

**BİYODİZEL/LPG ÇİFT YAKITLI BİR MOTORDA  
PÜSKÜRTME ZAMANININ PERFORMANS VE  
EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Sercan SOLAK**

**BİYODİZEL/LPG ÇİFT YAKITLI BİR MOTORDA PÜSKÜRTME  
ZAMANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Sercan SOLAK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2013**

Sercan SOLAK tarafından hazırlanan “BİYODİZEL / LPG ÇİFT YAKITLI BİR MOTORDA PÜSKÜRTME ZAMANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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. 15 / 01 / 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN

Üye : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan DOĞAN

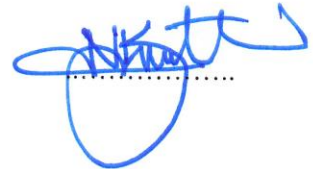
İmzası



...../...../2013

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

Prof. 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.”*

Sercan SOLAK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BİYODİZEL/LPG ÇİFT YAKITLI BİR MOTORDA PÜSKÜRTME ZAMANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Sercan SOLAK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ**

**Ocak 2013, 77 sayfa**

Bu çalışmada; tek silindirli, direkt püskürtmeli, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda, dizel yakıtı yerine kütleli olarak %30 LPG + %70 Biyodizel içeren yakıt kullanılarak, değişik yük ve farklı püskürtme avansı koşullarında, performans ve emisyonların değişimi araştırılmıştır.

Bu çalışmanın gerekçesi, biyodizel yakıtı ile birlikte LPG'nin kullanılması ile ilgili sınırlı sayıda araştırma yapılmış olması ve Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada farklı püskürtme avanslarının etkisinin pek araştırılmamış olmasıdır.

Deneysel çalışma, 3000 d/d sabit motor hızında, 22,5°, 25°, 27,5° ve 30° KMA değerlerinde, değişik yük ve çift yakıt ile gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapmak için aynı koşullarda saf dizel ve biyodizel yakıtının da deneysel verileri kaydedilmiştir. Biyodizel yakıtı motorun orjinal yakıt enjeksiyon sistemiyle silindir

içine püskürtülmüş, LPG gaz yakıtı ise emme monifoldundan emilen hava içerisine karıştırılarak verilmiştir.

Deneyleer sırasında; yakıt tüketimi, efektif verim, özgül enerji tüketimi, egzoz emisyonları (CO, HC, NO<sub>x</sub> ve is) ve egzoz gaz sıcaklığı değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda LPG/Biyodizel çift yakıtle çalışmada, püskürtme avansının arttırılmasıyla; efektif verimde artma, yakıt tüketiminde azalma, ÖET de iyileşme, EGS da düşük yüklerde azalma yüksek yüklerde artma, CO, HC ve is emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonunda ise artma tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Biyodizel, LPG, çift yakıtle motor, performans, emisyon.

**Bilim Kodu** : 708.3.026

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **EFFECT OF INJECTION TIME ON PERFORMANCE AND EMISSION OF A DIESEL ENGINE FUELED WITH BIODIESEL/LPG BELENDS**

**Sercan SOLAK**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ**

**January 2013, 77 pages**

In this study, single-cylinder, direct injection, compression ignition engine using instead of diesel fuel including as a mass %30 LPG + %70 Biodiesel , on different load and different injection timing conditions, was investigated for performance and emissions.

The reason for this study, a limited proportion of LPG to be used in conjunction with biodiesel searched within the limited context and, in the condition of engine working, biodiesel / LPG dual fuel study wasn't investigated enough for the effect of different spray advances together.

An experimental study, at 3000 rpm constant engine speed, 22,5 °, 25 °, 27,5 ° and 30 ° CA values, performed with different load, and dual fuel. For comparison, the experimental data recorded in the same conditions as pure diesel and biodiesel

fuel. The biodiesel fuel was injected into the cylinder by the original fuel injection system of the engine, and LPG gas fuel is mixed in the intake air through the intake manifold.

During the tests the fuel consumption, effective efficiency, specific energy consumption, exhaust emissions (CO, HC, NO<sub>x</sub> and soot) and the exhaust gas temperature were measured and the values were recorded. As a result of evaluation of the data, LPG / bio-diesel dual fuel study, the following situations were determined; a. increasing the injection advance increased the effective yield, decrease in fuel consumption, improvement in specific energy consumption (SEC) , reduction of exhaust gas temperature (EGT) under high load at low loads increase, CO, HC and soot emissions reduction, the increase in NO<sub>x</sub> emissions.

