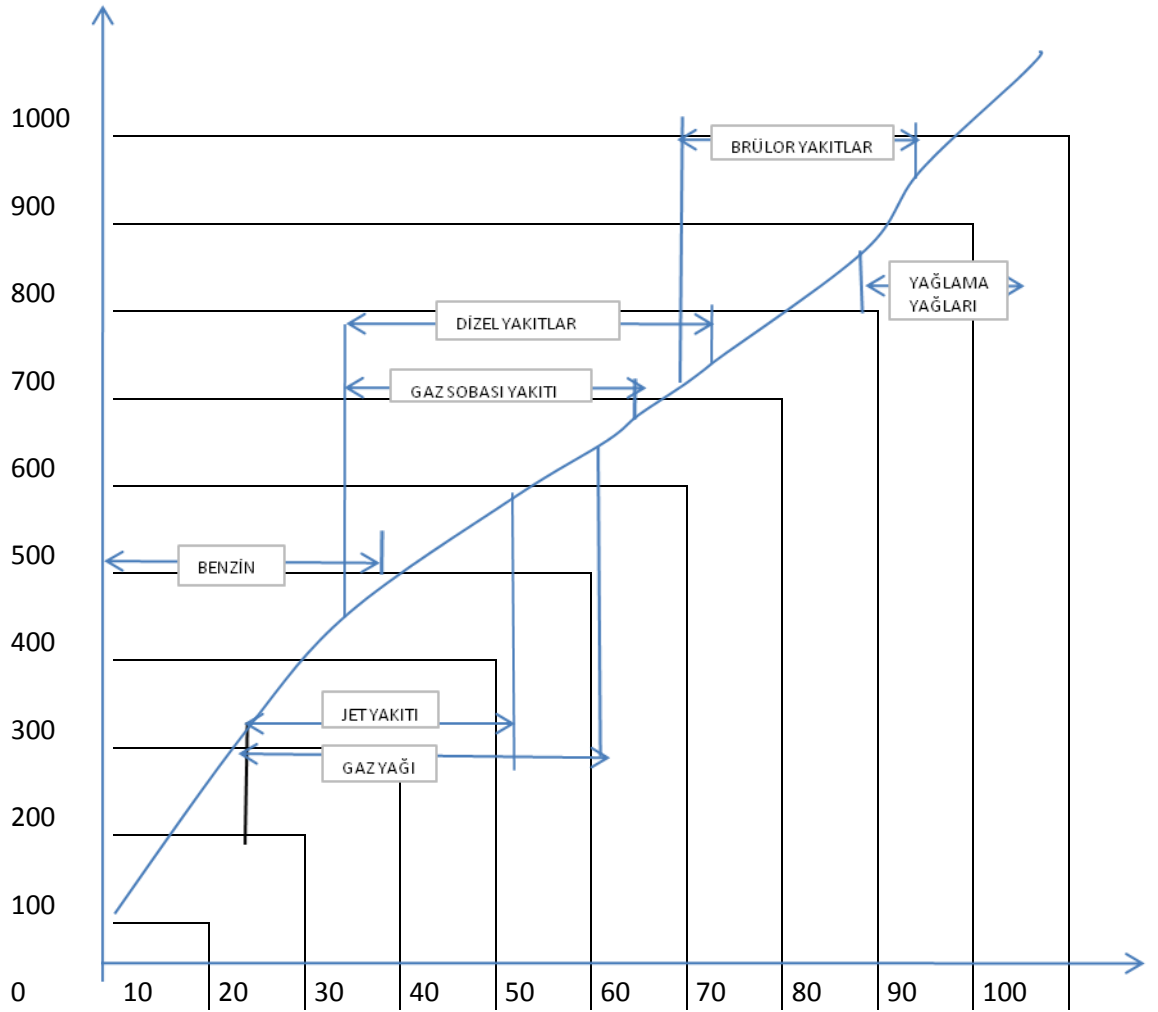
Şekil 4.1. Reforming ihtiva eden kraking tipi rafineri (Anonim 2001)

Sıvılaştırılmış petrol gazının molekülleri, benzin moleküllerinden daha küçüktür. Bu özelliğinden, sıvılaştırılmış petrol gazı normal atmosfer basınç ve sıcaklığında gaz halinde, benzin ise sıvı haldedir. Petrolün rafineri işleminde açığa çıkan ve hidrokarbon serisini oluşturan gözlemlere ait özellikler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Petrol rafineri işleminde açığa çıkan ürünlerin hidrokarbon serisi (Anonim 2003)

Gaz	Formül	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Kullanış Şekli
Metan	CH ₄	-162	0,554	Doğalgaz
Etan	C ₂ H ₆	-89	1,038	Doğalgaz
Propan	C ₃ H ₈	-42	1,52	LPG
İzobütan	C ₄ H ₁₀	-12	2,006	LPG
Bütan	C ₄ H ₁₀	-0,5	2,006	LPG
Pentan	C ₅ H ₁₂	36	2,491	Benzin sınırı

Petrolün rafineri işlemi sırasında ilk açığa çıkan ürün LPG'dir. İşlenen petrolün % 4'ü LPG'ye dönüşür (Ayhaner 1995).



Şekil 4.2. Destilasyonla elde edilen ürünlerin yüzdesi (Anonim 2001)

Sıvılaştırılmış petrol gazının özelliği ve kalitesi içerisindeki propan ve bütan oranına göre değişmektedir. Yakıt içerisindeki propan ve bütan miktarları üretildikleri ülke iklim şartlarına ve kullanım yerlerine göre değişir.

Türkiye’de TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde üretilen LPG yakıtının analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Türkiye TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde üretilen LPG yakıtının analiz sonuçları (Anonim 1996)

LPG ANALİZ SONUÇLARI	LPG ANALİZ SONUÇLARI	LPG ANALİZ SONUÇLARI
İçindekiler	1. Numune	2. Numune
C1 (Metan)	0,03	0,01
C2 (Metan)	3,78	5,63
C3 (Metan)	32,93	30,19
Propilen	0,06	0,04
IC4 (İzobütan)	23,29	21,67
nC4 (N.Bütan)	35,43	35,57
ISO Bütülen	0,06	0
1 Bütan (Normal)	0,18	0,12
Trans 2 Bütan	0,04	0,03
IC5 (İzoheptan)	3,45	5,9
Cis 2 Bütan	0,03	0,04
nC5 (N. Heptan)	0,72	0,8
Yoğunluk	0,553	0,553
Kükürt (mg/m3)	20 - 100	20 - 100

4.1.2. LPG’nin Çeşitleri

Türk Standartları Enstitüsüne göre, ülkemiz iklim ve kullanım şartlarına göre üretilen LPG yakıtı bileşiminde bulunması gereken ana hidrokarbon oranına göre dört gruba ayrılmıştır. Sınıflandırılması yapılan gazlara ait özellikler Çizelge 4.4.’de verilmiştir.

4.2.2.1 Ticari Propan

Esas olan propan ve propilenden meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu yüksek olan bir hidrokarbondur. Soğuk iklimli bölgelerde

daha homojen bir karışım oluşturur. Evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı yerlerde kullanılan ticari propan, kütlece % 95 saflıktadır.

Çizelge 4.4. LPG'nin yaklaşık özellikleri (TSE 1991, Anonim 1998)

ÖZELLİKLER	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN	TİCARİ PROPAN TİCARİ BÜTAN KARIŞIMI	ÖZEL HİZMET PROPANI
Buhar Basıncı, en yüksek, kPa				
200C	930	103		950
400C	1550	285	1-)	1550
450C	1720	245		1720
550C	2070	462		2070
Uçucu Kalıntı : % 95' inin buharlaştığı Sıcaklık, en yüksek °C	-38,3	2,2	2,2	-38,3
Bütan veya daha Ağır Moleküllü Ürün % Hacimce en çok	2,5	*****	*****	2,5
Pentan veya daha Ağır Moleküllü Ürün % Hacimce en çok	*****	2	2	*****
Propilen Miktarı, % hacimce en çok	*****	*****	*****	5
Artık Miktarı: 100 ml Numunenin Buharlaştırılmasıyla, ml, en çok	0,05	0,05	0,05	0,05
Sıvı Haldeki LPG'nin Nisbi Yoğunluğu (Suya Göre) (15,6 / 15,6 °C)	0,592 (2)	0,592 (2)	0,547 Minimum 0,573 Maksimum	0,509 (3)
Sıvı Haldeki LPG'nin 1 m ³ ' ünün Kütlesi (15,6 0C), kg	509	582	*****	509 (3)
Gaz Haldeki LPG'nin Nisbi Yoğunluğu (Havaya Göre) (15,6 °C)	1,52 (2)	2,01 (2)	*****	1,52
Tutuşma Sıcaklığı (Havada) °C	493 – 549	482 – 538	*****	493 - 549
Buharlaşmadan sonraki toplam ısıtma Değeri: a) kj / m ³ (Gaz Fazında) b) kj / m ³ (Sıvı Fazında) c) kj / l (Sıvı Fazında)	93470 (2) 50020 (2) 25430 (2)	121280 (2) 49140 (2) 28100 (2)	***** ***** *****	93470 (3) 50020 (3) 25430 (3)
Korozyon (Bakır şerit üzerinde en çok)	No.1	No.1	No.1	No.1
Kükürt, mg / kg, Kütlece en çok	185	140	140	123
Rutubet Miktarı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı
Serbest Su Miktarı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı
(1) – Ticari Propan – Bütan karışımının buhar basıncı 1430 kPa'ı geçmemelidir. Bu değer ayrıca gözlenen buhar basıncı ile deneyde elde edilen nisbi yoğunluk arasında aşağıdaki ile hesaplanan değerden fazlası olmamalıdır. Buhar Basıncı (en çok) = 1167 – 1880 kPa (15,6 °C sıcaklıkta nisbi yoğunluk) (2) Tolerans ± % 5 'dir. (3) Tolerans ± % 2 'dir.				

4.2.2.2. Ticari Bütan

Esas olarak bütan ve bütileden meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu düşük olan bir hidrokarbondur. Ilıman iklimli bölgelerde yakıt olarak kullanılan ticari bütan kütlece % 95 saflıktadır (TSE 1991).

4.2.2.3. Ticari Propan – Bütan Karışımı

Ticari propan – bütan karışımının uçuculuğu orta seviyededir. Karışım oranları geniş aralıklarda olabileceğinden belirli ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte yakıt elde edilmesi mümkündür. Bu karışım evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımlarda geniş bir alanda uygulanır. Türkiye’de TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde LPG ürünü % 30 propan / % 70 bütan olarak üretilmekte, ancak propan artırıcı yönde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır (TSE 1991).

4.2.2.4. Özel Hizmet Propanı

Propandan meydana gelen, içten yanmalı motorlarda vuruntusuz çalışmayı sağlayan hidrokarbondur. Kütlece % 98 saflıktadır. Orta süratte ve vuruntusuz çalışması gereken içten yanmalı motorlar için elde edilen özel sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır (TSE 1991).

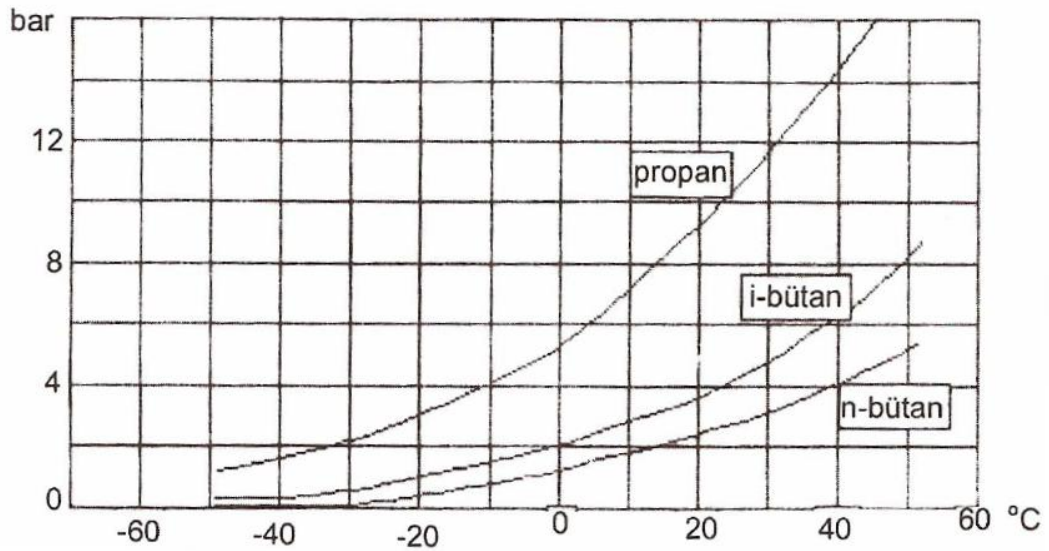
4.2.3. LPG'nin Özellikleri

- Havadan ağırdır. Bu sebepten dolayı zemine çökerek yayılma ve havasızlıktan boğulmaya sebep olur.
- Renksiz ve kokusuzdur.
- Parlayıcı ve patlayıcıdır.
- Benzine göre buhar basıncı yüksektir.
- % 100 temiz yanar. Kurum bırakmaz.
- Sıvı haldeki LPG, deri temasında soğuk yanmaya sebep olur.
- Bileşiminde asgari miktarda kükürt ihtiva eder. (20 – 100 mg/m³)

- Silindir içinde daha homojen bir yakıt - hava karışımı sağlar.
- Atmosferik basınçta propan – 43°C, bütan 0°C sıcaklıkta sıvı fazına geçer.
- LPG'nin kısa sürede ve düşük oranda solunması, insanlarda zehirlenme belirtisi göstermez (Ayhaner, 1995; İçingür, 1994; Anonim, 2001).

4.2.4. Buhar Basınç Eğrisi

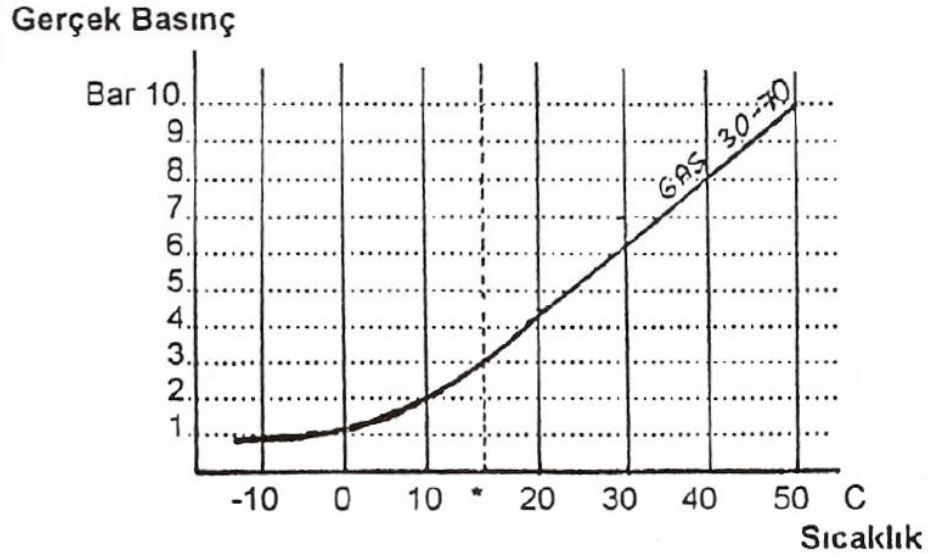
Bütan ve propanın belirleyici özelliklerinden biri de buhar basıncıdır. Yani, sıvının kapalı hacimdeki buhar ile dengede olduğu basınçtır. LPG Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi, buhar basınç eğrisi altındaki şartlarda (basınç, sıcaklık) gaz halindedir. Bu eğrinin üzerindeki şartlarda sıvı halindedir (İçingür 1994).



Şekil 4.3. Propan, normal bütan ve izobütanın sıcaklığa bağlı buharlaşma basınç değişimi (Acaroğlu, 2003)

Buhar basınç eğrisine göre bütanın 0°C de ki buhar basıncı 0,0005 bar ve 15 °C'de 0,8 bar; propanın aynı derecelerdeki buhar basıncı sırasıyla 4 bar ve 6,5 bar'dır. Bu nedenle propan ve bütan karışımının oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur. Isı arttıkça basınç artar ve LPG'nin sıvı halindeki hacminde büyük değişikliklere neden olur. Basınç çok artarsa içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olur. Tank hiçbir zaman LPG ile tam doldurulmamalıdır (Lovato, 1999).

Propan ve bütan arasındaki diğer ayırıcı özellik ise kaynama noktasıdır. Propanın -43°C de gaz faza geçmesi durup, sıvı fazda kalırken, bu olay bütanda 0°C'dir. Özellikler soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımların gereksinimini ortaya çıkarır. Böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaşır. Türkiye'de hava ısısı bölgeden bölgeye değiştiğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının da tüm koşullarda uygun olacak şekilde ayarlanması gerekir.(Şekil 4.4.)



Şekil 4.4. Propan – bütan karışımı buhar basınç eğrisi (Lovato 1999)

4.2.5. LPG'nin Isıl Değeri

Muhtelif gazların ısıl değerleri karşılaştırıldığında propan ve bütanın ısıl değeri gaz yakıtlardan oldukça yüksektir. Bu özelliğinden dolayı propan ve bütana yüksek kalorili gazlar denir. Çizelge 4.5.'de çeşitli gazlara ait ısıl değerler verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bazı Gazların Isıl Değerleri (Anonim, 2003)

GAZ	kJ/Nm
Hidrojen	11923,8
Havagazı	19811,4
Doğalgaz	41118
Asetilen	55133,4
Propan	94277,4
Bütan	122173,8

4.2.5. Buharlaşma Gizli Isısı

Buharlaşma gizli ısısı 1 kg yakıtı sıvı durumdan buhar durumuna geçirmek için gerekli olan ısıyı ifade eder. LPG yakıtını oluşturan gazların buharlaşma gizli ısıları izelge 4.6.'da grldği gibi yüksektir. İçten yanmalı motorlarda LPG'nin gerekli olan buharlaşma gizli ısısı, motor soğutma suyunun regltrden geçen sıvısı, LPG'nin etrafında dolaştırılmasıyla temin edilir.