**Key Words** : Biodiesel, LPG, Dual fuel engine, performance, emission.

**Science Code** : 708.3.026



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Do. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, arkadaşlarım Naim AYYILMAZ'a, Sedat ŐEN'e ve Ömer KILIÇBAY'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme maddi manevi hiçbir yardımı esirgemedен 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 .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
BÖLÜM 3 .....	9
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR .....	9
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA .....	9
3.1.1. Yanma Olayının Safhaları .....	9
3.1.1.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu.....	9
3.1.1.2. Ani Yanma Periyodu .....	12
3.1.1.3. Difüzyon Kontrollü Yanma .....	13
3.2. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	13
3.2.1. Püskürtme Avansının Etkisi .....	13
3.2.2. Karışım Oranının Etkisi.....	15
3.2.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi .....	15
3.2.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi .....	15
3.2.5. Motor Devrinin Etkisi .....	16
3.2.6. Emilen Havanın Sıcaklık ve Basıncın Etkisi .....	16

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi .....	16
3.2.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi.....	17
3.3. DİZEL YAKITI.....	17
3.3.1. Dizel Yakıtın Sınıflandırılması.....	18
3.3.2. Dizel Yakıtın Özellikleri.....	19
3.3.2.1. Viskozite .....	20
3.3.2.2. Isıl Değer .....	20
3.3.2.3. Setan Sayısı .....	21
3.3.2.4. Akma Noktası .....	21
3.3.2.5. Uçuculuk .....	21
3.3.2.6. Parlama Noktası .....	22
3.4. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR .....	22
3.4.1. Doğalgaz .....	23
3.4.2. LPG.....	24
3.4.3. Bitkisel Yağlar .....	26
3.4.4. Biyodizel.....	27
BÖLÜM 4 .....	28
BİYODİZELİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	28
4.1. BİYODİZELİN TANIMI .....	28
4.1.1. Transesterifikasyon Yöntemi .....	29
4.2. DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMI .....	31
4.3. BİYODİZEL ÜRETİMİNDE KULLANILAN KAYNAKLAR .....	33
4.3.1. Kanola.....	33
4.3.2. Pamuk Tohumu (Çiğit).....	34
4.3.3. Atık Kızartma Yağları .....	35
4.4. BİYODİZELLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	36
4.4.1. Biyodizel Yakıt Karakteristikleri .....	38
4.4.1.1. Asit Numarası .....	38
4.4.1.2. Serbest Gliserin .....	39
4.4.1.3. Toplam Gliserin .....	39

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.4.1.4. Fosfor İçeriği .....	39
4.5. ÇEVRE VE BİYODİZEL .....	39
4.5.1. Biyodizel Tarımı.....	40
4.5.2. Türkiye Açısından Sonuçlar.....	41
BÖLÜM 5 .....	42
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	42
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	42
5.2. DENEY METERYALİ .....	42
5.2.1. Deney Yeri ve Deney Tesisatı.....	42
5.2.2. Deney Motoru ve Jeneratör .....	43
5.2.3. Deneylede Kullanılan Yakıtlar .....	44
5.2.4. Yakıt Tüketimi ve Ölçeme Düzenegi.....	46
5.2.5. Kronometre .....	47
5.2.6. Egzoz Gaz Analizörü ve Is Emisyon Ölçüm Cihazı .....	48
5.2.7. LPG Tüpü ve Regülatörü .....	50
5.2.8. Ölçekli Vana.....	50
5.2.9. Sulu Güvenlik .....	51
5.2.10. Alev Geri Tepme Valfi.....	51
5.3. DENEYLERİN YAPILIŞI .....	52
BÖLÜM 6 .....	55
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	55
6.1. MOTOR PERFORMANSLARI .....	55
6.1.1. Yakıt Sarfiyatı .....	55
6.1.2. Efektif Verim .....	56
6.1.3. Özgül Enerji Tüketimi .....	57
6.1.4. Egzoz Gaz Sıcaklığı .....	59
6.2. MOTOR EMİSYONLARI.....	60
6.2.1. Karbonmonoksit Emisyonları .....	60
6.2.2. Hidrokarbon Emisyonları.....	61
6.2.3. NO <sub>x</sub> Emisyonları .....	62