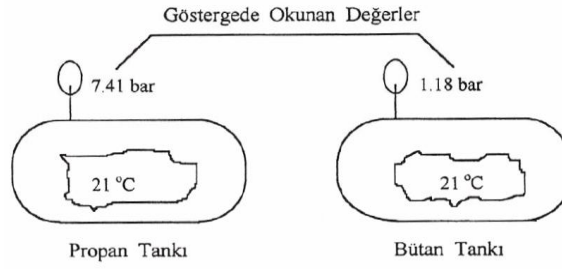
Çizelge 4.6. Propan ve bütanın buharlaşma gizli ısıları (Anonim, 2003)

Sıvı LPG Sıcaklığı (°C)	Buharlaşma Gizli Isısı (kJ/ kg)	
	Propan	Bütan
-28,9	410,8	–
-17,8	399	–
-12,2	392	–
-6,7	385,1	389,8
1,7	373,4	382,6
7,2	–	378

4.2.7. Kaynama Noktası

Bir sıvının kaynama noktası, sıvının üzerinde 1,013 bar mutlak, yani atmosfer basıncı mevcut olduğu zaman, kaynama olayının meydana geldiği sıcaklıktır.

Şekil 4.5'de propan ve bütanın kaynama noktaları karşılaştırılmıştır. Yakıt deposunun içinde tamamen propan bulunursa, propan depo çevresindeki atmosfer sıcaklığı etkisiyle + 21°C'ye kadar ısınır. Sıvının üstündeki buhar basıncı 7,41 bar olur. Bu durumda depo sıcaklığı artırılırsa içindeki propanın buhar basıncı fazlalaşır ve kaynama noktası yükselir. Eğer sıcaklık azaltılacak olursa, rneğin – 34,4°C'de buhar basıncı 0,34 – 0,41 bar arasında olur. Şekil 4.5.'de ki yakıt deposunda sadece bütan bulunursa, atmosfer sıcaklığı etkisiyle + 21°C'ye kadar ısınan bütan 1,18 bar'lık buhar basıncı meydana getirir. 1,18 bar'lık basınç çalışması için yeterlidir. – 34°C 'de bütanın buhar basıncı 0,205 bar'a kadar düşer.



Şekil 4.5. Propan ve bütan tanklarında kaynamanın mukayesesi (Anonim 2003)

Propan ve bütanın kullanım alanları ile ilgili coğrafi dağılışında, en kesin rol oynayan fiziki faktör kaynama noktaları arasındaki farktır. Bütanın kaynama noktası (0°C), propana (-43°C) göre yüksek olduğu için sıcak iklimlerde kullanılır veya karışım içindeki oranı artırılır (Anonim, 2003).

Farklı karışımlardan meydana gelen yakıt kullanıldığı zaman, kaynama noktası düşük olan diğerinden daha çabuk buharlaşır ve karışım içindeki oranları önemli ölçüde değişir. Çizelge 4.7.'de LPG yakıt deposunun tam, 1 / 3 ve 1 / 2 dolu olduğu zaman yakıt karışımlarının içindeki propan ve bütanın hacimsel yüzdelerinin değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.7. Yakıt deposunda kalan yakıt yüzdeleri (Anonim, 2003)

Tam Dolu		1 / 3 Dolu		1 / 2 Dolu	
Bütan	Propan	Bütan	Propan	Bütan	Propan
70%	30%	95%	5%	88%	12%
50%	50%	83%	17%	71%	29%
30%	70%	57%	43%	45,50%	54,50%

Avrupa'da çeşitli ülkelerde kullanılan LPG yakıtındaki propan / bütan oranları yaz ve kış aylarına göre değişim gösterir. Hatta iklim şartlarına göre sadece propan veya bütan kullanımı tercih edilir. Çizelge 4.8.'de Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde yaz ve kış aylarında kullanılan LPG'nin karışım oranları verilmiştir.

Çizelge 4.8. Çeşitli ülkelerde yaz ve kış aylarında kullanılan LPG'nin içindeki propan / bütan oranları (Soruçbay ve Ergeneman, 1997)

Ülkeler	Propan % / Bütan % Oranı	
	Yaz	Kış
Belçika	30 / 70	50 / 50
Almanya	Propan	
Danimarka	50 / 50	70 / 30
İngiltere	Propan	
Avusturya	20 / 80	80 / 20
Hollanda	30 / 70	70 / 30
İsveç	Propan	70 / 30
İsviçre	Propan	
Türkiye	30 / 70	

4.2.8. LPG'nin Tutuşma Sınırları

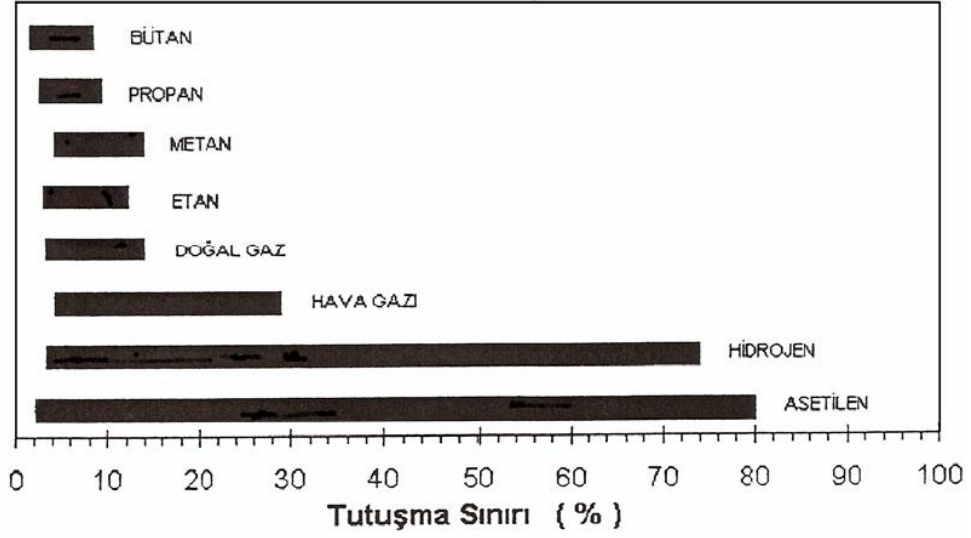
Bir yakıtın yanabilmesi için yakıt buharının hava ile gerekli miktarda karışmış olması gerekir. Yakıtların tutuşabilmesi için havada yanabilen yakıt yüzde miktarı hacimsel olarak tespit edilir. Bu değer alt ve üst sınırlar olarak LPG gaz yakıtları için aşağıdaki gibidir.

Hava gazı : (%)5 ----- (%)25

Bütan : (%)1,7 ----- (%)8,5

Propan : (%)2,5 ----- (%)9,5

Çeşitli gazların yanmaları için gaz / hava karışımındaki gaz yüzdeleri gösteren grafik Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Hava içindeki çeşitli gazların % tutuşma sınırları (Anonim, 2003)

Şekilde diğer gaz yakıtlara göre propan ve bütanın tutuşma aralığı daha dardır. LPG'nin kolayca tutuşabilme özelliği, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması için bir avantajdır.

4.2.9. LPG'nin Yoğunluğu

LPG'nin sıvı olarak yoğunluğu, propan $0,508 \text{ kg / m}^3$ normal bütan için $0,584 \text{ kg / m}^3$ olduğuna göre her ikisi de sudan hafiftir. Depoların maksimum doldurma oranını tayin edebilmek için sıvının yoğunluğu dikkate alınır. LPG'nin gaz olarak yoğunluğu, yakıtı meydana getiren karışım oranlarının değerine ve gazın sıcaklığına göre farklılık gösterebilir. Depolama tanklarının oranına dikkat etmek gerekir. Çünkü karışım içindeki oranlar LPG yakıtının yoğunluğunu belirler (Anonim, 2003).

4.2.10. LPG'nin Yoğunluk Hesabı

Bir karışımın yoğunluğunun hesabı için, her yakıtın karışım içindeki hacim oranı ile o yakıtın yoğunluğu çarpılır ve sonra yakıtı oluşturan gazların yoğunlukları toplanır. Türkiye'de kullanılan % 70 Bütan, % 30 Propan karışımının gaz yoğunluk hesabı:

Bütanın yoğunluğu: $2,006 * 0,70 = 1,400$

Propanın yoğunluğu: $1,520 * 0,30 = 0,456$

Gaz karışım yoğunluğu (kg / m³) = 1,856

Türkiye’de kullanılan % 70 Bütan, % 30 Propan karışımının sıvı yoğunluk hesabı:

Bütanın yoğunluğu: 0,584 * 0,70 = 0,409

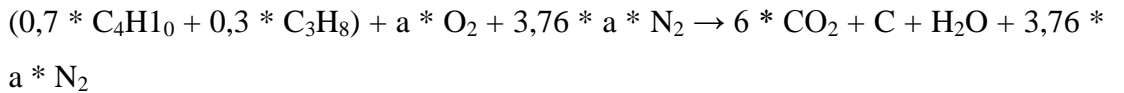
Propanın yoğunluğu: 0,508 * 0,30 = 0,152

Sıvı karışım yoğunluğu (kg / m³) = 0,561

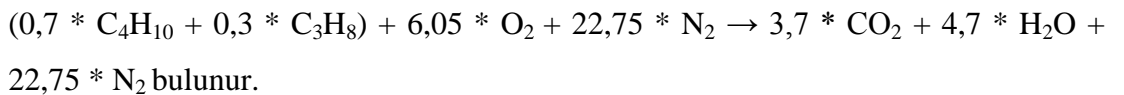
4.2.11. LPG’nin Tam Yanma Şartları ve Teorik Yanma Denklemleri

Yanma süreci için gerekli olan oksijen atmosferdeki havadan sağlanır. Hava hacimsel olarak % 78,09 azot, % 20,95 oksijen, % 0,93 argon ve % 0,03 karbondioksitten oluşur. Molekül ağırlığı 28,964’tür. Yanma süreci incelenirken karbondioksit ve argon gazları dikkate alınmaz ve havanın % 79 azot ve % 21 oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28,851’dir ve içerisinde 1 mol oksijene karşılık 3,76 mol azot bulunur (Yücesu, 1991).

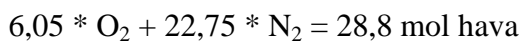
% 70 Bütan / % 30 Propan oranlarındaki LPG yakıtının yanma denklemi:



Denkleştirme sonucu yanma denklemi yeniden düzenlenirse;



1 Mol LPG için gerekli hava miktarı;



Hacimsel olarak hava / yakıt oranı A / F = Mol Hava / Mol Yakıt = 28,8/1 = 28,8 ‘dir.

Kütle olarak;

$$M_y = 0,70 * M(C_4H_{10}) + 0,30 * M(C_3H_8) = (0,7 * 58) + (0,3 * 44) = 53,86 \text{ kg LPG / mol LPG}$$

$$M_h = 28,8 * M_{\text{hava}} = 28,8 * 28,851 = 830,91 \text{ kg hava / mol hava}$$

$$\text{Hava ve LPG'nin Kütlesel Oranı: } H / Y = 830,91 / 53,86 = 15,42 \text{ kg hava / kg LPG}$$

4.2.12. LPG'nin Kokulandırılması

LPG sızıntı ve kaçak sonucu çevre emniyeti açısından zararlı olabilir. Sızıntı durumunda parlayıcı, patlayıcı ve sağlığa zararlı karışım meydana getirmeden fark edilmesi için içerisinde koku verici maddeler karıştırılmalıdır.

Genel olarak 1 ton LPG içerisinde;

21 g Etilmerkaptan C_2H_5SH

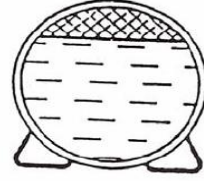
30 g Merkaptan $C_3H_{11}SH$

137 g Fiyofen C_4H_4S katılması gerekmektedir (TSE, 1996).

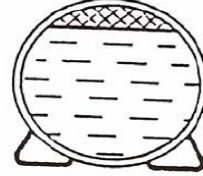
4.2.13. LPG'nin Depolanması

LPG yakıtının depolanması sırasında yakıt tankları, LPG'nin buhar basıncı nedeniyle tamamen doldurulmamalıdır. LPG tankları Ulaştırma ve Sanayi Bakanlıkları ve TSE'nin yönetmelik ve standartlarına göre üretilip, test edilirler. Tanklar yüksek kaliteli çelikten yapılır ve genelde üç parça su altı ark kaynağı ile birleştirilir. 45 bar hidrolik basınçta test edilirler. Basınç 1 dakika boyunca sürdürülür. Bu süre içerisinde şişme, sızıntı, akma, çatlama ve esneklik belirtileri olmamalıdır. İtalyan standartlarına göre tanklar toplam kapasitelerinin en fazla % 80'ine kadar doldurulmalıdır. Şekil 4.7.'de % 20 gaz ve % 80 sıvı LPG depolanmasında değişik sıcaklıklarda sıvı ve gaz LPG oranlarında meydana gelen değişiklikler görülmektedir (Lovato, 1999).

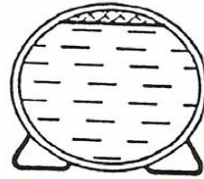
15 C
Gaz % 20 Hacim
Sıvı % 80 Hacim
Maksimum Basınç 6.5 bar



38 C
Gaz % 14 - 16 Hacim
Sıvı % 86 - 84 Hacim
Maksimum Basınç 12 bar



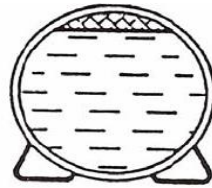
50 C
Gaz % 9 -14 Hacim
Sıvı %86 - 91 Hacim
Maksimum Basınç 16.8 bar



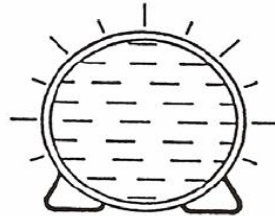
Şekil 4.7. % 20 Gaz - % 80 Sıvı LPG'nin 15 °C de depolandığında, 38 °C – 50 °C sıcaklıklarda yakıt deposundaki değişimleri (Lovato, 1999)

Yakıt tanklarının bu oranlar dikkate alınmadan fazla miktarda doldurulması halinde, ortam veya depo sıcaklığının artması tehlikeli durum oluşturur. Şekil 4.8.'de % 10 gaz ve % 90 sıvı, 15 °C sıcaklıkta LPG yakıtının depolanmasından sonra, 50 °C sıcaklıkta deposundaki LPG yakıt oranlarında meydana gelen değişimler verilmiştir (Lovato 1999).

15 C
Gaz % 10 Hacim
Sıvı % 90 Hacim



50 C
Sıvı % 100 Hacim
TEHLİKELİ DURUM



Şekil 4.8. % 10 Gaz - % 90 Sıvı LPG'nin 15 °C de depolanmasından sonra, 50 °C sıcaklıkta yakıt deposundaki yakıt oranlarının değişimleri (Lovato, 1999)

4.2.14. Motor Yakıtı Olarak LPG

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), endüstriyel, tarımsal, askeri ve motorlu araçlarda kullanılabilen yüksek kalitede enerji sağlar. Çizelge 4.9.'da motor yakıtları ve LPG'nin karşılaştırmalı özellikleri verilmiştir. Çizelge değerlerinden görüleceği gibi benzin ve dizel yakıtlarının oda sıcaklığı üzerinde kaynama noktası değerleri vardır. LPG ise daha düşük sıcaklıklarda kaynar. Bu durum, benzin ve dizel yakıtlarının atmosferik basınçta sıvı halde tanklarda saklanabilirken, LPG'nin belirli bir basınçta bulundurulma zorunluluğunu getirir.

Çizelge 4.9. Motor yakıtları ve LPG'nin karşılaştırmalı özellikleri (Lovato, 1999)

Özellikleri	Propan	Bütan	Benzin	Dizel
15°C'de Yoğunluk (kg/lt)	0,508	0,584	0,73 - 0,78	0,81 - 0,85
Buhar Basıncı 37,8°C'de (bar)	12,1	2,6	0,5 - 0,9	0,003
Kaynama Noktası(°C)	-43	0,5	30 - 225	150 - 560
AON (RON)	111	103	96 - 98	—
MON	97	89	85 - 87	—
Düşük Isıl Değeri (kj/kg)	23,4	26,5	32,3	35,6
Yüksek Isıl Değeri (kj/kg)	46	45,46	44,03	42,4
Stokiyometrik Oran (kj/kg)	15,8	15,6	14,7	—
Kalorifik Oran (kj/m)	3414	3446	3482	—

AON, Araştırma Oktan Numarası (RON – Research Octane Number) ve MON, Motor Oktan Numarasından görüldüğü gibi LPG benzine kıyasla daha üstün anti detenasyon özelliğine sahiptir. Dizel yakıtı ve benzine göre LPG, daha iyi kalorifik gücü verir. Araç yakıt tüketimi dizel ve benzin için LPG'den daha azdır. Fakat hacim olarak karşılaştırıldığında özgül ağırlıklarından dolayı tam tersi geçerlidir. LPG gaz olduğundan benzine kıyasla daha iyi homojen karışım gösterir. Bu gaz karışımı, karbüratörden daha kolay geçer ve motor performansını artırır. Motor ele alındığında, benzinli motoru 100 olarak ele alırsak, LPG 90 güç verir(% 10 kayıp) ve

dizel motor ise 65'tir(% 35 kayıp). Bu oran dizel motorlarının, benzin ile çalışan motorlara göre daha fazla hacimsel motor kapasitesine sahip olduklarını açıklar (Lovato, 1999).

4.2.15. LPG'nin Avantajları

- Soğuk havalarda ilk hareket kolaylığı vardır.
- Egzoz emisyonları daha düşüktür.
- Kullanılan sistemin bakımı azdır.
- Silindirlere daha eşit yakıt dağılımı olur.
- Oktan sayıları yüksektir.
- Yanma daha verimlidir.
- Fakir karışımda çalışmaya müsaittir.
- Yağlama yağı daha uzun ömürlü olur.
- Yanma odasında daha az artık madde bırakır.
- Yakıt fiyatı ekonomiktir.
- Benzine göre ozon tabakasına % 30 daha az zarar verir.
- Temiz yanması buji kirlenmesini geciktirir, kirlenmeden dolayı yanma verimini düşürmez. Egzoz sistemi daha uzun süre dayanır (Ayhaner, 1995; Anonim, 2001)

4.2.16. LPG'nin Dezavantajları

- Yakıt tankının ağır oluşu, dönüşüm yapılan araca ilave ağırlık oluşturur.
- Yakıt tankından dolayı bagaj hacmi küçülür.
- Güç çıkışında yaklaşık % 5 – 10 azalma olur.
- Yakıt katkı maddesi ilavesi mümkün değildir.
- LPG dönüşümü ek maliyet getirir.