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.2.4. İis Emisyonları.....	64
BÖLÜM 7 .....	65
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	73
EK AÇIKLAMALAR A. KANOLA BİYODİZELİN YAKIT ÖZELLİKLERİ VE ANALİZ RAPORLARI .....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri .....	10
Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi .....	14
Şekil 4.1. Transesterifikasyon işlemi genel şeması.....	30
Şekil 5.1. Deney tesisatının yeri ve görünüşü .....	42
Şekil 5.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.....	43
Şekil 5.3. Deneyde kullanılan, motor ve jeneratör.....	43
Şekil 5.4. LPG yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan elektronik terazi.....	47
Şekil 5.5. Sıvı yakıt ve hassas terazi. ....	47
Şekil 5.6. Kronometre .....	48
Şekil 5.7. Egzoz emisyon ölçüm cihazı .....	48
Şekil 5.8. İS emisyon ölçüm cihazı .....	49
Şekil 5.9. LPG tüpü ve regülâtörü.....	50
Şekil 5.10. Ölçekli vana. ....	50
Şekil 5.11. Sulu güvenlik .....	51
Şekil 5.12. Alev geri tepme valfi.....	51
Şekil 6.1. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre yakıt sarfiyatı değişimi .....	56
Şekil 6.2. Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre efektif verim değişimi .....	57
Şekil 6.3. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre özgül enerji tüketimi değişimi .....	58
Şekil 6.4. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre egzoz gaz sıcaklığı değişimi .....	59
Şekil 6.5. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre CO emisyonu değişimi .....	61
Şekil 6.6. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre HC emisyonu değişimi .....	62
Şekil 6.7. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre NO <sub>x</sub> emisyonu değişim.....	63
Şekil 6.8. Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yükü ile is emisyonu değişimi.....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler .....	18
Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları.....	19
Çizelge 4.1. Uluslararası biyodizel standartları .....	36
Çizelge 4.2. TS EN 14214 Biyodizel standartları ve analiz yöntemleri .....	37
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler .....	44
Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler .....	44
Çizelge 5.3. Dizel yakıtının özellikleri .....	45
Çizelge 5.4. Biyodizel (kanola) yakıtının özellikleri .....	45
Çizelge 5.5. Deneylerde kullanılan LPG yakıtının özellikleri .....	46
Çizelge 5.6. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri .....	49
Çizelge Ek A.1. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu.....	75
Çizelge Ek A.2. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu.....	76
Çizelge Ek A.3. Kanola biyodizeli yakıt özellikleri ve analiz raporu.....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $B_e$  : Yakıt tüketimi (kg/h)  
 $B_{sfc}$  : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)  
 $\epsilon$  : Sıkıştırma Oranı  
 $F$  : Baskı kuvveti (N)  
 $g$  : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )  
 $\lambda$  : Hava fazlalık katsayısı  
 $M_e$  : Etkin motor momenti (Nm)  
 $n$  : Motor hızı (d/d)  
ÖET : Özgül enerji tüketimi (MJ/kWh)  
 $P_e$  : Efektif Güç (kW)  
 $R_p$  : Ön karışım oranı



## KISALTMALAR

AÖN	:	Alt Ölü Nokta
ASTM	:	American Society for Testing and Materials (Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu)
B	:	Biyodizel
D	:	Dizel
CNG	:	Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğalgaz)
DIN	:	Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	:	Europien Norm (Avrupa Normu)
EGS	:	Egzoz Gaz Sıcaklığı
HCCIDI:	:	Homogeneous Charge Compression Ignition Direct Injection (Homojen Karışimli Sıkıştırma Ateşlemeli Direkt Enjeksiyonlu)
HFK	:	Hava Fazlalık Katsayısı
H/Y	:	Hava – Yakıt Oranı
KMA	:	Krank Mili Açısı
LNG	:	Liquified Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)
LPG	:	Liquified Petroleum Gas (Likit Petrol Gazı)
MON	:	Motor Oktan Sayısı
ÖYT	:	Özgül Yakıt Tüketimi
ÖET	:	Özgül Enerji Tüketimi
PB	:	Püskürtme Başlangıcı
PS	:	Püskürtme Sonu
RON	:	Resarch Octan Number (Araştırma Oktan Sayısı)
Sİ	:	Setan İndeksi
TG	:	Tutuşma Gecikmesi
TS	:	Türk Standardı
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
ÜÖN	:	Üst Ölü Nokta
BSU	:	Bosch Smoke Unit (Bosch Duman Birimi)
CEN	:	European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Birliği)

DEK	:	Dünya Enerji Konseyi
DOE	:	Department of Energy ( Enerji Departmanı)
Dİ	:	Direk Enjeksiyon
ECU	:	Electronic Control Unit (Elektronik Kontrol Ünitesi)
EGR	:	Exhaust Gas Recirculation (Egzoz Gazı Resirkülasyonu)
ETKB	:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
İDİ	:	İndirekt Enjeksiyon
İHEA	:	International Hydrogen Energy Association (Uluslar Arası Hidrojen Enerjisi Birliği)
NREL	:	National Renewable Energy Laboratory ( Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
SR	:	Selective Catalytic Reduction (Katalitik Buhar Yapılandırması)
TMİ	:	Tam Zamanlı Manifold Enjeksiyonu
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
C	:	Karbon
CO	:	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	:	Karbondioksit
DEE	:	Dietil Eter
DME	:	Dimetil Eter
HC	:	Hidrokarbon
NO <sub>x</sub>	:	Azot oksit
O <sub>2</sub>	:	Oksijen
S	:	Kükürt

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel kaynağı olan enerjiye gün geçtikçe daha çok gereksinim duyulmaktadır. Diğer taraftan dünyada petrol esaslı yakıtların sınırlı olması ve de gün geçtikçe azalma eğilimi göstermesi, ayrıca da araçlarda kullanılan petrol esaslı yakıtların insan sağlığını tehdit etmeye devam etmesi araştırmacıları petrol kökenli yakıtlara alternatif yenilenebilir, daha temiz yanabilen yakıtların kullanılabilirliğini araştırma gerekliliği ortaya koymuştur.

Dizel motorlu araçlardan kaynaklanan CO emisyonları her ne kadar benzin motorlu araçlara göre düşük iken NO<sub>x</sub> emisyonları ise yüksektir. Bunun için son zamanlarda, egzoz gazı geri çevrimi (EGR), yeni yakıt püskürtme teknikleri ve daha temiz yanabilen alternatif yakıt kullanılması gibi yöntemlere başvurulmaktadır.

Teknolojin giderek ilerlemesi ile alternatif yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımı son 10 yılda giderek artmıştır. Günümüzde alternatif yakıt olarak adlandırılan LPG ve doğal gaz, otomobil motorlarında küçük ölçekli bir sistem değişikliği ile hemen kullanılabilir. Yakıt sisteminde yapılan değişiklik kendini kısa vadede amorti etmektedir. Otomobillerde kullanılan LPG ve doğalgaz dönüşüm sistemlerinin bakım ve onarımı, bezin ve motorin ile çalışan motorlardan daha kolay ve ucuz yapılabilir. LPG ve doğal gaz sisteminin diğer petrol ürünlerinden ucuz ve çevreyi daha az kirletmesinden dolayı uzun yıllar insanlar tarafından kullanılmaya devam edecektir (MGEP, 2008).

Ucuz olması, yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntusuz ve temiz yanması nedeniyle doğal gaz (metan), dizel motorlarda kullanılacak 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).

Daha önce yapılan çalışmalarda, dizel motorlarda ikinci yakıt olarak LPG, doğalgaz vb. gaz yakıtların kullanıldığında; gaz yakıt silindire girdiğinde genişerek hava fazlalık katsayısını düşürdüğü ve hava eksikliğinden dolayı CO emisyonunda artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda artan CO emisyonunu daha aşağı seviyeye çekmek için püskürtme avansının araştırılması önerilmiştir.

Püskürtme zamanlaması hem yakıt tüketimi hem de egzoz emisyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, farklı yakıt püskürtme avanslarında LPG'nin sınırlı bir oranda biyodizel yakıtı ile birlikte tek silindirli ve direkt püskürtmeli bir motorda kullanılmasının performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Lata vd. (2012), tarafından yapılan “çift yakıtlı bir dizel motorun verim ve emisyonlarına hidrojen ve LPG ilavesinin etkisi” adlı çalışmada; dört silindirli 62,5 kW gücünde bir dizel motorda, sabit devir (1500 d/d) ve değişik yüklerde ikinci yakıt olarak hidrojen, LPG, hidrojen ve LPG karışımının etkisi araştırılmıştır. İkinci yakıt olarak sadece hidrojen kullanıldığında %30 oranında hidrojen ile termik verimde %17 artış sağlanmıştır. İkinci yakıt olarak sadece LPG kullanıldığında %40 oranında LPG ile termik verimde %6 oranında artış sağlanmıştır. Saf dizel ile karşılaştırıldığında, her iki çift yakıtlı çalışmada da HC ve CO emisyonlarında artma, NOX ve is emisyonlarında azalma tespit edilmiştir. İkinci yakıt olarak %40 oranında LPG ve hidrojen karışımı kullanıldığında (70:30 oranında) kullanıldığında ise termik verimin %27 oranında arttığı, HC emisyonlarının ise %68 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