Tank dolum anında veya LPG'li çalışmada taşıt içi kokar (Ayhaner 1995, Anonim 2001, Yücesu 1991).

4.2.17. LPG'nin Oktan Sayısı

Benzinin oktan sayısı düşüktür. İçerisine çeşitli metotlarla katılan katkı maddeleriyle (kurşun tetraetil, aromatikler) oktan sayısı yükseltilir. LPG'nin ise oktan sayısı yüksektir. Bundan dolayı LPG, yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kullanımıyla motor gücünü artırır. LPG yakıtını meydana getiren propan, bütan ve diğer gazların karışım içindeki oranları LPG'nin oktan sayısını belirler (Anonim, 2001).

4.2.18. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin en önemlileri; azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), kükürt (S), kurşun (Pb) ve partiküller olarak sıralanabilir. Çevre ve insan sağlığına zararlı olan bu kirleticiler, egzoz gazlarının hacimsel olarak % 1'ini oluşturmakta olup, motorun çalışma şartlarına bağlı olarak değişik davranışlar göstermektedir. Ülkemizde yapılan çalışmalarda, Ankara ili için egzoz gazlarının hava kirliliğindeki etkisi partikül emisyonlarında % 42, hidrokarbon emisyonlarında % 86, azot oksit emisyonlarında % 73, karbon monoksit emisyonlarında % 87 ve toplam hava kirliliğinde % 74 olarak belirlenmiştir Çizelge 4.10.'da yakıt tüketimi bazında emisyon değerlerinin benzinli ve dizel motorlara göre değişimi görülmektedir. (Anonim, 1999).

Çizelge 4.10. Ankara ili ulaşımında yakıt tüketimi bazında emisyon değerlerinin benzinli ve dizel motorlara göre değişimi (Anonim, 1999)

Emisyon	Benzin Motorlu (kg / ton)	Dizel Motorlu (kg / ton)
Kirleticiler / Partiküller	1,9	18
CO	500	10
HC	90	30
NO _x	20	37
SO ₂	1,5	6

Dünyanın en önemli sorunlarından birisi, artan hava kirliliğinin ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmanın önlenmesidir. Bunun için teknolojik önlemler alınırken, otomotiv sanayide de alternatif yakıtlar üzerinde büyük araştırmalar

yapılmaktadır. LPG bu alternatif yakıtlardan bir tanesidir. LPG, hem benzine hem de motorine göre daha temiz bir yakıttır. İçinde kükürt, kurşun bileşiği, aromatik hidrokarbonlar ve polimerler yoktur. Karbon birikintisi oluşturmamaktadır. Diğer kirleticiler de önemli ölçüde azalmaktadır (Anonim, 1999). (Çizelge 4.11.)

Çizelge 4.11. TOFAŞ / FİAT emisyon laboratuvarında LPG – benzin emisyon değerleri (Hot 550 USA Testine Göre) karşılaştırılması (Anonim, 1999)

		Benzin	LPG
Karbonmonoksit	(CO)	32,2	14,8
Hidrokarbonlar	(HC)	11,6	6,8
Azot Oksitler	(NO _x)	16,25	15,07
Karbondioksit	(CO ₂)	1280	1138

LPG kullanılarak CO'da % 54, HC'de % 41.4, NO_x'de % 7,2 oranında emisyon değerlerinde iyileşme olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte kirletici olmamakla beraber küresel ısınmanın nedeni olan CO₂ emisyonlarında da LPG kullanılarak önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır. Bu azalma % 11,1 civarındadır. Ayrıca başka bir inceleme de Çizelge 4.12.'de karşılaştırılmıştır (Anonim, 1999).

Çizelge 4.12. LPG, kurşunsuz benzin ve motorinin emisyon değerlerinin karşılaştırılması (Anonim, 1999)

	LPG	Kurşunsuz Benzin	Motorin
Hidrokarbon HC	1,8	3	6
Karbonmonoksit CO	0,3	6	0,2
Azot oksit NO _x	40	50	25

LPG'nin otomotiv sektöründe benzin ve motorine göre çevre açısından çok daha olumlu sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 5

BİYODİZELİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

5.1. BİYODİZELİN TANIMI

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da Biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir (Anonim, 2005).

Biyodizel petrol içermez, fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde bir değişikliğe gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, dizel ile karışım oranları bazında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır (Anonim, 2005).

B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel

B20 : % 20 Biyodizel + %80 Dizel

B50 : % 50 Biyodizel + %50 Dizel

B100 : %100 Biyodizel

5.2. BİYODİZELİN ÇEVRESEL ÖZELLİKLERİ

Sera gazları içinde büyük bir pay sahibi olan CO₂ dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır ve yanma sonucu ortaya çıkan bir

emisyonudur. Yine yanma sonucu açığa çıkan ve sera gazları arasında yer alan CO, SO_x, NO_x emisyonları da insan sağlığına zararlıdır (Anonim, 2005).

Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO₂'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biyodizel CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ayrıca CO, SO_x emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların (HC) daha az salındığı kanıtlanmıştır. Biyodizelin NO_x emisyonları dizel yakıtı göre daha fazladır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO_x emisyonlarının %13 oranına kadar arttığı test edilmiştir. Bununla birlikte biyodizel kükürt içermez. Bu yüzden NO_x kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir. Dizel yakıtı kükürt içerdiği için NO_x kontrol teknolojilerine uygun değildir. Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran % 50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır. Biyodizel yakıtının yanması sonucu ortaya çıkan CO oranı dizel yakıtının yanması sonucu oluşan CO oranından %50 daha azdır. Saf biyodizel (B100) ve %20 oranında (B20) biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtı ile karşılaştırmalı değerleri Çizelge 5.1'de verilmektedir. (Anonim, 2005)

Çizelge 5.1. B100 ve B20 yakıtının emisyon değerlerinin karşılaştırılması (Anonim, 2005).

	B100	B20
Yanmamış Hidrokarbonlar	-93%	-30%
Karbon Monoksit	-50%	-20%
Partikül Madde	-30%	-22%
NO _x (Azot Oksitler)	13%	2%
Sülfatlar	-100%	-20%
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar PAH (Kanserojen Maddeler)	-80%	-13%
nPAH (nitratlı PAH'lar)	-90%	-50%
Hidrokarbonların Ozon Tabakasına Etkisi	-50%	-10%

Ayrıca, biyodizelin sudaki canlılara karşı herhangi bir toksik etkisi yoktur. Buna karşılık 1 litre ham petrol 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine neden olabilmektedir.

5.3. BİYODİZELİ OLUSTURAN YAĞ BİTKİLERİNİN ÜLKEMİZDEKİ POTANSİYELİ

Bitkisel yağlar ülkemizde halen yemeklik yağ olarak tüketildiğinden, üretim şartlarının da uygun olmasına rağmen motorda kullanımı geri planda kalmıştır. Bitkisel yağların alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilir duruma gelmesiyle, bu alandaki üretimin artırılma olanağı her an mevcuttur. Ekim ve üretim miktarları bu alana cevap verebilecek düzeye hızlı bir şekilde ulaşabilir. Ayrıca GAP projesinin faaliyete geçmesi ile 1,7 milyon hektar alan sulanır hale gelecektir. GAP bölgesinde yetiştirilecek bitkiler içerisinde, özellikle ikinci bir ürün olarak, yağ bitkileri yönünden de önemli bir potansiyele sahip olacaktır. Çizelge 5.2’de 2007 yılı istatistiklerine göre ülkemizde yağ bitkilerinin ekim alanları, üretim verimleri ve üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yağ bitkilerinin ekim alanı, üretim verimleri ve üretim miktarları (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2007).

Bitki	Yıl	Ekilen alan(dekar)	Hasat edilen alan(dekar)	Üretim(ton)	Verim(kg/da)
Aspir	2007	16.941	16.941	2.280	135
Ayçiçeği (Yağlık)	2007	4.857.000	4.854.525	770.000	159
Ayçiçeği (Çerezlik)	2007	689.778	667.418	84.407	126
Haşhaş (Tohum)	2007	246.032	245.868	8.981	37
Kenevir (Tohum)	2007	559	559	24	43
Keten (Tohum)	2007	806	805	48	60
Kolza (Kanola)	2007	106.830	104.036	28.727	276
Soya	2007	86.747	86.747	30.666	354
Susam	2007	297.807	297.807	20.010	67
Yerfıstığı	2007	259.423	259.423	86.409	333
Çiğit(Pamuk toh.)	2007	5.302.528	5.298.528	1.320.831	249

Bu yağların yakıt olarak kullanılması durumunda Türkiye, artan talebi karşılayacak düzeyde tarım alanına sahiptir. Çizelge incelendiğinde en fazla üretim alanına pamuk tohumu sahiptir ve bunu ayçiçeği izlemektedir.

5.4. BİYODİZELİ OLUSTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN ELDE EDİLMESİ

Bitkisel katı ve sıvı yağların elde edilmelerinde genellikle iki yöntem uygulanır. Bunlar presleme ve çözücü ekstraksiyonu ve ikisinin birleştirilmiş seklidir. Fakat bugün çözücü ekstraksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır (Ulusoy, 1999).

Çözücü ekstraksiyonu, bitkisel yağların üretiminde yalnız basına veya presleme ile birlikte kullanılır ve büyük bir öneme sahiptir. Yağ oranı yüksek tohumlar için, hem presleme hem de çözücü ekstraksiyondan faydalanılır ve böylelikle yüksek verim sağlanmış olur. Yağı elde edilecek bitkinin yapısına bağlı olarak çözücü ekstraksiyonu ile bitkisel yağların büyük bir kısmı alınırken presleme ile bu oran düşmektedir (Ulusoy, 1999).

Bazı bitkisel yağların elde edilmesi çözücü ekstraksiyona daha uygun olmaktadır. Bu yağlar organik çözücülerde çözünebilirler. Yağ ekstraksiyonun da kullanılacak ideal bir çözücü veya çözücü karışımı yağın tamamını çözebilmeli, yağdan kolayca ayrılabilmesi, fakat yağ ile reaksiyona girmemelidir. Aynı zamanda ekstraksiyon sırasında yağın enzimatik bozulmasını önleme özelliğine sahip olmalıdır. Çözücülerde yağların çözünürlüğünü Zahler ve Niggli tarafından incelenmiştir.

Buna göre organik çözücülerde çözünürlüğü yağların iki temel özelliği etkiler. Bunlar yağ asitlerin polar olmayan hidrokarbon zincirleri ile fosfat veya seker artıkları gibi herhangi bir polar fonksiyonel gruplardır. Polar özelliği az olan trigliserin ve kolesterol esterlerini içeren yağlar hekzan, benzen veya siklohekzan gibi hidrokarbon çözücülerde yüksek oranda çözünmekle birlikte kloroform ve dietil eter gibi az polar çözücülerde daha düşük oranda çözülmektedir. Aynı zamanda kloroform ve dietil eter bir takım enzimatik bozunmalara neden olmaktadır (Ulusoy, 1999).

5.4.1. Biyodizelin İçerdiği Bitkisel Yağların Kimyasal Bileşenleri

Yağlar esas itibarıyla trigliseridler olmakla beraber bunların içinde karbonhidrat yapılı reçinemsı maddeler (musilaj maddeler), boyar maddeler, serbest yağ asitleri, fosfatidler, kokulu maddeler, bazı yükseltgenme ürünleri ve erime noktası yüksek olan gliseridler gibi maddeler bulunmaktadır (Ulusoy, 1999).

Yağ asiti adı verilen organik kimyasal birimlerin yağ içindeki sayıları ve dizilişleri arasında farklar vardır. Karbon, hidrojen ve oksijenin birbirine bağlı bir yapı oluşturarak meydana getirdiği yağ asitlerinde, karbon önemli bir yer tutar. Karbon sayısı ve karbonlar arasındaki bağların çift ya da tek olusu doymuş veya doymamış adı verilen yağ türlerini meydana getirir. Bitkisel yağlarda yağ asidi serbest halde düşük miktarda bulunurken büyük oranda gliserinle esterleşmiş halde bulunurlar. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Doymamış yağ asiti moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak, uzunluğu farklı zincirler oluşturur (Kaplan, 2001).

Doymamışlık miktarı hidrojen atomlarının yerleşmemiş olmasına bağlıdır. Bütün hidrojen atomları yerleşmiş ise yani her karbon atomu zinciri iki hidrojen atomu tutmuş ise bu oluşum doymuş bir yağ asididir. Karbon atomları arasındaki çift bağ sayısı ne kadar fazla ise yağ asiti o kadar doymamış yani sıvı haldedir. Karbona hidrojen eklenmesi ile bu bağlar bire indirilirse o zaman doymuş yağ yani katı yağ elde edilir.

Doymamışlık miktarı yükselirken erime noktası düşer. Karbonun yanma ısısı hidrojenin % 20'si kadardır. Dolayısıyla hidrokarbonların yapısındaki karbon elementi yanma ısısı daha yüksek bir elementle değiştirilerek yüksek enerjili hidritleri elde etmek mümkündür. Bitkisel yağların kimyasal özelliklerinden, fosfat içeriği önemlidir. Düşük fosfat değerleri, yağın sakızlaşmayacağını gösterir. Bu açıdan, keten, mısır, pamuk ve yerfıstığı yağı düşük fosfat değerlerine sahiptir. Bazı yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

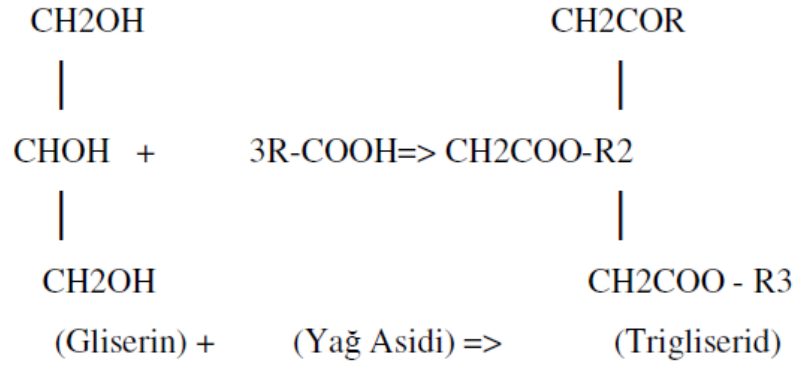
Çizelge 5.3. Bazı Yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları (Kaufman et al.,1986).

Yağ asidi	Karbon sayısı	Çift bağ sayısı
Miristik Asid	14	0
Palmitik Asid	16	0
Sitearik Asid	18	0
Arasidik Asid	20	0
Behenik Asid	22	0
Lignoserik Asid	24	0
Oleik Asid	18	1
Risinolcık Asid	18	1
Erusik Asid	22	1
Linoleik Asid	18	2
Linolenik Asid	18	3

Bitkisel yağlarda serbest ya da bağlı olarak bulunan yağ asitleri genellikle düz zincirli, çift karbon sayılı ve monokarboksilliktir. Tek karbon sayılı yağ asitleri nadiren bulunurken dallanmış yapıda yağ asitlerine rastlanmamıştır. Buna rağmen asetilenik, siklobropenik hidroksi grupları ya da konjige çift bağlara sahip olan yağ asitleri önemli tohum yağları meydana getirirler.

5.5. BİYODİZELİ OLUSTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bitkisel yağlar, yağ asitlerinin (R-COOH), 3 değerli bir alkol olan gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Gliserin molekülündeki 3 alkol grubunun yağ asitleri ile esterleşmesi durumunda ise Trigliserid elde edilir. Trigliseridler normal yağların %95'ini oluştururlar (Ulusoy, 1999). Şekil 5. 1.'de gliserin ve yağ asitlerinden oluşan Trigliseridin açık formülü görülmektedir.

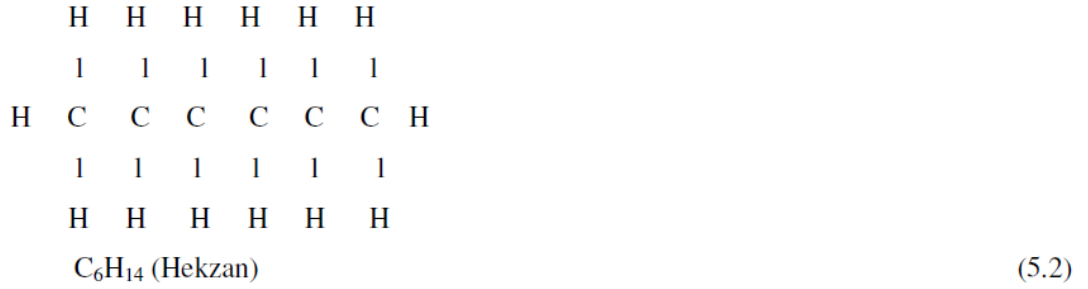
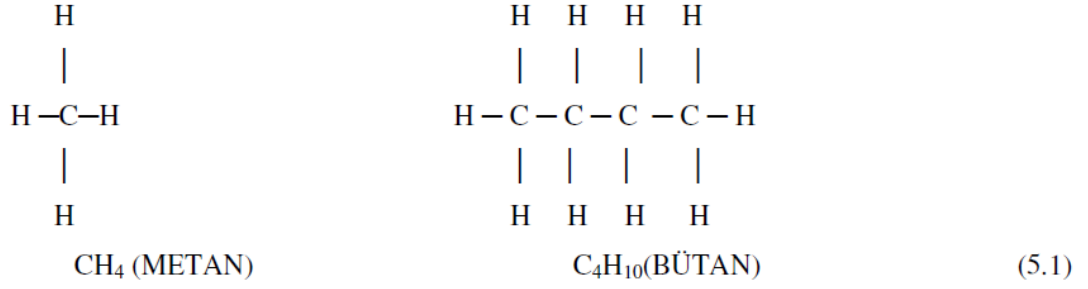


Sekil 5.1. Trigliseridin açık formülü (Goering et al: 1982, Peterson 1986).