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,

Saleh (2008), yaptığı çalışmada LPG yakıtının beş farklı değişik bileşiminden oluşan ve dizel yakıtı ile çalışan çift yakıtlı motor üzerine LPG bileşimindeki karışımın etkisini araştırmıştır. Çift yakıt koşullarında en iyi LPG oranını ölçmek için iki silindirli, doğal emişli, dört zamanlı, DI dizel motoru olarak dönüştürülmüş pilot enjeksiyonlu çift yakıtlı motor kullanmıştır. Testler ve veri toplama işlemi, sabit motor hızında çeşitli yük koşulları altında uygulanmıştır. Sonuçlardan hareketle egzoz gaz emisyonlarının ve çift yakıtla çalışan motorun verimliliğinin LPG karışımı kullanıldığında değişikliğe uğradığı ve en yüksek verimin %40 oranında LPG içeren çift yakıtla elde etmiştir. Sonra %40 LPG içeren çift yakıtın sabit hızda değişik yüklerde performans ve emisyonlara etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak yüksek bütan içeren yakıtın NO<sub>x</sub> emisyonunu düşürdüğü, yüksek propan içeren yakıtın ise CO emisyonunu düşürdüğünü tespit etmiştir. Kısmi yüklerde motor performans ve emisyonlarını iyileştirmek için EGR sistemi ile birlikte %40 oranında LPG içeren (%70 propan, %30 bütan) çift yakıt testler gerçekleştirilmiştir.

Sahoo vd. (2008), Petrol kaynakları sınırlı olduğundan dolayı bunlara alternatif olarak petROLSÜZ yakıt için içten yanmalı motorları üzerinde araştırmalar bütün dünya üzerinde devam etmektedir. Dahası petrol yakıtı ile çalışan araçlardan yayılan gazlar çevre üzerinde ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu gazların yayılımının azaltılması konusunda evrensel bir kabul vardır. Bu yönde bilim adamları dizel motorları için çeşitli seçenekler önermişlerdir. Bunlardan biride sıvı dizel yakıtı yerine gazlı yakıtların kullanımınıdır. Dizel yakıtı ve gazlı yakıtlar kullanan bu araçlar çift yakıtlı araçlar olarak adlandırılır. Doğal gaz ve biyolojik çıkarılan gazlar çevre dostu olmalarından dolayı çift yakıtlı araçlar için daha çekici alternatif olarak görünmektedir. Gazı temizlenmiş çift yakıtlı araçlarda, ana yakıt silindire konmadan önce silindirin dışında karıştırılır. Sıvı yakıt basınç hareketinin sonuna doğru yanmayı başlatmak için içeri enjekte edilir. Var olan dizel makinelerinin kullanımında gazlı yakıtları dikkate alırken motor çalıştırmanın etkileri, dizayn şekli, çift yakıtlı araçların performansında gaz yakıt türü gibi bir çok konu önemlidir. Bu tez doğalgaz, biyogaz, üretici gaz, metan, sıvılaştırılmış petrol gazı ve propan gibi gaz yakıtlarını kullanan çift yakıtlı araçların performansı, yanması, gaz yayılımı niteliklerine değinmektedir. Çift yakıt anlayışı NO<sub>x</sub> ve is kontrolünü sağlayan iyi bir teknik olduğunu göstermektedir. Ama HC, CO

emisyonları kısmı yük durumunda daha yüksektir. Çift yakıt araçlarının termik verimliliği hem yüksek hızlarda hem de ileri enjekte zamanlamaları ve artırılan yakıt miktarı ile iyileştirilir. Gazlı yakıtların çift yakıtlı araçlarda daha uzun süreli kullanımı için daha fazla araştırma gerekmektedir. Araç çalıştırma seçiminin ve dizayn özelliklerinin şu anki dizel araçları ile gazlı dizel araçları arasındaki performans farklılıklarını en az seviyeye düşürmede çok önemli rol oynadığı bulunmuştur.

Saraç (2011), yaptığı çalışmada, tek silindirli, direk püskürtmeli, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda dizel yakıtı yerine alternatif olarak farklı oranlarda biyodizel/LPG çift yakıtını kullanıp performans ve egzoz emisyonlara etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Testleri, sabit devirde değişik yük ve çift yakıt oranlarında gerçekleştirmiştir. Karşılaştırma yapmak için ise aynı koşullarda saf dizel ve saf biyodizel yakıtlarının deneysel verilerini de kaydetmiştir. Testlerin sonucunda; ÖYT'nin çift yakıtlı çalışmada, düşük LPG oranında saf dizel ve saf biyodizelden düşük, yüksek LPG oranlarında ise yüksek çıktığını belirlemiştir. Egzoz gaz sıcaklığının genel olarak çift yakıtlı çalışmada düşük çıktığını görmüş, emisyonlardan ise CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yüksek, is emisyonunun ise düşük çıktığını tespit etmiştir.

Ramadhas vd. (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 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 emisyonunun 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.

Abd Alla vd. (2002), pilot yakıt olarak dizel yakıtın ve ikinci yakıt olarak metan ya da propanın kullanıldığı çift yakıtlı bir dizel motorda püskürtme zamanının motor performansına etkisinin incelendiği bir çalışmada düşük yükte düşük verim ve kötü emisyonun püskürtme zamanının öne alınması ile düzeltilebileceği ifade edilmiştir.

Çarman vd. (2001), tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda ağırlıksal olarak %30 LPG ve %70 dizel yakıtının, performans ve emisyon parametrelerine etkisinin incelendiği çift yakıtlı çalışmada tek yakıtlı motor çalışmasına göre motor torku ve gücünün %5,8 oranında arttığı, NO<sub>x</sub> emisyonunun %5,9, is emisyonunun ise 1/9 oranında azaldığı belirlenmiştir .

Abd Alla vd. (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 arttırılmasıyla hafif yüklerde termik verimin ve emisyonların iyileştirebildiğini tespit etmişlerdir.

Papagiannakis vd. (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 bilinendir. 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 artmasını tespit etmiştir.

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 yüklenme 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 yakıtla hafif yük koşullarında düzgünce çalışmıştır.

Huang vd. (2003), dizel motorlarda doğalgazın ikinci yakıt olarak kullanılması halinde artan CO, HC emisyonunun azaltılması amacıyla püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisinin araştırıldığı bir çok çalışmada; püskürtme zamanının öne alınması ile yanma veriminin arttığı, CO ve HC emisyonunun azaldığı ve NOx emisyonunun ise bir miktar arttığı ifade edilmiştir.

Minwafor (2000), yaptığı bir çalışmada, standart püskürtme avansı 30° (KMA) olan çift yakıtlı (dizel+doğal gaz) ve tek silindirli bir dizel motorunda, püskürtme avansının 5° (35°) öne alınmasının yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerine etkilerini incelemiştir. Çift yakıtlı deney motorunda, %10 oranındaki doğal gaz emme zamanında hava ile birlikte silindirlere emilmektedir. Sonuç olarak püskürtme avansının artması ile HC ve CO emisyonlarında önemli azalmalar kaydederken özgül yakıt tüketiminde ise kısmi olarak artma gözlemlenmiştir.

Aktaş ve Sekmen (2008), tarafından yapılan çalışmada, biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Püskürtme zamanlaması 24,9, 26,6, 28,5° KMA için tam yükte motor momentini, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel ile çalışmada püskürtme avansının 26,6° KMA'ya artırılmasıyla motor momentini ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %8'e kadar iyileşme görüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca, CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilirken, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %4-11 arasında değişen artışlar belirlendiği açıklanmıştır. Biyodizel ile çalışmada motor momentini ve efektif güçte bir miktar artış olmasına rağmen, ısıl değerinin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi dizel yakıtından daha yüksektir. Püskürtme avansının 26,6° KMA'dan 28,6° KMA'ya kadar artırılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarını olumsuz etkilediği görülmüştür. Biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklıkları dizel yakıtına göre daha düşük olarak ölçülmüştür. Bunda biyodizelin oksijen içermesi ve püskürtme başlangıcının öne alınmasının etkisi vardır. En düşük egzoz gaz sıcaklıkları püskürtme avansının 26,6° KMA'ya artırılmasıyla elde edilmiştir. Biyodizel ile egzoz avanslı çalışmada gaz sıcaklıklarının düşük olması püskürtme avansının bir miktar artırılması gerektiğini göstermiştir.

## BÖLÜM 3

### DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR

#### 3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Benzin ve dizel motorları, çevrimin termodinamiği bakımından birbirlerine son derece benzer olmakla birlikte yanma olayının geçirdiği safhalar ve olayın kontrolü bakımından çok önemli farklılıklar ortaya koyarlar.

Dizel motorlarında, hava, emme zamanı sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 12–20 arasında olduğundan sıkıştırma sonuna doğru silindirde gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. ÜÖN'dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar (Altın, 1998).