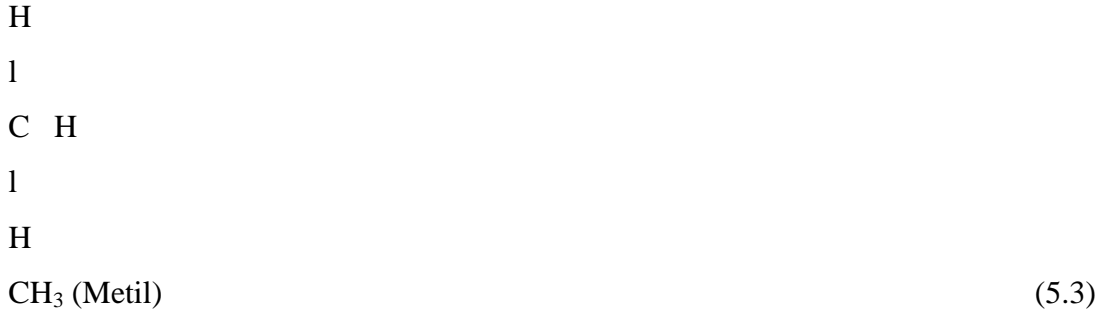
Gliserinin 3 karbon atomunun da aynı yağ asiti ile esterleşmesine basit trigliserid, farklı yağ asitleri ile esterleşmesine ise karışık Trigliserid adı verilir. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Doymamış yağ asiti moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak, uzunluğu farklı zincirler oluşturur. Bitkisel yağlarda en çok bulunan yağ asitlerine örnek olarak; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik, linoleik ve linolenik asitleri gösterilebilir. Bunlardan palmitik asitin çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik ve risiloneik yağ asitleri bir çift bağa, diğerleri iki çift bağa sahiptir (Ulusoy, 1999).

Petrol esaslı yakıtlar bütün biçimleri ile hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Bileşimlerinde kütle olarak %83-87 karbon (C), %13-17 hidrojen (H) vardır. Hidrokarbonların yapısı kapalı ve açık semada gösterilebilir. Karbonun değeri şematik olarak 4 adet bağ ile gösterilir. Hidrokarbonlar kimyasal yapı ve özellikleri bakımından aşağıda açıklanmıştır (Altın, 1998).

Parafinler (Alkanlar): $\text{C}_n + \text{H}_{2n+2}$ şeklinde kapalı formülü ile ifade edilir. Doymuş zincirli hidrokarbonlardır. Normal parafin açık zincir yapısında olup köklerine -an eki alırlar.

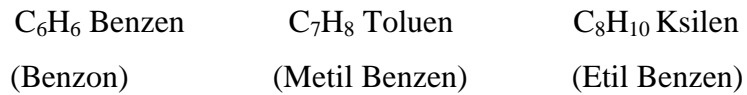


İkinci tür parafinler ise İzo-parafinler olup köküne -il eki alırlar.



Parafinler 12'den 20'ye kadar olan karbon atomu dizel yakıtını oluşturur. Normal parafinler kendi kendine ateşleme kalitesinin yüksek olması nedeni ile dizel yakıtlarında bulunurlar (Altın, 1998).

Dizel yakıtlarında bulunan diğer doymamış hidrokarbonlardan birisi de dramatiklerdir. Kapalı köse yapıya sahiptirler (Çetinkaya, 1989; İlkılıç ve Yücesu, 2002).



Dizel yakıtlarında dallanmamış bileşikler tercih edilmektedir. Çünkü bunlar, daha iyi tutuşma kalitesine ulaşmaktadır. Yine dizel yakıtlarında, doymamış hidrokarbonlu olanlar (aromatikler) Oksidasyon problemleri nedeni ile fazla istenmemektedir (Altın, 1998).

Petrol esaslı yakıtlar, bitkisel yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Bitkisel yağlar yalnızca karbon ve hidrojen atomlarından normal bağdan oluşup bu yapıdaki bitkisel yağlar daha iyi ateşleme kalitesine sahiptir (Georging et al., 1982; Schumacher,1995).

Bitkisel yağlar oda sıcaklığında sıvı seklindedir. Bitkisel yağlarda doymuş yağ asidi olarak orta miktarda palmitik asit, az miktarda da stearik asit bulunmaktadır. Çizelge 5.4.'de bazı yağ asitlerinin karbon sayıları, çift bağlar, ergime ve kaynama noktaları ile formülleri verilmiştir. Çizelge 5.5.'de ise bitkisel yağların kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.4. Bitkisel yağ asitlerinin karbon sayıları, çift bağlar, ergime ve kaynama noktaları ile formülleri (Altın, 1998)

YAG ASİTLERİ	KAPALI FORMÜLÜ	MOLEKÜL AGIRLIĞI	ÇİFT BAG SAYISI	KAYNAMA SICAKLIĞI (°C)	ERGİME NOKTASI (°C)
miristik	$C_{13}H_{27}COOH$	228.37	0	250	58
palmitik	$C_{15}H_{31}COOH$	256.42	0	198	63
stearik	$C_{17}H_{35}COOH$	284.47	0	383	70
arasirik	$C_{19}H_{39}COOH$	312.52	0	177-328	41-47
behenik	$C_{21}H_{43}COOH$	340.58	0	---	---
Oleik	$C_{17}H_{33}COOH$	282.48	1	286	13
erusik	$C_{21}H_{41}COOH$	338.55	1	---	---
linoleik	$C_{17}H_{31}COOH$	280.44	2	202	-5
linolenik	$C_{17}H_{33}COOH$	278.42	2	230	11

Trigliserin TG olarak ifade edilmektedir. TG 18:0'ın anlamı 18 karbonlu çift bağı (O) olan ve her biri üç yağ asidinden oluşan gliserini gösterir.

Çizelge 5.5. Bitkisel yağların kimyasal özellikleri (Georing, 1982, Altın, 1998).

BİTKİSEL YAĞLAR	C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C22:0	C24:0	C18:1	C22:1	C18:2	C18:3	Asit Değeri
Hint Yağı	0	1,09	3,10	0	0	0	4,85	8-9,60	1,27	0	0,21
Mısır Yağı	0	12-15	3-4	0-0,5	0	0	28-40	0-0,1	45-55	0,5-0,9	0,11
Çiğit yağı	0	28,33	0,89	0	0	0	13,27	0	57,51	0	0,07
Bezir Yağı	0	4,92	2,41	0	0	0	19,70	0	18,03	5-4,94	0,20
Yer Fıstığı	0	11,32	2,39	1,32	2,52	1,23	48,28	0	31,95	0,93	0,20
Kolza	0	3,49	0,85	0	0	0	64,40	0	22,30	8,23	1,14
Aspir	0	8,60	1,93	0	0	0	11,58	0	77,89	0	0,7
Susam Yağı	0	13,10	3,92	0	0	0	52,84	0	30,14	0	4,96
Soya Yağı	0-0,3	8,12	4,7	0	0	0	19-25	0,1-0,3	50-55	6-10	0,20
Ayçiçek	0-0,2	5,7	3-5	0,3-0,9	0,6-0,8	0	22-35	0	55-68	0-1	0,15

Değerler kütleli olarak % ifade edilmiştir. Asit değeri: 1 g yağda bulunan nötrüze edilmiş serbest yağ asitlerinde gerekli KOH (mg) değeridir (Altın, 1998).

5.6. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ

Bazı bitkisel yağların, yakıt olarak kullanılabilme özellikleri, Çizelge 5.6.'da dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, bitkisel yağların viskozitelerinin ASTM tarafından dizel yakıtı için verilen 4.0 olan üst sınır değerine göre yaklaşık 9-13 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksekliği bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasındaki en önemli dezavantajlarından biridir (Ulusoy, 1999; İlkılıç ve Öner, 2003).

Çizelge 5.6. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri(Kaplan, 2001).

BİTKİSEL YAĞLAR	Özgül Kütle (g/ml)	Kinematik Viskozite (mm/s)	Isı Değeri (kj/kg)	Setan Sayısı (Astım D613)	Tutuşma Gecikmesi Krank Açısı (")	Donma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Oksitlenme Süresi (h)
Ayçiçek	0,92	34,9	39644	33	23,8	7,2	(-15)	5,5
Soya Yağı	0,92	36,4	39390	39	29,6	(-3,9)	(-12,2)	8
Pamuk Yağı	0,91	37,4	37420	51	21,4	1,7	(-15)	7,5
Yer Fıstığı	0,91	37,2	37160	39	19,6	12,8	(-6,7)	6,7
Kolza	0,92	39,0	39913	37,6	21,9	(-3,9)	(-31,7)	10,5
Keten Yağı	-	27,2	39300	34,6	-	1,7	(-15)	3
Susam Yağı	-	35,5	39350	40,2	-	(-3,9)	(-9,4)	8,5
Dizel Yakıtı	0,86	2,9	42450	50,8	0	(-15)	(-33)	150
Karbon Kalıntısı	Tüm bitkisel yağlarda % 0,22 - 0,30 (ASTM sınır değeri %0,35)							
Kükürt oranı	Tüm bitkisel yağlarda % 0,01 (ASTM sınır değeri %0,35)							
Kül Oranı	Tüm bitkisel yağlarda % 0,005 - 0,01 (ASTM sınır değeri %0,35)							
Su ve Tortu	Tüm bitkisel yağlarda % 0,05 (ASTM sınır değeri %0,35)							

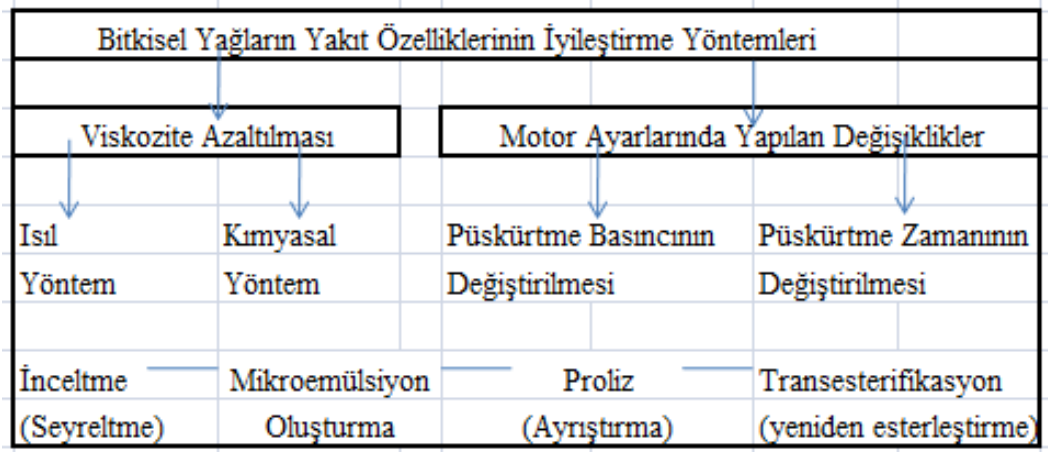
ASTM yöntemi ile oksitlenme süresi dizel yakıtı için 150 saatin üzerinde olduğu halde, bitkisel yağlar için bu süre 2.9-10 saat arasında bulunmuştur. Bu açıdan, bitkisel yağların olumsuzluğu söz konusudur. Bitkisel yağların viskoziteleri ve ısıl içerikleri zincir uzunluğu ile artmakta, çift bağ sayısı ile azalmaktadır (Kaufman et al., 1986).

Setan sayısı açısından bitkisel yağların ASTM alt sınırı olan 40'a büyük ölçüde yaklaştığı görülmektedir. Bu açıdan pamuk ve yerfıstığı yağlarının en uygun değerde olduğu görülmektedir.

5.7. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu çalışmalar Şekil 5.2.'de verilmiştir. Bu iki çalışmadan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri motor

üzerinde yapılan tasarım değişiklikleridir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere 2 yöntem uygulanmaktadır (Ulusoy, 1999).



Sekil 5.2. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Ulusoy, 1999).

Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitesinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak, bu yöntemin, özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır. Kimyasal yöntem ise dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar, inceltme, Mikroemülsiyon oluşturma, proliz ve transesterifikasyon'dur. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır (Ulusoy, 1999).

5.7.1. İnceltme

Bitkisel yağların belirli oranda dizel yakıtı ile karıştırılarak inceltilmesi işlemidir. Ziejewski ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, hacim olarak %25 ayçiçek yağı - %75 dizel yakıtından oluşan karışımın 40 °C'deki viskozitesi 4.88 mm²/s olarak bulunmuştur. ASTM standartlarında dizel yakıtı için belirlenen üst sınır değeri 40°C için 4.0 mm²/s'dir. Bu nedenle hacim olarak %25 ayçiçeği yağı, %75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı belirlenmiştir (Altın, 1998; Ulusoy, 1999).

%75 dizel yakıtı-%25 yüksek oleik asitli aspir yağı karışımının viskozitesi ise 40°C'de 4.92 mm²/s olarak tespit edilmiştir. Bu karışımın 200 saatlik EMA (Motor Üreticileri Birliği) testinde başarılı olduğu belirtilmiştir. Aspir yağının daha az doymamışlık içermesi bu karışımı, ayçiçek yağıyla oluşturulan karışıma üstün kılmaktadır (Oğuz, 1998; Altın, 1998; Ulusoy, 1999; İlkılıç, 1999; Kaplan, 2001).

Bu yöndeki bir başka çalışmada kolza yağı ağırlıkça % 10 oranında dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel yakıtı özelliklerinde önemli değişimlere yol açmadığı gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmalarından olumlu sonuç alınmış, ayrıca egzoz gazında bazı iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir (Erdoğan, 1991; İlkılıç, 1999).

5.7.2. Mikroemülsiyon Oluşturma

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle Mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir (Kaplan, 2001).

5.7.3. Proliz

Proliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci yöntem ile yapılan bir çalışmada, soya yağından elde edilen distilatının saf bitkisel yağa göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir (Ulusoy, 1999; İçingür ve Altıparmak, 2003).

5.7.4. Transesterifikasyon

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol- katalizör esliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bitkisel yağ öncelikle ön işlem uygulanarak fosfor lipidlerinden arındırılır. Reaksiyon öncesinde yağ, metanol ve katalizör birbiriyle çok iyi karıştırılması gereklidir. Çünkü metanolun sudaki çözünürlüğü çok azdır (Kaplan, 2001).

Çizelge 5.7.'de bazı yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi yağların metil esterlerinin dizel yakıtının özelliklerine yaklaştığı görülmektedir. Çizelgede yer alan soya yağının birçok ülkede üretim açısından önemli yağ bitkisi olması nedeniyle, soya yağının metil esterinin yakıt özellikleri açısından dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabilmesi görülmektedir (Ulusoy, 1999).

Çizelge 5.7. Bazı Bitkisel Yağların Metil Esterlerinin Yakıt Özellikleri.

	Alevlenme Noktası (°C)	Özgül Kütle 20°C (g/cm)	Kinematik Viskozite 237,8°C(mm ² /s)	Setan Sayısı	Isıl Değer (Mj/1)
Yer Fıstığı Yağı Metil esteri	176	0,883	4,9	54	33,6
Soya Yağı Metil esteri	178	0,885	4,5	45	33,5
Ay çiçek Fıstığı Yağı Metil esteri	183	0,88	4,6	49	33,5

5.8. BİYODİZELİN ULUSLAR ARASI STATÜSÜ

1980'lerin ikinci yarısından itibaren hem A.B.D., hem de diğer Batı Avrupa ülkelerinde biyodizel araştırmalarında önemli oranda artış olmuştur. İdoha, Misseuri ve Graz Üniversiteleri de dâhil olmak üzere pek çok üniversite biyodizel üzerine pek çok kapsamlı araştırmalar ve testler yapmıştır. Almanya'da 1000'nin üzerinde biyodizel dolum istasyonu vardır. İsviçre'de tarım alanında kullanılan traktörler

biyodizel ile çalışmaktadır. Biyodizel İtalya'da ev ısıtmasında ve dizel yakıtına yağlama katkısı olarak kullanılmaktadır (Kaplan, 2001).

5.8.1. Biyodizelin Uluslararası Uygulamaları

A.B.D.'de biyodizel en az 34 eyaletteki üniversitede hükümet acenteleri, özel enstitüler, taşımacılık şirketleri ve bireyler tarafından uygulamaları yapılmaktadır. A.B.D 'de son zamanlarda yapılan biyodizel test ve uygulamalardan dikkat çeken birkaç tanesi şunlardır;

- "Sunrider" isimli tekne %100 biyodizel yakıtı kullanarak 1996 yılında dünyanın çevresini dolaştı.
- Lincoln'ün "Soybean Bus" otobüsleri Nebraska'da soya yağından yapılan %25 biyodizel yakıtı kullanılmıştır.
- Marulan'da Chesapeake körfezinde ulaşımda kullanılmaktadır.
- Fort Mc Coy askeri üssünde 4 kamyon %20 biyodizel ile 50.000 milden fazla yol yapmıştır (Kaplan, 2001).

5.8.2. Biyodizelin Uluslararası Standartları

Biyodizel için Avusturya'da ÖN C 1190 Standardı, Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde DIN E 51606 standardı kullanılmakta olup, Amerika Birleşik Devletleri'nde ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart özellikleri belirlenmektedir. Çizelge 5.8.'de biyodizel standart özellikler karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Kaplan, 2001).

Çizelge 5.8. Uluslar arası biyodizel standartları (Kaplan, 2001).

Yakıtta Aranılan Özellikler	Birim	DIN 51606 Normları	USASTM Normları
Parlama Noktası	°C	100min	100 min
Su ve Tortu	Hacimsel%	---	0,05 max
Karbon Atığı	Kütlesel%	0,30max	0,05
Sülfat Külü	Kütlesel%	---	0,020 max
Viskozite, 40°C	mm ² /s	3,5-5,5	1,9 - 6,5
Kükürt	Kütlesel%	0,01 max	0,05 max
Setan	---	49min	40 min
Donma Noktası	°C	---	---
Bakır Korozyonu	---	1max	3 B max
Asit Miktarı	mgKOH/g	0,50 max	0,80 max
Serbest Gliserin	Kütlesel%	0,02 max	0,02 max
Toplam Gliserin	Kütlesel%	0,25	0,24

5.8.3. Biyodizelin Uluslararası Üretimi

Biyodizel üzerinde dünyada 28'den fazla ülkede çalışmalar sürdürülmektedir. 21 ülkede şuanda 85'in üzerinde biyodizel üretim tesisi vardır. Bunlar arasında;

- İtalya da olmak üzere Batı Avrupa'da 45 biyodizel tesisi,
- 16'sı Çek Cumhuriyeti'nde olmak üzere Doğu Avrupa da 29 biyodizel tesisi,
- A.B.D. 'de 7 biyodizel tesisi,
- Japonya da 2 biyodizel tesisi,
- Nikaragua da 1 biyodizel tesisi,
- Malezya da 1 biyodizel tesisi vardır.

Bu tesislerin bir kısmında kullanılmış kızartma yağı ile üretim yapılmaktadır. Bunların yanında pek çok küçük çaplı üretim yapan tesisler vardır. 1994 yılında Avrupa'daki metil ester üretimi ve kullanımı yaklaşık olarak 400.000 ton olarak gerçekleşmiştir. 1997 yılında ise biyodizel üretimi 2.100.000 ton'a çıkmıştır. Yani biyodizel üretimi üç yılda yaklaşık yedi kat artmıştır (Kaplan, 2001).

Çizelge 5.9. da Türkiye’de üretilen biyodizelin Avrupa Birliği standardı olan TS EN 14214 standardına uygunluğu kontrol edilmektedir. Bu standarda uygun üretilen Biyodizel motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilir.

Çizelge 5.9. TS EN 14214 Biyodizel standartları ve analiz yöntemleri (Anonim).

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	% (m/m)	96,5	–	EN 14103
Yoğunluk, °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite, 40°C	mm ² /s	3,5	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120	–	EN ISO 3679
Kükürt İçeriği	mg/kg	–	10	EN ISO 20846
Karbon Kalıntı	% (m/m)	–	0,3	EN ISO 10370
Setan Sayısı	–	51	–	EN ISO 5165
Sülfat Kül içeriği	% (m/m)	–	0,02	ISO 3987
Su İçeriği	mg/kg	–	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	–	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu	–	1	–	EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı 110°C	Saat	6	–	EN 14112
Asit değeri	mg KOH/g	–	0,5	EN 14104
Üyot değeri	g iyot/100 g	–	120	EN 14111
Linolenik Asit metil esteri	% (m/m)	–	12	EN 14103
Yüksek doymamış(≤ çift bağ)	% (m/m)	–	1	
Metanol içeriği	% (m/m)	–	0,2	EN 14110
Monoglisericid içeriği	% (m/m)	–	0,8	EN 14105
Diglisericid içeriği	% (m/m)	–	0,2	EN 14105
Triglisericid içeriği	% (m/m)	–	0,2	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	–	0,02	EN 14105
Toplam gliserol	% (m/m)	–	0,25	EN 14105
Grup I Metalleri (Na+K)	mg/kg	–	5	EN 14108
				EN 14109
Grup II Metalleri (Ca+Mg)	mg/kg	–	5	PrEN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	–	10	EN 14107

Biyodizel yakıt kalitesini etkileyen parametreler, hammadde kalitesi, bitkisel ya da hayvansal yağın yağ asitleri bileşimi, üretim prosesi, prostedeki diğer malzemeler ve üretim parametreleri olarak sıralanabilir. Biyodizelin dizel motorlarda sorunsuz olarak kullanımından emin olunması için tepkimenin tamamlanması, gliserinin uzaklaştırılması, serbest yağ asitlerinin bulunmaması gibi parametrelerin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Özellikle kullanılmış yağda bulunan partikül maddeler Biyodizel üretimi öncesi filtre edilmelidir. Rafine yağ kullanarak baz katalizi ile reaksiyon verimi %99.9 kadar yükselmekte ve aşırı metanolün, katalizörün ve gliserin uzaklaştırılması ile yüksek kalitede Biyodizel üretilebilmektedir.

5.8.4. Biyodizelin Uluslararası Kanunları

1997'de Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya, İrlanda, Norveç, İsveç, Polonya, Slovakya, Çek Cumhuriyeti kanunlarıyla biyodizeli vergiden muaf tutmuşlardır. Avrupa'da tarım için kullanılmayan atıl durumdaki pek çok büyük araziler kolza bitkisi tarımına tahsis edilmiştir.

Kanada'da alternatif yakıt yasası, devlet tarafından alınan araçların %50'sinin alternatif yakıt kullanma zorunluluğu getirilmiştir ki bu oran 2004 yılında %75'e yükseltilecektir (Kaplan, 2001).

1992'de A.B.D. enerji siyaseti yasası (EPACT) isimli bir kanun kabul etti. EPACT'ın en temel getirisi Amerikan petrol kullanımını 2000 yılında %10 oranında 2010 yılında ise %30 oranında başka bir yakıtla değiştirmektedir. EPACT'ın kabulü ile A.B.D. diğer ülkelere örnek olacak şekilde kendisine çok büyük avantaj sağlamıştır. EPACT ABD'nde alternatif yakıtlarla çalışan araçlara karşı ilgi uyandırdı. EPACT devletin elektrikli araçlar ile etanol, metanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtlar üzerinde araştırmalar yapmasını da sağladı (Kaplan, 2001).

5.9. ÇEVRE VE BİYODİZEL

Biyodizel düşük egzoz emisyonlarının yanı sıra çevre açısından da önemli özelliklere sahiptir. Petrol kökenli yakıt türlerine göre, tam bir çevreci yakıt türüdür. Biyolojik olarak bozunabilirlik: biyodizel oluşturan C 16 - C 18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur 10.000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında biyodizelin 28 günde % 95'i motorinin ise % 40'ı bozunabilmektedir. Biyodizel doğada bozunabilme özelliği dekstroza (seker) benzemektedir. Bu özelliği sayesinde A.B.D'de doğal korumaya alınan bölgelerde kullanılan taşıtlarda biyodizel zorunlu olarak kullanılmaktadır.

Toksit etki; biyodizelin olumsuz bir toksit etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17.4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı seklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha fazla öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin cilt de % 4 lük sabun çözeltisinden daha az toksit etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksit olmamasına karşın biyodizel ve biyodizel karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan Standard koşulların (göz koruyucuları, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir. Depolama; motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel içinde geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, klorlanmış polietilen ve klorlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı plastomerlerin, doğal ve bütün kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyomotorin bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyomotorine uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanılması önerilmektedir (Kaplan, 2001).

5.9.1. Biyodizel Tarımı

Biyodizel tarımı ile ilgili olarak çeşitli eleştiriler söz konusudur. UBA(Alman Çevre Dairesi) tarafından 1992 yılında kolza bitkisi ekiminin iklim şartlarına ve ozon tabakasına zararlı N₂O emisyonuna yol açtığı iddia edilmiştir. Buna göre kolza tarlaları gübreleme amacıyla azot kullanılmaktaydı. Bakteriyel dönüşüm sonucu

diazotmonoksit emisyonu oluşuyordu. Her bir N₂O molekülü, CO₂'e göre 200 misli sera etkisine neden oluyordu. Buna karsı olarak, yoğun kolza ekimini söz konusu durumunda olabilecek N₂O emisyonu ile bilgilerin mevcut olmadığı ve bir benzin motorunda kullanılan Oksidasyon katalizörü ile 100 misliden daha fazla N₂O emisyonu oluşturduğu ileri sürülerek UBA'nın bu görüşleri eleştirilmektedir (Kaplan, 2001).

5.9.2. Türkiye Açısından Sonuçlar

Ülkemizde petrol kaynaklarının yetersiz olması diğer yandan yaşanılan enerji krizleri, alternatif enerji kaynaklarını gündeme getirmektedir. GAP projesi ile her yıl 150.000 hektar alanın sulu tarıma açılarak, toplam 1,7 milyon hektar alanın sulanması planlanmaktadır. Bu büyük projenin sadece yağlı tohum üretiminde % 73 gibi oldukça büyük bir artışa neden olacağı tahmin edilmektedir. (Kaplan, 2001).

Özellikle kolza, soya yağı ve pamuk yağının maliyetinin diğer yağlara göre düşük olması nedeniyle bu bitkiler ülkemizde yeniden yetiştirilmeye başlanmıştır. Bu bitkilerden elde edilen yağların henüz yeterince kullanılmaması iftimizi zor durumda bırakmakta ve bu bitkilerin üretiminde azalmaya gidilmektedir. Bu konuda üretilcek politikalar çerçevesinde Avrupa Birliği'nde uygulanmakta olan sbvance mekanizması isletilirse, çiftçilerin yağ bitkileri üretimine teşviki sağlanacaktır. Biyodizel kullanımı Türkiye açısından değerlendirilirse su sonuçlar ön plana çıkmaktadır. Türkiye'de dizel yakıtına alternatif bir yakıt retiliecektir. Üretilen yakıt evre dostu olarak, Türkiye'nin evre kirliliğinin azalmasına katkısı olacaktır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

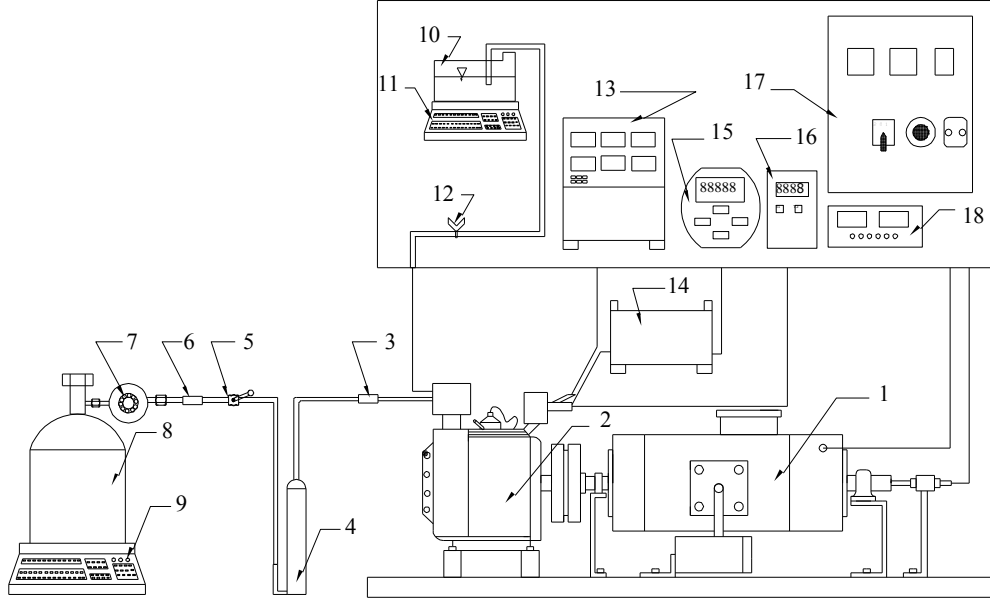
Bu çalışmada, tek silindirli, hava ile soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda sabit devir ve değişik yüklerde biyodizel / LPG çift yakıtı ile çalışmada LPG oranının motor performans ve emisyonlara etkileri araştırılmıştır.

6.2. DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEM

Deneysel çalışmayı gerçekleştirmek için, Çizelge 6.1.'de özellikleri verilen motorun çift yakıt ile çalışması için dizel yakıt sistemi aynen muhafaza edilmiş. Ancak, planlanan deney koşullarına uygun bir şekilde LPG yakıt gereksinimini karşılamak için LPG tankı, basınç regülatörü, alev geri tepme valfleri (iki adet), sulu güvenlik, LPG kontrol valfi ve emme manifolduna takılan nozuldan oluşan bir gaz yakıt sistemi kurulmuştur. Deney düzeneği Şekil 6.1.'de görülmektedir.

Çizelge 6.1. Deney motoruna ait teknik özellikler

Model	Katana KM 170F
Motor genel özellikleri	4 Zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli, direkt püskürtmeli
Çap x Strok (mm)	70 x 55
Kurs hacmi (cm ³)	199,28
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma Oranı	18/1
Yakıt Sistemi	Direkt püskürtme
Çıkış Gücü (2600 1/min) (kW)	1,937
Soğutma Sistemi	Cebri Hava Soğutmalı
Enjektör basıncı (MPa)	18



- 1- Dinamometre 2- Deney Motoru 3-Alev Geri Tepme Valfi 4- Sulu Güvenlik 5- LPG Vanası 6- Alev Geri Tepme Valfi 7- Basınç Regülatörü 8- LPG Tüpü 9- Elektronik Terazi 10- Dizel Yakıt Deposu 11- Elektronik Terazi 12- Yakıt Vanası 13- Emisyon Ölçüm Cihazı 14- İS Emisyon Ölçüm Cihazı 15- İS Emisyon Ölçüm Cihazı İndikatörü 16- Dijital Termometre 17- Dinamometre Kontrol Panosu 18- Load Cell İndikatörü.

Şekil 6.1. Deney tesisatının şematik görünüşü

LPG gaz yakıtı şekil 6.1.'de görüldüğü gibi regülatör ile basıncı düşürüldükten sonra miktarı da kontrol valfi ile ayarlanarak sulu güvenlik ve alev geri tepme valflerinden geçtikten sonra bir nozuldan emme subabı arkasına püskürtülmüştür. Pilot dizel yakıtı ise aynen muhafaza edilen motorun orijinal yakıt enjeksiyon sistemi ile silindir içine püskürtülmüştür. Sıvı ve gaz yakıt tüketimleri 0.01 g hassasiyete sahip Precisa marka XB serisi 4200C model elektronik terazi ve kronometre yardımı ile kütleli olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmada kullanılan dizel, biyodizel ve LPG yakıt özellikleri Çizelge 6.2. ve Çizelge 6.3.'te verilmiştir.

Çift yakıt içerisindeki gaz yakıt yüzdesini (LPG_{oran}) ifade etmek için aşağıda verilen (1) numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$LPG_{oran} = \frac{\dot{m}_{LPG}}{\dot{m}_{Biyodizel} + \dot{m}_{LPG}} \quad (1)$$

Buna göre $LPG_{orani} = \%0$ saf dizel yakıtı olduğunu, $LPG_{orani} = \%20$ ise kütleli olarak çift yakıtın $\%20$ 'sinin LPG, $\%80$ 'ninin biyodizel yakıtından oluştuğunu ifade etmektedir.

Çizelge 6.2. Biyodizel (kanola) yakıtının özellikleri. (DB Tarımsal Enerji, 2007)

Özellik	Değer
Yoğunluk (15 °C'da)	882.4 kg/m ³
Kinematik Viskozite (40 °C'da)	4.042 mm ² /s
Alevlenme Noktası	177 °C
Bakır Korozyonu (3 saat ve 50°C)	1. sınıf
Setan Sayısı	55.0
PH	7,38

Çizelge 6.3. Deneilerde kullanılan LPG yakıtının teknik özellikleri (<http://www.ipragaz.com.tr/docs/teknik.pdf>)

Özellikler	Propan-Bütan	Karışım LPG
Kapalı Kimyasal Formülü	C ₃ H ₈ - C ₄ H ₁₀	%30C ₃ H ₈ + %70C ₄ H ₁₀
Molekül Ağırlığı (g/mol)	44,09 – 58,12	53,91
Likid Halinde	Birim	Miks LPG^b
Normal Kaynama Noktası	°C	-13
Normal Erime Noktası	°C	-154
Normal Parlama Noktası	°C	-74
Normal Donma Noktası	°C	-153
Özgül Kütle (15°C)	kg/dm ³	0,56
Özgül Hacim (15°C)	dm ³ /kg	1,786
Tam yanma için gerekli hava miktarı	Nm ³ /kg	12,06
Buharlaştırma Gizli Isısı	MJ/kg	383,302
Alt Isıl Değeri	MJ/kg	45,908

Egzoz gaz sıcaklıkları K tipi termokupul ve dijital termometre ile ölçülmüştür. Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü ve MRU oprans 1600 duman ölçer kullanılmıştır. Deneysel çalışma sırasında olası bir LPG gaz kaçağını tespit etmek için DRAGER MSI SENSIT HXG marka gaz kaçak tespit cihazı kullanılmıştır. Ölçü aletlerinin kullanma kılavuzlarından tespit edilen hassasiyetleri ve hesaplanan belirsizlikler çizelge 6.4.'te verilmiştir. Tork, güç ve özgül yakıt tüketiminin belirsizlik analizi δ_z ;

$$z = f(x, y) \text{ Olmak üzere,}$$

$$\delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \delta y\right)^2} \quad (2)$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. Ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan sonuçların belirsizlikleri

<i>Ölçümler</i>	<i>Hassasiyet</i>
Yük	±%0,6 N
Yük kolu	±%0,1 m
Hız	±1 rpm
Zaman	±%1 s
Sıcaklık	%1 °C
CO (% vol)	±0,06%
CO ₂ (% vol)	±0,5%
NO _x (ppm)	±5
HC (ppm)	±12
O ₂ (% vol)	±0,1
Sıcaklık (°C)	±1°
Duman koyuluğu (%)	±%2
Hesaplanan sonuçlar	Belirsizlik
Tork	±%0,4
Güç	±%0,4
Özgül yakıt tüketimi	±%0,7

Motorun sağladığı maksimum tork ve tork devri baz alınarak deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi planlandığından ilk önce motorun maksimum tork ve tork devri deneysel olarak belirlenmiştir. Bunun için firma değerlerine göre ayarları yapılan ve dinamometreye bağlanan tek silindirli deney motoru, orijinal yakıt sistemi ve saf dizel yakıtı ile tam yükte (gaz kolu tam açık ve sabit) çalıştırılmıştır. Motor, dinamometre ile yüklenerek maksimum güç devri olan 3600 d/d dan başlanarak

200'er d/d aralıklarla (her defasında dinamometre ile uygulanan yük değiştirilerek) motorun sağladığı torklar tespit edilmiştir. Bu ön çalışma sonucunda maksimum torkun 2600 d/d da sağlandığı tespit edilmiş ve ondan sonra veriler almak üzere deneylere başlanmıştır. Bunun için; ilk önce ayrı ayrı olmak üzere saf dizel yakıtı ve saf biyodizel(kanola) yakıtı ile 2600 d/d da elde edilen maksimum torkun %20, 40, 60, 80 ve %100'ünde veriler kaydedilmiştir. Sonra, yine 2600 d/d da sağlanan maksimum torkun sırasıyla %20, %40, %60, %80 ve %100'ünde kütleli olarak tüketilen toplam yakıt debisinin %20, 40, 60 ve 80'ı LPG olacak şekilde deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek veriler kaydedilmiştir. Dizel, biyodizel sıvı yakıtları sunny marka elektronik terazi ile LPG gaz yakıt tüketimleri %1 g hassasiyetinde ölçüm yapılabilen laboratuarda mevcut olan elektronik terazi ve kronometre yardımıyla belirlenmiştir. Her bir çalışma koşulunda gerekli biyodizel/LPG yakıt oranı ise gaz kontrol valfi ve dizel yakıt koluna ayrı ayrı kumanda edilerek (örneğin LPG kontrol valfi ile bir miktar gaz verirken dizel yakıt sistemi kolu bir miktar stop'a çekilerek) sağlanmıştır. Hem biyodizel yakıtlı hem de çift yakıtlı her bir çalışma durumunda motorun kararlı çalışması sağlandıktan sonra kuvvet, egzoz gaz sıcaklığı (EGS), CO, HC, NO_x, is emisyonları ve hava fazlalık kat sayısı (λ) kaydedilmiştir.