##### 3.1.1. Yanma Olayının Safhaları

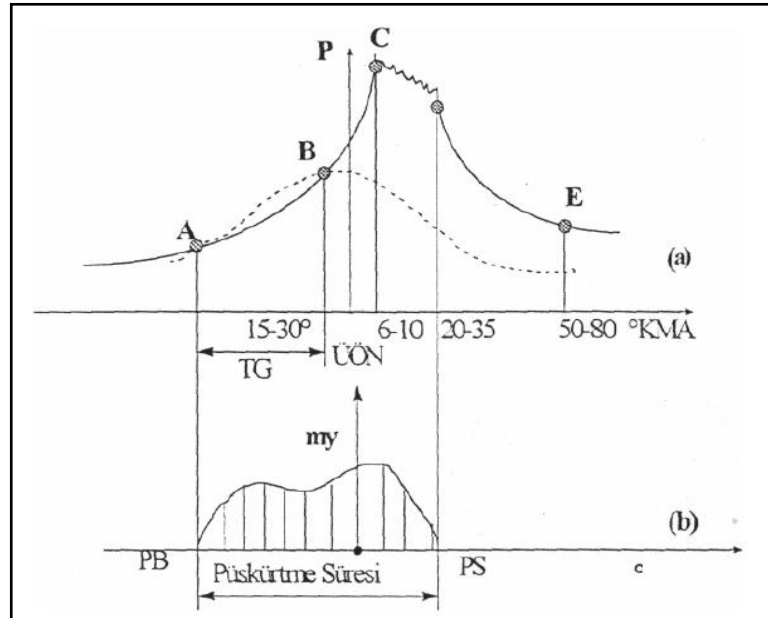
Dizel motorlarında yanma üç kısımda incelenebilir. Dizel motorlarındaki yanma ile ilgili indikatör diyagramları incelendiğinde maksimum basınç noktası yanma prosesinin ilk fazının bitim noktası olarak bilinir. Maksimum sıcaklık noktasında ikinci faz yavaş yanma fazının bittiği ve üçüncü faz, art yanmanın başladığı an kabul edilir (Safgönül vd. 1999).

##### 3.1.1.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu

Yanma odası içerisine yakıt enjeksiyonunun başlaması ile yanmanın başlangıcı arasındaki periyodu veya püskürtme başlangıcı ile tutuşma başlangıcına kadar geçen gecikme süresidir. Bu periyodun süresi yakıt ile havanın karışımına bağlıdır. Basınç,

sıcaklık, yanma odasının biçimi ve yakıtın kalitesi bu periyodu etkileyen en önemli faktörlerdir. Basınç ve sıcaklığın yüksek olması, gecikme periyodunu kısaltır. Sıkıştırılan havanın içerisine yakıt püskürtüldüğü zaman hava ile karışır. Bunun sonucunda aşırı zengin karışım bölgesinde yanma baslar fakat fakir bölgelerde yanma daha sonra baslar. Yüksek hava hareketi (türbülans) ve homojen karışım gecikme periyodu süresini azaltır. Bu aradaki sürenin uzaması içeriye daha fazla yakıtın girmesine sebep olur. İlk tutuşmanın ardından silindire dolmuş olan tüm yakıt kontrolsüz olarak (patlayarak) yanar. Tutuşma periyodu süresince silindire püskürtülen yakıt miktarının artması dizel vuruntusunun oluşmasına neden olur (İlkılıç, 1999).

Şekil 3.1(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.1.(b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütesel yakıt püskürtme miktarı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi A noktası ile ifade edilen püskürtme başlangıcından B noktası ile ifade edilen tutuşma noktasına kadar dikkate değer bir gecikme vardır. Bu tutuşma gecikmesi olarak belirtilir (Altın, 1998).



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

Şekil 3.1(a)'da tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler sırasıyla yakıt-hava karışımı ve sadece hava ile elde edilen basınç-krank açısı kayıtlarını ifade ederler. Sadece birinci durumda ateşleme olacağından iki eğri B noktasında birbirlerinden ayrılırlar. Tutuşma gecikmesi süresi daha önce de ifade edildiği gibi yakıtın buharlaşması (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu (kimyasal tutuşma gecikmesi) safhalarından ibarettir. Söz konusu ön reaksiyonlar benzin motorlarındaki son gaz bölgesi reaksiyonları ile aynı özelliktedir (Borat vd. 1994).

Yukarıda belirtildiği gibi yakıt damlacıklarının buharlaşmasının belli bir süre aldığı kabul edilmektedir. Ancak damlacıkların etrafından püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasından başlamaktadır. Ondan sonraki buharlaşma ise TG'ni zaten etkilemez. Dolayısıyla buharlaşma olayının TG'ne katkısı çok fazla olmaz. Bununla birlikte tutuşma sonrası reaksiyon hızı buharlaşma hızı ile doğru orantılıdır. Keza buhar fazındaki yakıtın yanma hızı da buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Bu gözlemler dizel motorlarında yanmanın, buharlaşma tamamlanmadan önce başladığını gösterir (Altın, 1998).