6.3. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

Deneysel çalışmalar, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalı Motor Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

6.3.1. Dinamometre

Motorun yüklenmesi için Şekil 6.2. b)' de görülen Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ile motor kuvveti, hızı ve egzoz gazı sıcaklığı ölçülebilmektedir. Şekil 6.2. a)' da dinamometre kontrol panosu ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve mars yaptırılması mümkündür.



(a)



(b)

Şekil 6.2. a) Dinamometre kontrol panosu b) Dinamometre

6.3.2. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

LPG yakıt tüketimini için Şekil 6.3.'de görülen 1gr hassasiyetle ölçüm yapabilen DÖKÜMSAN JS-B 30kg x 1g Scale marka elektronik terazi ile dijital olarak yapılmıştır. Kullanılan elektronik terazinin maksimum 30 kg tartma kapasitesi ve 1 g hassasiyeti vardır.

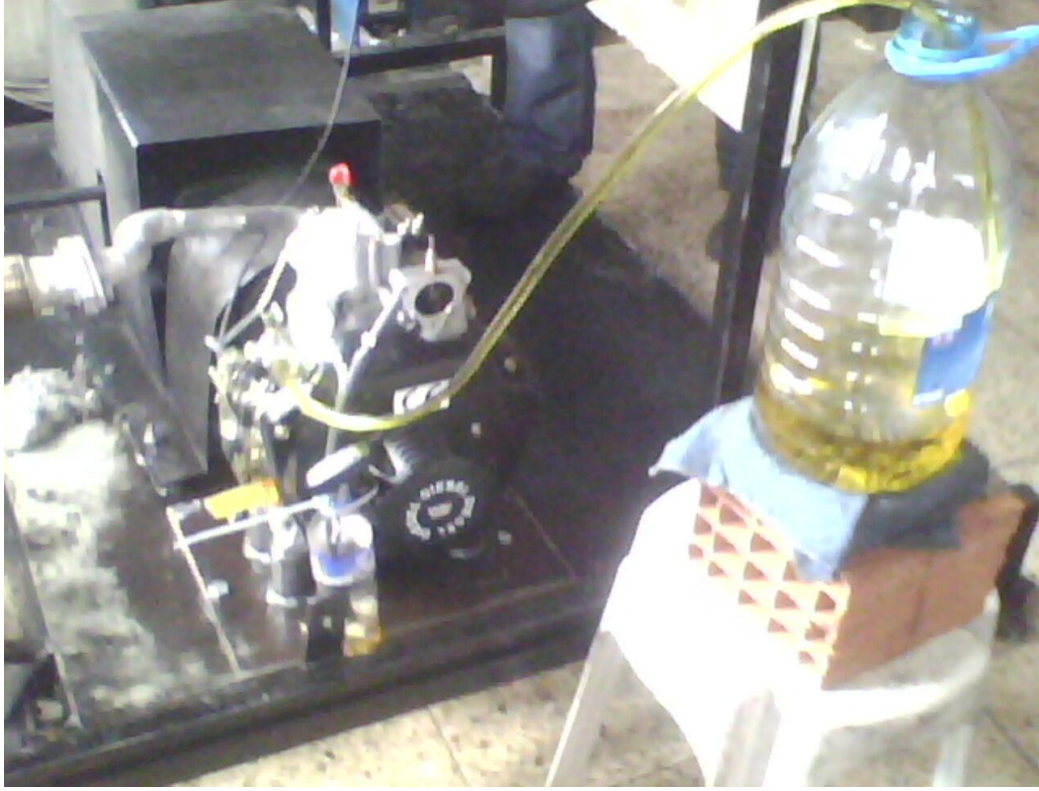


Şekil 6.3. LPG yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan elektronik terazi.

Ayrıca dizel ve biyodizel yakıtın özgül yakıt tüketimini daha hassas tespit etmek için SUNNY marka hassas terazi kullanılmıştır. Bu terazi ile 0-5000 gr arası hassas ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 6.4. ve 6.5.'da hassas terazinin kullanım şekilleri görülmektedir.



Şekil 6.4. Sıvı yakıt ve hassas terazi.



Şekil 6.5. Sıvı yakıtın hassas terazi üstünden deney motora gönderilmesi.

6.3.3. Kronometre

Yakıt tüketim süresinin ölçülmesinde Şekil 6.6.'da verilen 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Caston ST-613D marka bir kronometre kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Kronometre.

6.3.4. Yük Hücresi

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için ESIT marka SP 100 kg C1 Yük Hücresi ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonucunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor torku hesaplanmıştır. Yük Hücresi ve indikatörün görünümleri Şekil 6.7.'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.7. a) İndikatör ve b) Yük Hücresi genel görünümü.

6.3.5. Egzoz Gaz Analizörü ve İş Emisyon lm Cihazı

Deneylerde kullanılan egzoz gaz analizörü, MRU DELTA 1600L marka olup, HC, CO, CO₂, NO, NO_x, O₂ ve λ (hava fazlalık katsayısı) parametrelerini ölçebilmektedir. Şekil 6.8.'da egzoz emisyon ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 6.8. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

İs emisyonu ölçümü Şekil 6.9.'da görülen MRU OPTRANS 1600 is emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. İs ölçüm cihazı, bir data kablosu ile ölçüm bilgilerini gösterge adaptörüne is koyuluğu N ve K faktörü cinsinden ölçmektedir.



Şekil 6.9. İs emisyon ölçüm cihazı

6.3.6. LPG Tüpü ve Regülatörü

Deneylede LPG gaz yakıt ihtiyacı, Şekil 6.10.'da görülen İPRAGAZ marka 12 kg'lık mutfak tüpünden temin edilmiştir. LPG gazının basıncını kontrol edebilmek için LPG tüpünün üzerine ALTINBOGA marka gaz regülatörü takılmıştır.



Sekil 6.10. LPG tüpü ve regülatörü

6.3.7. Ölçekli Vana

LPG gazının debisinin hassas olarak kontrolü için Şekil 6.11.'de görülen hassas bir vana kumanda ucu, ölçeklendirilmiş karton levhadan geçirilmiş ve ucuna çelik bir tel bağlanarak kullanılmıştır.



Şekil 6.11. Ölçekli vana

6.3.8 Sulu Güvenlik

Alev geri tepme durumunda alevin geri tüpe ulaşmasını önlemek için. Şekil 6.12’de görülen sulu güvenlik donanımı kullanılmıştır.



Şekil 6.12. Sulu güvenlik

6.3.9. Alev Geri Tepme Valfi

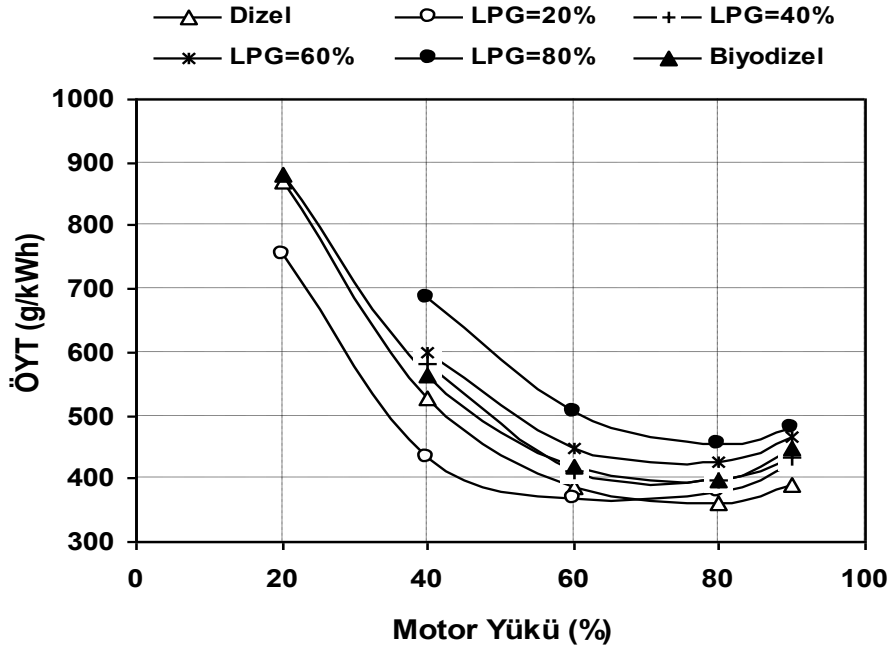
Alev geri tepmesine karşı sulu güvenlik ile birlikte iki adet kuru alev geri tepme valfi kullanılmıştır. Şekil 6.13.'de kuru alev geri tepme valfi görülmektedir



Şekil 6.13. Alev geri tepme valfi

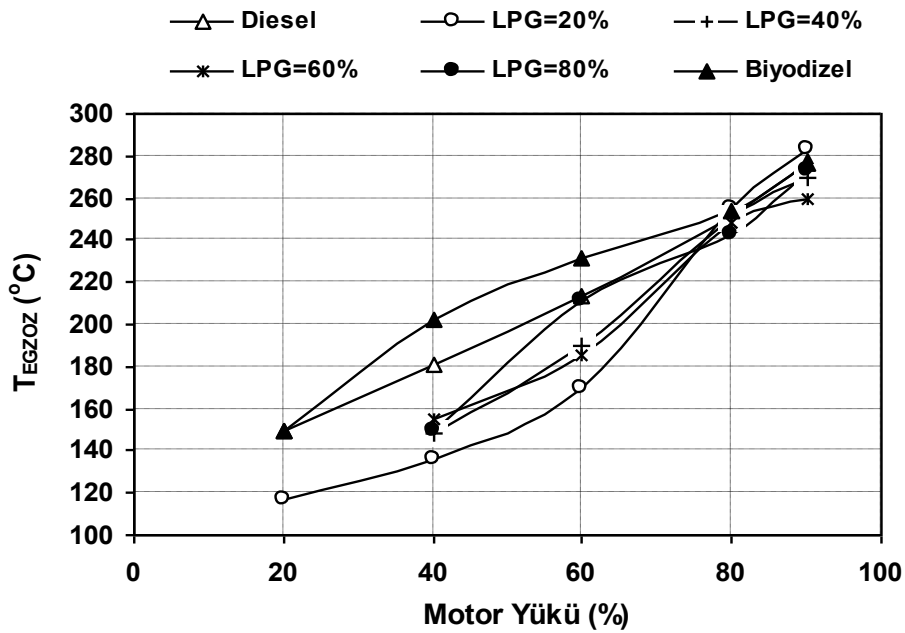
6.4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Biyodizel, dizel ve biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmadaki özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 6.14.'de yükün fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Çift yakıt içerisindeki LPG oranı %20 seviyesinde iken bütün yüklerde ÖYT biyodizel yakıtına göre düşüktür. Ancak, LPG oranı %40'ın üzerine çıktığında ÖYT dizel yakıtından fazla olmaktadır ve oran arttıkça fark da artmaktadır. %40'ın ve üzerinde LPG içeren çift yakıtlı çalışmada düşük yüklerde fazla olan ÖYT farkı yük arttıkça azalmaktadır. Düşük yüklerdeki farkın; karışımın fakir olması, silindir sıcaklığının düşük olması, gaz yakıtı tutuşturmak için ateşleyici biyodizel yakıtın az olması gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yük arttıkça ÖYT'nin azalarak dizel yakıtına yaklaşmasının sebebi ise, yanmaya katılan toplam yakıtın ve ateşleyici pilot biyodizel yakıtın artması sonucu yanmaya olumlu etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada gücün en az yakıt ile elde edildiği yani verimin yüksek olduğu LPG oranının %20-40 aralığında olduğu görülmüştür. Biyodizel ısıl değerinin dizel yakıtından düşük olmasından dolayı biyodizel ÖYT'nin dizel ÖYT'inden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.14. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile özgül yakıt tüketimi değişimi

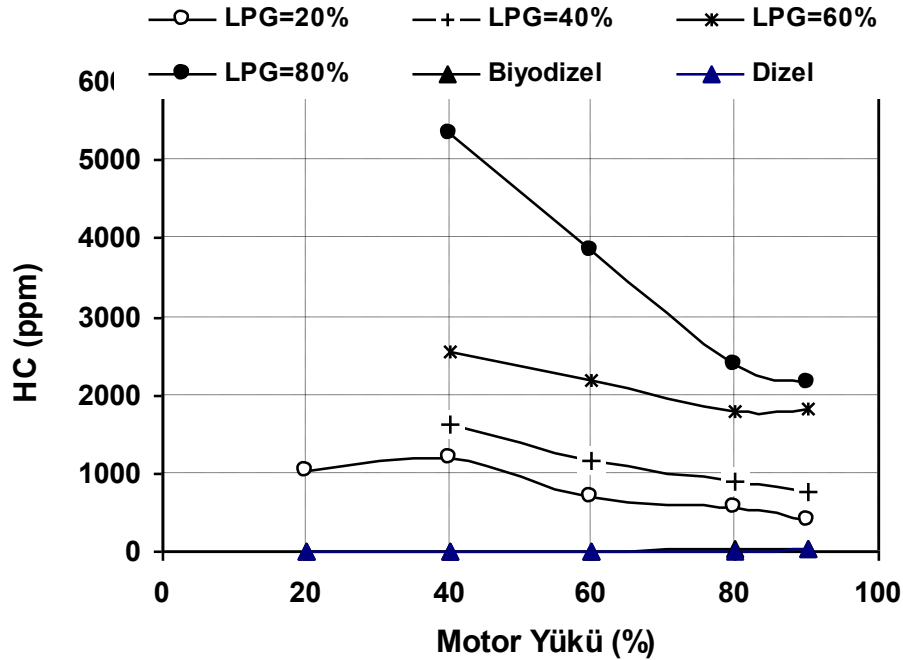
Egzoz gaz sıcaklığı Şekil 6.15.'de görüldüğü gibi %20-80 oranında biyodizel/LPG içeren çift yakıt çalışmalarında dizel ve biyodizel yakıtından daha düşüktür. Yük arttıkça biyodizel/LPG'li çalışmada EGS'nin da artarak dizel ve biyodizel yakıtıninkine yaklaştığı ve yaklaşık %75 yükten EGS'nin biyodizel ve dizel yakıtlı çalışmalara göre EGS'nin üstüne çıktığı görülmektedir. Biyodizel/LPG çift yakıt EGS'lerinin genel olarak biyodizel ve dizel yakıtından düşük çıkmasının sebepleri, LPG'nin silindir içerisinde daha homojen yanma hızının daha yüksek olması nedeniyle yanmasının egzozda daha az sarkması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.15. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile egzoz gaz sıcaklığı değışimi

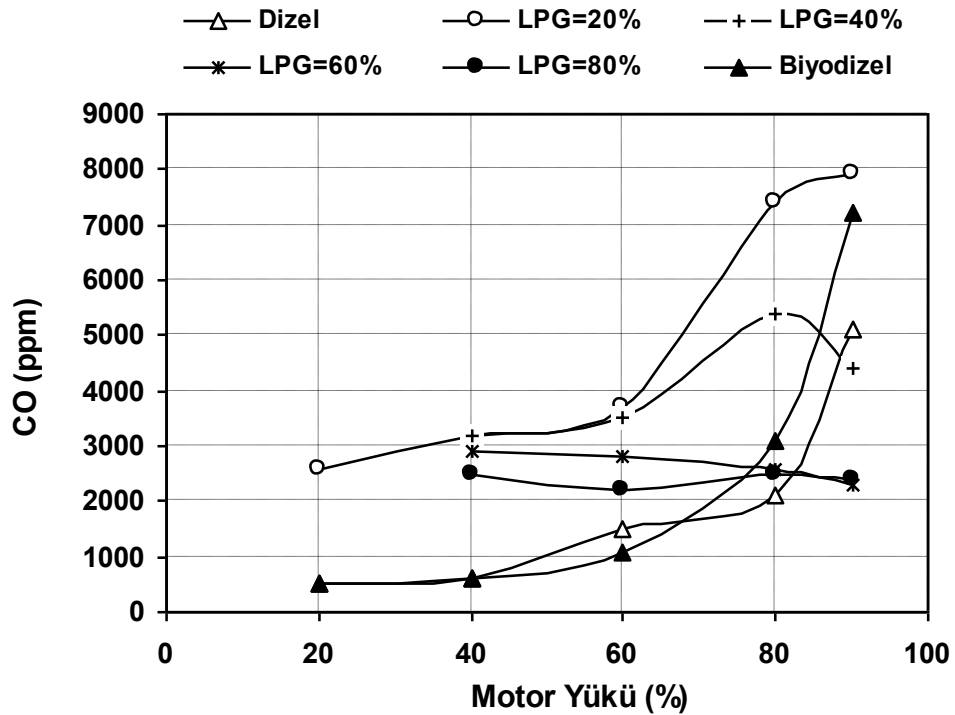
Dizel, biyodizel ve biyodizel/LPG çift yakıt için yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları yükün fonksiyonu olarak Şekil 6.16.'da verilmiştir. HC emisyonu hafif yükte çift yakıtlı çalışmalarda dizel yakıtına göre oldukça yüksektir. Yük arttıkça çift yakıtlı çalışmada HC emisyonunun biyodizel ve dizel yakıtına yaklaştığı görülmektedir. Örneğin; %20 yükte dizel yakıtı HC emisyonu 11 ppm iken %100 yükte 107 ppm'e ulaşmaktadır. %80 LPG içeren çift yakıt ile %40 yükte HC emisyonu 5000 ppm üzerinde iken yükün artması ile azalmaktadır. Ancak, yine de HC emisyonu olması gereken seviyenin çok üzerindedir. Sabit bir yükte (örneğin; %40 yükte) LPG oranı arttıkça HC emisyonunun önemli miktarda arttığı

görülmektedir. İleride görülebileceği gibi çift yakıt içerisindeki LPG oranı arttıkça hava fazlalık katsayısı önemli miktarda düşmektedir. Dolayısı ile LPG oranı arttıkça HC emisyonunun artmasının esas sebebinin bu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çift yakıtlı dizel motor performansına gaz çeşidi ve motor parametrelerinin etkisi adlı literatür değerlendirmesi çalışmasında; dizel yakıtla çalışan motorlarda yanma dört kademedir oluşurken, gaz/dizel çift yakıtla çalışan motorlarda ise gaz yakıtın da ayrı bir tutuşma gecikmesi olması nedeniyle yanmanın beş kademedir oluştuğu, gaz yakıtın difüzyon yanma kademesinin genişleme kursuna sarktığı ve bu yüzden bir miktar gaz hava karışımının oksijen eksikliğinden yanma fırsatı bulamayarak HC emisyonunu arttırabileceği ifade edilmiştir (Sahoo, 2008). Gerek dizel ve biyodizel gerekse biyodizel/gaz çift yakıtlı dizel motorlarda püskürtme zamanının emisyonlara etkisi ile ilgili yapılan çalışmalarda püskürtme zamanının bir miktar öne alınması ile özellikle CO ve HC emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir (Nwafor, 2006). Dolayısı ile LPG/biyodizel çift yakıtlı motorlarda, yanma fırsatı bulamayan gaz yakıttan kaynaklandığı düşünülen yüksek HC emisyonunu düşürmek için püskürtme zamanının bu emisyonlara etkisinin araştırılması önem arz etmektedir.



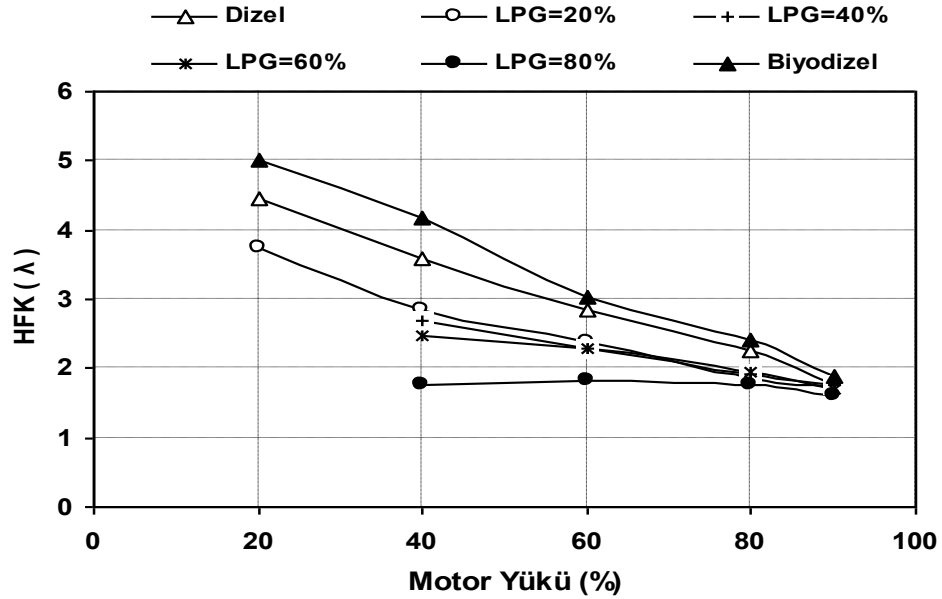
Şekil 6.16. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile HC emisyonu değişimi

Biyodizel, dizel ve farklı oranlarda LPG içeren biyodizel/LPG çift yakıtı için yükün fonksiyonu olarak CO emisyon değişimi Şekil 6.19.'da verilmiştir. Görüldüğü gibi hafif yükte çift yakıtlı çalışmalarda CO emisyonu, dizel yakıtına göre oldukça yüksektir. Çift yakıtlı dizel motor egzozunda yüksek CO emisyonu konsantrasyonu eksik yanmayı ifade etmektedir. Bunun sebebi hafif yüklerde karışımın fakir olması, silindir içi sıcaklığın düşük olması nedeniyle gaz yakıtın ayrışamaması ve oksitlenememesidir (Heywood, 1988). Yük arttıkça, LPG ve püskürtülen yakıt miktarı arttığı için daha iyi yanan zengin bir karışım oluşmakta, sıcaklık artmakta ki bu da CO emisyonunun azalarak dizel yakıtinkine yaklaşmasına neden olmaktadır. Belirli bir yükte LPG oranı arttıkça da CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Bunun birkaç sebebi olabilir; birincisi silindire giren pilot biyodizel yakıtın miktar olarak artması ve daha güçlü bir ateşleme sağlaması, ikincisi ısı değeri yüksek olan LPG'nin de miktar olarak artması sonucu açığa çıkan ısının artması ve üçüncüsü biyodizelin yapısında bulunan oksijenin yanmayı iyileştirmesidir.



Şekil 6.17. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile CO emisyonu değişimi

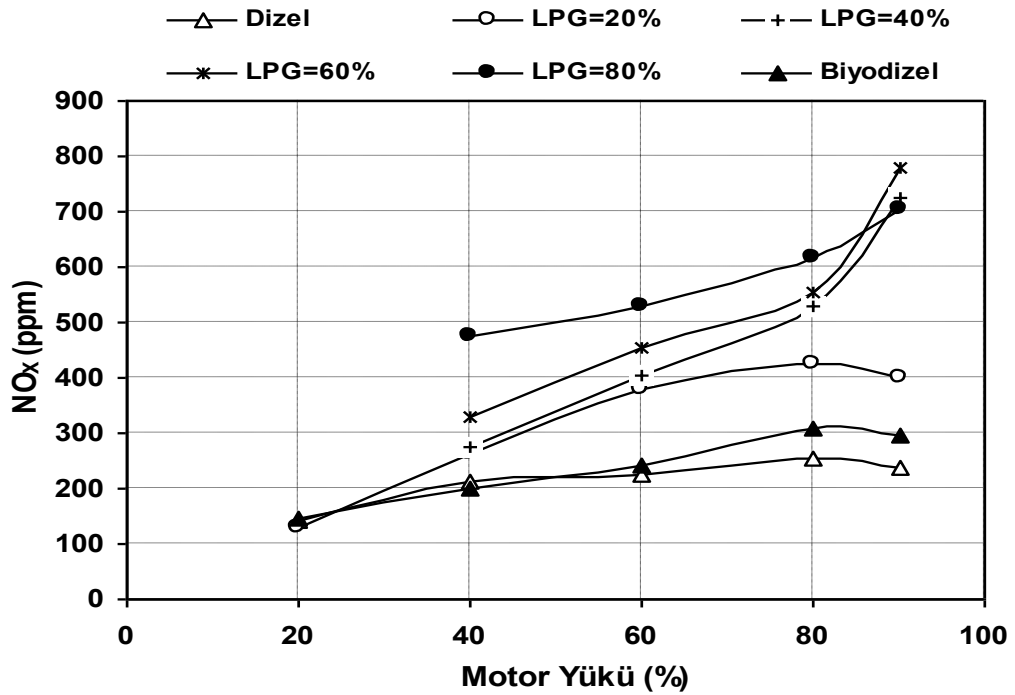
Test verilerine bakıldığında gaz yakıtın hava fazlalık katsayısını önemli miktarda etkilediği görüldüğünden hava fazlalık kat sayısının motor yüküne göre değişimi Şekil 6.18.'de verilmiştir. Görüldüğü gibi özellikle düşük yüklerde LPG oranı arttıkça hava fazlalık kat sayısı önemli miktarda düşmektedir. Örneğin %40 yükte hava fazlalık kat sayısı (λ) dizel yakıtına göre yaklaşık %100 oranında azalmaktadır. Hava fazlalık kat sayısının azalması, silindire giren gazın genişmesi ve artan gaz oranının daha çok yer kaplamasının doğal bir sonucudur. Bu çalışmada hava fazlalık katsayısı düştükçe HC emisyonunun artması, HC emisyonun hava fazlalık katsayısına çok duyarlı olduğunu göstermektedir. Ancak bu kısılsız hava ile çalışan dizel motorlar için istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden gaz/dizel çift yakıtı ile çalışan motorlarda artan HC emisyonlarının motora aşırı hava verilerek bir miktar düşürülebileceği düşüncesi oluşmuştur.



Şekil 6.18. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile Hava fazlalık katsayısının değişimi

Biyodizel, dizel ve çift yakıt için NO_x emisyonlarının motor yüküne göre değişimi Şekil 6.19.'de gösterilmiştir. Yük arttıkça hem biyodizel, dizel yakıtı ile hem de her oranda LPG içeren çift yakıtlar ile NO_x emisyonu artmaktadır. NO_x oluşumunun yüksek yanma sıcaklığında yüksek oksijen konsantrasyonu tarafından desteklendiği ifade edilmiştir (Heywood, 1988). Dolayısı ile yük arttıkça NO_x emisyonunun

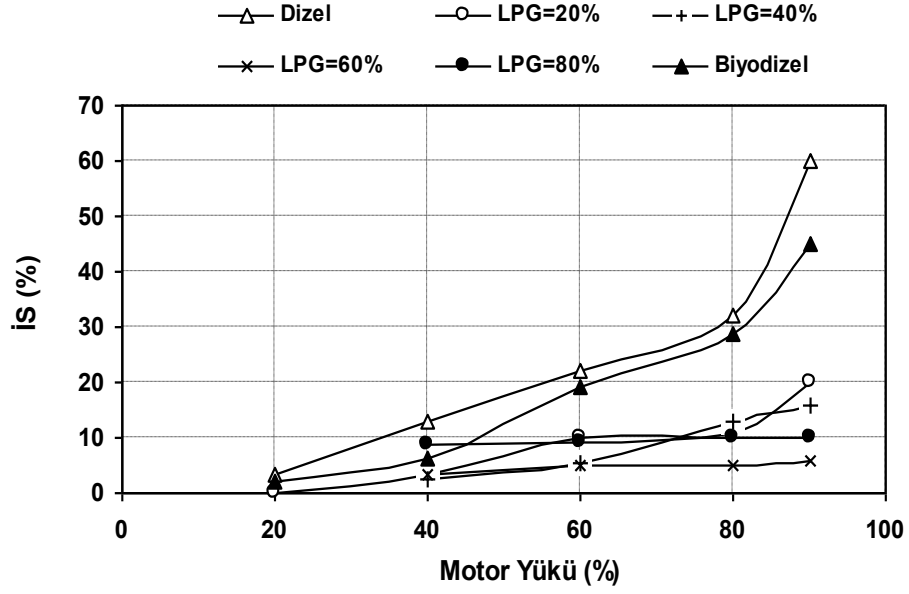
artması, çevrim başına yanmaya katılan yakıt miktarının artmasının silindir içi sıcaklığını arttırmasının doğal bir sonucudur. Aktaş ve Doğan, (2010) tarafından dizel/LPG çift yakıtlı bir dizel motorda LPG yüzdesinin performans ve egzoz emisyonlarına etkisi adlı çalışmada NOx emisyonu yük arttıkça artmış ancak biyodizel LPG emisyonları dizel NOx emisyonundan düşük seviyede kalmıştır. Bu çalışmada ise biyodizel/LPG NOx emisyonları ise biyodizel ve dizel yakıtından yüksek çıkmıştır. Bunun, biyodizelin oksijen içermesi, setan sayısının yüksek olması ve dolayısı ile yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.19. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile NOx emisyonu değişimi

Biyodizel, dizel ve çift yakıt biyodizel/LPG için is emisyonunun motor yüküne göre değişimi Şekil 6.20.'de görülmektedir. Dizel yakıtın silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hava ile hızlı bir şekilde karışamaması ve buharlaşamaması is oluşumunun başlıca nedeni olarak ifade edilmiştir (Abdel-Rahman, 1998). Bu çalışmada da belirli bir yük için ihtiyaç duyulan yakıt içinde LPG arttıkça, is oluşumuna daha çok sebep olan, hava ile daha zor karışan, daha zor buharlaşan biyodizel yakıtı azaldığı için is emisyonu önemli miktarda düşmektedir. Örneğin %80 yükte biyodizel yakıtı ile %30 civarı olan is emisyonu, %20 LPG

içeren çift yakıt ile %10'a ve %80 LPG içeren çift yakıt ile %9-10'a düşmektedir. Aktaş vd, (2010) yaptıkları dizel/LPG çift yakıtlı çalışmada, tam yükte dizel yakıtı ile %40 seviyesinde olan is emisyonunun %1'lere kadar düştüğünü tespit etmişlerdir.



Şekil 6.20. Dizel, biyodizel ve biyodizel / LPG yakıtının motor yükü ile İs emisyonu değişimi

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, biyodizel/LPG çift yakıtlı bir motorda sabit devirde ve değişen yüklerde LPG oranının motor performans ve emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmış ve aşağıda belirtilen başlıca sonuçlar elde edilmiştir.

Gücün en az yakıt ile elde edildiği yani verimin yüksek olduğu LPG oranının %20-40 civarı olduğu görülmüştür. LPG oranı %20 seviyesinde iken bütün yüklerde ÖYT biyodizel yakıtına göre düşüktür. Ancak LPG oranı %40'ın üzerine çıktığında ÖYT dizel yakıtından fazla olmaktadır ve oran arttıkça fark da artmaktadır. %40'ın ve üzerinde LPG içeren çift yakıtlı çalışmada düşük yüklerde fazla olan ÖYT farkı yük arttıkça azalmaktadır

Egzoz gaz sıcaklığı %20-80 oranında biyodizel/LPG içeren çift yakıt çalışmalarında dizel ve biyodizel yakıtından düşük çıkmıştır. Yük arttıkça biyodizel/LPG'li çalışmada EGS artarak dizel ve biyodizel yakıtına yaklaşmıştır.

Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada NO_x emisyonlarının saf dizel ve biyodizel yakıtlarından yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

İs emisyonları için, %80 yükte biyodizel yakıtı ile %30 civarı olan is emisyonu, %20 LPG içeren çift yakıt ile %10'a ve %80 LPG içeren çift yakıt ile %9-10'a düştüğü görülmüştür.

Çift yakıtlı çalışmanın, hava fazlalık katsayısını önemli miktarda etkilediği görülmüştür. Özellikle düşük yüklerde LPG oranı arttıkça hava fazlalık kat sayısı önemli miktarda düşmüştür.

Hafif yükte çift yakıtlı çalışmalarda CO emisyonu, dizel yakıtına göre yüksek çıkmıştır. Belirli bir yükte LPG oranı arttıkça da CO emisyonu azalmıştır.

HC emisyonu hafif yükte çift yakıtlı çalışmalarda biyodizel ve dizel yakıtına göre oldukça yüksek çıkmıştır. Yük arttıkça çift yakıtlı çalışmada HC emisyonunun biyodizel ve dizel yakıtına yaklaştığı görülmüştür. Belirli bir yükte LPG oranı arttıkça da HC emisyonunun önemli miktarda arttığı anlaşılmıştır.

Düşük yük, yüksek LPG oranlarında pilot yakıtın iyice azalması nedeniyle motorun düzenli çalışmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; kütleli olarak %80 LPG oranına kadar biyodizel/LPG çift yakıtı ile tek silindirli dizel motorun düzenli olarak çalıştığı görülmüştür. Ancak performans ve emisyon sonuçları bakımından en uygun LPG oranının %40-60 civarı olduğu anlaşılmıştır.

Yakıt tüketimlerinin daha hassas tayin edilebilmesi için yakıt debimetresi kullanılabilir. Sıvı ve gaz yakıt debimetrelerinin kullanılması özellikle çift yakıt uygulamalarında silindir içine gönderilen yakıtların oransal olarak tayin edilmesinde kolaylık sağlayacaktır.

LPG gibi oktan sayısı yüksek gaz yakıtların vurutuya sebep olmadan hangi oranlara kadar kullanılabileceğini tespit etmek açısından vurutu ve silindir içi basınç ölçme sensörleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Abdel-Rahman, A.A., “On The Emissions From Internal-Combustion Engines: A Review”, *International Journal of Energy Research*, 22 (6): 483-513 (1998).

Abd Alla G., Soliman, H. A., Badr, O. A., Abd Rabbo, M. F., “Effect of pilot fuel quantity on performance of a dual fuel engine”, *Energy Conversion & Management* 41, 559- 572 (1998).

Acaroğlu, M., “Alternatif Enerji Kaynakları”, *Atlas Kitabevi*, İstanbul, (2003).

Aktaş, A., ve 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).

Aktaş, A., ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 23 (1): 199-206 (2008).

Altın, R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-67 (1998).

Anonim, “TÜPRAŞ Rafineri LPG Analiz Sonuçları”, *Teknik Servis Müdürlüğü*, Aralık, Kırıkkale, (1996).

Anonim, “Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı”, *Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi*, Konya, (1998).

Anonim, “LPG Analiz Sonuçları”, *HABAŞ*, İstanbul, (1999).

Anonim, “Yakıtlar ve Yağlar”, *Petrol Ofisi Madeni Yağ Şube Müdürlüğü, Petrol Ofisi Yayınları*, İstanbul, (2001).

Anonim, “LPG'nin Özellikleri ve Emniyetli Kullanımı”, *TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası, LPG Eğitim Yayını*, İstanbul, (2002).

Anonim, “LPG Servis El Kitabı”, *Aygaz LPG Servis Müdürlüğü*, İstanbul, (2003).

Anonim, Elektrik İşleri Etüt Dairesi Genel Müdürlüğü, Ankara, <http://www.eie.gov.tr> (2005).

Banapurmath, N.R., Tewari, P.G., Hosmath, R.S., “Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters”, *Renewable Energy*, 33, 1982–1988 (2008).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları -3*, Ankara, 259-264 (1994).

Carlucci, A. P., Ficarella A., Laforgia D., “Control of The Combustion Behaviour in A Diesel Engine Using Early Injection And Gas Addition”, *Applied Thermal Engineering*, 26, 2279–2286 (2006).

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

Çanakçı M., and Gerpen J. V., “Biodiesel production via acid catalysis”, *Trans. ASAE*, 42 (5): 1203–1210 (1999).

Çanakçı M., Gerpen J. V., “Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids”, *Trans. ASAE*, 44 (6): 1429–1436 (2001).

Çanakçı M., “Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel”, *Bioresource Technology*, 98: 1167-1175 (2007).

Çarman, K., Salman, S., Ciniviz, M., “Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı + LPG Kullanımının Performans Ve Emisyona Etkisi”, *Selçuk-Teknik Online Dergisi/Issn*, 1302- 6178 (2001).

Çelik, V., Akay, M.E., “Taşıtlarda LPG Uygulamasının Ekonomik Açıdan İncelenmesi”, *LPG Otogaz Sempozyumu*, MMOE 257, İstanbul, (2000).

Çetinkaya S., “Yakıtlar ve Yanma”, *G.Ü.T.E.F. Otomotiv ABD*, Ankara, (1989).

DB Tarımsal Enerji San. ve Tic. A.Ş. İzmir, (2007).
http://www.dbtarimsalenerji.com.tr/delta_uploaded_files/file/SGS_14214.html

Demirbaş A., “Biodiesel from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey”, *Energy Conversion and Management*, 44: 2093-2109 (2003).

Demirbaş A., “Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide”, *Energy Conversion and Management*, 48: 937-941 (2007).

Dong, J., Gao, X, Li G and Zhang, X. “Study on Diesel-LPG Dual-Fuel Engines”, *SAE*, 01-3679 (2001).

Duc, P. M., Wattanavichien, K., “Study on Biogas Premixed Charge Diesel Dual Fuelled Engine”, *Energy Conversion and Management*, 48: 2286-2308 (2007).

D'Ippolito S. A., Yori J. C., Iturria M. E., Pieck C. L. and Vera C. R., "Analysis of a two-step, noncatalytic, supercritical biodiesel, production process with heat recovery", *Energy & Fuels*, 21: 339-346 (2007).

Erdoğan D., Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. T.Mek. **13. Ulusal Kongresi**, Konya, 25-37 (1991).

Georing C.E., A.W. Schwab, M.J. Daugherty, E.H. Pryde, A.J. Heakin, "Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils", *ASAE*, USA, 1472-1477 (1982).

Gerpen J. H, Peterson C. L. and Goering C. E., "Biodiesel: an alternative fuel for compression ignition engines", *ASAE*, 31: 1-22 (2007).

He, Y., and Bao, Y. D., "Study on rapeseed oil as alternative fuel for a singlecylinder diesel engine", *Renewable Energy*, 28: 1447-1453 (2003).

Hacıkadiroğlu, H., "Bitkisel yağ esterleri – motorin karışımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 37-41 (2007).

Heywood, J.B. "Internal combustion engine Fundamentals", *McGraw Hill Book Co.*, (1988).

Huzayyin A.S., Bawady A.H., Rady M.A., Dawood A., "Experimental evaluation of Diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and Diesel fuel", *Energy Conversion and Management*, 45 (13): 2093-2112 (2004).

İçingür, Y., "Yakıtlar ve Yanma Ders Notları", *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, (1994).

İçingür Y., Altıparmak D., "Experimental Analysis Of The Effects Of Fuel Enjection Pressure And Fuel Cetane Number On Direct Injection Diesel Engine Emissions", *Türkish J. Eng. Env. Sci.*, 291 – 297 (2003).

İlkılıç C., Yücesu H.S., "Pamuk Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisi", *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Elazığ, 14: 1 – 8 (2002).

İlkılıç C., Öner C., "Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Motorin Karışımı Kullanılarak Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi", *F. Ü. Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15: 1 – 7 (2003).

Junjun, M., Xingcai, L., Libin, J., Zhen, H., "An Experimental Study of HCCI-DI Combustion and Emissions in A Diesel Engine With Dual Fuel", *International Journal of Thermal Sciences*, (2007).

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

Karakus, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 98 (2000).

Karaosmanoglu F., “Vegetable oil fuels: a review”, **Energy Sources**, 21: 221-231 (1999).

Karasu, T., ve Yelken, B., “Dizel Motorları Meslek Bilgisi”, **Mesleki Eğitim Ve Küçük Sanayi Destekleme Vakfı**, İzmir, 36 (1997).

Kaplan C., “Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı, Bilim Uzmanlığı Tezi”, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 16–33 (2001).

Kaufman K.R., M. Ziejewski, G.L. Pratt, H.J. Goettler, “Fuel Injection Anomalies Observed During Long-Term Engine Performance Tests on Alternative Fuels”. **Society of Automotive Engineers**, USA, 852089 (1986).

Kaya, C., Hamamcı, C., Baysal, A., Akba, O., Erdogan, S., Saydut, A., “Methyl ester of peanut (*Arachis hypogea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production”, **Renewable Energy**, 34: 1257–1260 (2009).

Kegl B., “Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine injection pump using biodiesel fuel”, **Energy & Fuels**, 20 (4): 1460-1470 (2006).

Kurulay, N.S., Yeşil, A. “LPG ‘nin Otto Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması Halinde Egsoz Gazı Emisyon Değerlerinin İrdelenmesi”, **Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Ders Notları**, İZMİR.

Lovato, **LPG Sistem El Kitabı**, Vicenza, İTALYA, (1999b).

Masood, M., _shat, M, M. and Reddy, A, S., “Computational combustion and emission analysis of hydrogen–diesel blends with experimental verification”, **International Journal of Hydrogen Energy**, 32: 2539–2547 (2007).

Nwafor, O. M. I., “Effect of Advanced Injection Timing on Emission Characteristics of Diesel Engine Running on Natural Gas”, **Renewable Energy**, 32: 2361-2368 (2006).

Nwafor, O. M. I., Rice G., “Performance of rapeseed oil blends in diesel engines”, **Applied Energy**, 54 (4): 345-354 (1996).

Oğuz H., “Dizel Yakıtı-Ayçiçek Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Araştırılması”, Bilim Uzmanlığı Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 5 – 9 (1998).

Öz, İ.H., Borat, O., ve Sürmen, A., “İçten Yamalı Motorlar”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 164-169 (2003).

- Özsezen, A. N., Çanakçı, M., Türkcan, A., Sayın, C., “Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters”, *Fuel*, 88: 629–63 (2009).
- Papagiannakis, R. G., and Hountalas, D. T., “Combustion and exhaust emission characteristics of a dualfuel compression ignition engine operated with pilot Diesel fuel and natural gas” *Energy Conversion and Management*, 45: 2971–2987 (2004).
- Papagiannakis, R. G., Hountalas, D. T., Rakopoulos, C. D., “Theoretical Study of The Effects of Pilot Fuel Quantity And Its Injection Timing on The Performance And Emissions of A Dual Fuel Diesel Engine”, *Energy Conversion And Management*, 48: 2951-2961 (2006).
- Peterson C.L., “Vegetable Oil as a Diesel Fuel: Status and Research Priorities”. *Transactions of the ASAE*, USA, 1413–1422 (1986).
- Pirouzpanah, V., Barkhordarian, A. M., “Dual-Fuelling of An Industrial Indirect Injection Diesel Engine by Diesel and Liquid Petroleum Gas”, *Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz*, Tabriz, Iran, (1995).
- Polat, İ., “Benzin Motorunun LPG İle Çalışacak Şekilde Dönüşümü Yapılarak, Farklı Ateşleme Avansı Değerlerinde Performans ve Emisyon Davranışının İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (1999).
- Qi, D. H., Bian, Y. Z. H., Ma, Z. H. Y., Zhang, C. H. H., and Liu, SH. Q., “Combustion and Exhaust Emission Characteristics of A Compression Ignition Engine Using Liquefied Petroleum Gas-Diesel Blended Fuel”, *Energy Conversion And Management*, Volume 48 (2): 500-509 (2007).
- Rakopoulos C. D., Antonopoulos, K. A., Rakopoulos, D. C., Hountalas, D. T. And Giakoumis, E. G., “Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins”, *Energy Conversion and Management*, 47 (18-19): 3272-3287 (2006).
- Ramadhas A. S., Jayaraj S. and Muraleedharan C., “Use of vegetable oil as I.C. engine fuels - A review”, *Renewable Energy*, 29: 727-742 (2004).
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., “Dual Fuel Mode Operation in Diesel Engines Using Renewable Fuels: Rubber Seed Oil And Coir-Pith Producer Gas”, *Renewable Energy*, 37: 2634-2647 (2007).
- Romano S., “Vegetable oils - a new alternative, Vegetable Oil Fuels: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels”, *ASAE Publication*, Fargo, 106-116 (1982).
- Sahoo, P.K., Das, L.M., “Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine”, *Fuel*, 88: 994–999 (2009).

Schumacher G.L, “Data From Series 60 DDC Engines,American Public Transit Association Bus Operations And Technology Conference Reno”, **Biodiesel Emissions**, Nevada, (1995).

Selim, M. Y. E., Radwan, M. S., Saleh, H. E., “Improving The Performance of Dual Fuel Engines Running on Natural Gas/LPG by Using Pilot Fuel Derived From joboba seeds”, **Renewable Energy**, 33: 1173-1185 (2008).

Selim, M. Y. E., “Effect Of Engine Parameters And Gaseous Fuel Type on The Cyclic Variability of Dual Fuel Engines”, **Fuel**, 84: 961–971 (2004).

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).

Soruçbay, C., Ergeneman, M., “Benzin Motorlu Taşıtların LPG Kullanımına Dönüşümü”, **Mühendis ve Makine**, 37: Ekim, Ankara, (1997).

Sönmez. İ., “Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi” **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 10-24 (2006).

Srivastava, P.K., Verma, M., “Methyl ester of karanja oil as an alternative renewable source energy”, **Fuel**, 87: 1673–1677 (2008).

Şahin, Ö., “Biyodizel ile çalışan bir motora hidrojen ilave edilmesinin motor performansına ve emisyonlara etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 13-36 (2009).

Tekiner, K., “Doğalgazın sıkıştırılmış formlarının araçlarda motor yakıtı olarak kullanılması ve uygulama şartlarının incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 17-44 (2006).

Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 6-25 (2005).

Topgül T., “Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansı ve püskürtme basıncının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, Yüksek.Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 61-67 (2000).

T.S. 2178, “Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)”, **TSE**, Ankara, (1991).

TS-EN 589, “Otomotiv Yakıtları, LPG Özellikleri ve Deney Metotları”, **TSE**, Ankara, (1996).

Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK), “<http://www.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>”, Ankara, (2007).

Ulusoy. Y, and Alibaş. K., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi”, *Ulud. Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16: 37–50 (2002).

Ulusoy Y., “Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6 – 11 (1999).

Ünal, C., “Örnek dizel motorda püskürtmenin fazlara ayrılmasının NO_x ve is oluşumuna etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-12 (2006).

Wang, J., Chena H., Liua, B. and Huang, Z., “Study of cycle-by-cycle variations of a spark ignition engine fueled with natural gas–hydrogen blends”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (18): 4876–4883 (2008).

Yamık, H., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-74 (2002).

Yiğit, A., “Bir dizel motorda lpg kullanılması ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 31-38 (2008).

Yori J. C., D’Ippolito S. A., Pieck C. L., and Vera C. R., “Deglycerolization of biodiesel streams by adsorption over silica beds”, *Energy & Fuels*, 21 (1): 347-353 (2007).

Yücesu, S., “Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Doğalgazın Yakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 26-37 (1991).

EK AÇIKLAMALAR A

**KANOLA BİYODİZELİN YAKIT ÖZELLİKLERİ VE ANALİZ
RAPORLARI**

**ANALYTICAL REPORT SR-1163539.01.A02**

P.1/3

grade	GASOIL, Biodiesel EN 14214
sample 600	Sample 1- DB
sample 601	Sample 2- DB
date received	24.08.2007

	<u>600</u>	<u>601</u>
<u>Gas chromatographic analysis</u> (EN 14103)		
- Ester content, % wt	98.7	98.8
- Linolenic acid methyl ester, % wt	0.2	0.2
<u>Density at 15 °C, kg/m³</u> (EN ISO 12185)	882.4	882.7
<u>Kinematic viscosity at 40 °C, mm²/s</u> (EN ISO 3104)	4.042	4.129
<u>Flash point, °C</u> (EN ISO 3679)	177.0	177.0
<u>Sulphur, mg/kg</u> (ISO 20846)	<3	<3
<u>Micro carbon residue on 10% distillation residue, % wt</u> (EN ISO 10370 modified)	0.12	0.10
<u>Cetane number</u> (EN ISO 5165)	55.0	55.0
<u>Sulphated ash, % wt</u> (EN ISO 3987)	<0.01	<0.01

SGS Nederland B.V. | Malledijk 18, P.O. Box 200, 3200 AE Spijkenisse | t +31-181-693333 | f +31-181-693566 | www.sgs.com
R.C. Rotterdam no. 24226772 | Member of the SGS Group (Societa Generale de Surveillance)

All orders are executed as per agreed contracts. In the absence of such agreements orders are executed in accordance with the latest version of our conditions filed at the Rotterdam District Court of the General Cargo Survey and Inspection Conditions, last version, filed at the Rotterdam District Court and at the Chamber of Commerce in Rotterdam. Upon request the conditions will be sent to you.

Şekil A.1. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu 1 (DB tarımsal, 2007)

ANALYTICAL REPORT SR-1163539.01.A02**P. 2/3**

<u>Water</u> , mg/kg (EN ISO 12937)	<u>600</u> 240	<u>601</u> 240
<u>Total Contamination</u> , mg/kg (EN 12662)	5	5
<u>Copper strip corrosion</u> , 3 hours at 50 °C (EN ISO 2160)	Class 1	Class 1
<u>Oxidation stability</u> at 110°C, hrs (EN 14112)	9.0	10.5
<u>Acid value</u> , mg KOH / g (EN 14104)	0.31	0.33
<u>Iodine value</u> , g/100 g (EN 14111)	112	112
<u>Methanol</u> , % wt (EN 14110)	0.01	0.01
<u>Gaschromatographic analysis</u> (EN 14105)		
- Monoglyceride, % wt	0.28	0.24
- Diglyceride, % wt	0.02	0.02
- Triglyceride, % wt	0.03	0.02
- Free glycerol, % wt	0.01	0.02
- Total glycerol, % wt	0.08	0.09
<u>Na + K (group I metals)</u> , mg/kg (EN 14538)	<1.0	<1.0
<u>Ca + Mg (group II metals)</u> , mg/kg (EN 14538)	<1.0	<1.0
<u>Phosphorous</u> , mg/kg (EN 14107)	<1	<1
<u>Cold filter plugging point</u> , °C (EN 116)		
<u>Cloud point</u> , °C (EN 23015)		
<u>Gaschromatographic analysis</u> (EN 14103)		
- Polyunsaturated (4 or more double bonds) methylesters, % wt	<0.7	<0.7

Şekil A.2. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu 2 (DB tarımsal, 2007)

SGS

ANALYTICAL REPORT SR-1163539.01.A02

P. 3/3

End of analytical results

Spijkensse, the 28th August 2007
Oil, Gas & Chemicals Services



M. Audier
Laboratory Manager

Reports are established on behalf of and for the account of the principal, who expressly accepts that these reports purely represent the situation at a given time and that they must always be presented and/or mentioned in their totality and in their particular context. SGS Nederland B.V., issuer of the reports, cannot be held liable for errors of results during electronic or fax transmission. Only the originally signed report is binding.
The analytical report can only be used within the specific context of the order and is only valid for the samples analysed. Precision parameters apply in the determination of above results. Refer to ASTM D 3244 or EN ISO 4269.
Unless specified, the latest available issue of test methods in our possession has been used.

Şekil A.3. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu 3 (DB tarımsal, 2007)

EK AÇIKLAMALAR B

DENEYLERE İLİŞKİN HESAPLAMALAR

Deneysel sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 25 cm uzaklıktaki Yük Hücrelerinden okunarak hesaplara dâhil edilmiştir.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F * g * L$$

Burada;

M_e : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load Cell'den okunan kütle (N)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

L : Motor merkezinin Load Cell'e uzaklığı (m)

Motor gücü değişimi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e * n}{9549}$$

P_e : Efektif motor gücü (kW)

M_e : Efektif motor momenti (Nm)

n : Motor devri (d/d)

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır;

$$b_e = \frac{B * 1000}{P_e}$$

B: Birim zamanda yakıt tüketimi (kg/h)

Çift yakıt içerisindeki gaz yakıt yüzdesini (LPG_{orani}) ifade etmek için aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$LPG_{orani} = \frac{\dot{m}_{LPG}}{\dot{m}_{Biyodizel} + \dot{m}_{LPG}}$$

$\dot{m}_{Biyodizel}$: Biyodizel debisi (kg/h) (Birim zamanda tüketilen biyodizel)

\dot{m}_{LPG} : LPG debisi (kg/h) (Birim zamanda tüketilen LPG)

ÖZGEÇMİŞ

Süleyman SARAÇ 1986 yılında Üsküdar/İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Yakacık Endüstri Meslek Lisesi Bilgisayar Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2008 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2008 yılında Ford Atılğan Otomotiv A.Ş.' de Satış sonrası hizmetler sorumlusu olarak göreve başladı. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Fatih Mh. Yakacık Cd. Osmanlı Sk.
No:29
Sancaktepe / İSTANBUL

Tel: (543) 639 62 78

E-posta: slymn_sarac@hotmail.com