Tutuşma gecikmesi süresi uzun ise yakıt ile havanın karışması için daha çok zaman var demektir. Tutuşma gecikmesi süresince ki krank dönme açısına gecikme açısı denir. Bu açı krank açısı hızı ile tutuşma gecikmesi süresinin çarpımına eşittir. Yakıt pompası krank miline bağlı olduğundan tutuşmadan önce püskürtülen yakıt miktarı gecikme açısı ile orantılıdır (Borat vd. 1994).

Dizel motorları gibi yakıtın püskürtüldüğü motorlarda yakıt/hava oranı yanma olayının başlaması bakımından pek önemli değildir. Çünkü silindir içerisinde yakıt/hava oranı sıfır ile sonsuz arasında değişen birçok nokta vardır. Yanma olayı tutuşma için en uygun orana sahip nokta veya noktalardan baslar. Püskürtme karakteristiği veya atomizasyon derecesi de yakıt/hava oranındaki bu sonsuz değer değişimini etkilemez. Dolayısıyla bunların TG üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıt kalitesi, basınç ve özellikle sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık ve basınç TG süresini kısaltır. Yakıt jetinin duvarlara kadar ulaşması durumunda, eğer duvarlar çok sıcak ise TG süresi önemli ölçüde kısalır. TG süresince püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesini etkilemez (Borat vd. 1994).

### **3.1.1.2. Ani Yanma Periyodu**

Bu faz, ateşleme gecikmesi periyodu boyunca yanabilirlik sınırları içerisinde hava ile karışan yakıtın hızlı yanması ile oluşur. Bu süre zarfında silindir içerisinde basınç yükselmesi meydana gelir. Bu periyotta maksimum çevrim basıncı oluşmaktadır. Her tarafa yayılmış olan alevden dolayı yakıt kimyasal değişimlere uğrar (İlkılıç, 1999).

Yanmanın bu ikinci safhasındaki basınç artışı su faktörlerden etkilenir:

- Yakıtın atomizasyon derecesi; bu vasitanın enjeksiyon sisteminin dizaynına bağlıdır.
- Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı; bu da, TG süresin uzunluğuna bağlıdır.
- Tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışımının ne derece iyi olduğu. Karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve bir dereceye kadar silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren TG ve yüksek motor hızında karışım daha mükemmel olur.
- Tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı, bu süre zarfında fazla yakıt püskürtülürse bunun bir kısmı oksijenle birleşerek basınç yükselme hızının daha da artmasına sebep olur.

Yukarıdaki açıklamalardan basınç yükselme hızı ve süresinin tutuşma gecikmesi süresi ile mutlak ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Tutuşma öncesi yakıt ile hava karışımına daha az imkan vermek için TG süresi kısa, motor devri de hava hareketini azaltacak şekilde düşük tutulmalıdır (Altın, 1998).

### **3.1.1.3. Difüzyon Kontrollü Yanma Periyodu**

Ateşleme gecikmesi boyunca karışan hava ile yakıt, birbirleri ile karışabilme oranı ile kontrol edilir. Kontrollü yanma, yanma başladıktan sonra son püskürtülen yakıtın yanmasının tamamlandığı zaman arasındaki geçen süredir. Hızlı yanmadan sonra 2000°C'nin üzerindeki bir sıcaklık ile yanan yakıt 6° krank açısına kadar devam eder ve bu sıradaki alev parlak olmayan bir karışım alevi şeklindedir. Egzoz supabının açılmasına kadar bu periyodun tamamlanması gerekir (İlkılıç, 1999).

Verimin yüksek olabilmesi için yanmanın Ü.Ö.N.'ya mümkün mertebe yakın tamamlanması gerekir. Bu bakımdan üçüncü safhada oksijen/yanmamış yakıt oranının yüksek, karışımın çabuk ve mükemmel olması istenir. Yakıtın püskürtülmesi, tutuşmadan önce tamamlanmış bile olsa kötü bir püskürtme karakteristiği üçüncü safhadan yanmanın uzun sürmesine sebep olabilir Düşük devirli dizelerde olduğu gibi püskürtmenin üçüncü safhaya da sarktığı durumlarda, karışım hızı yanı sıra püskürtme hızı da yanma olayını etkiler. Bu motorlar üçüncü safhada yakıt-hava karışımını çok etkili kılacak şekilde dizayn edilmelidir (İlkılıç, 1999).

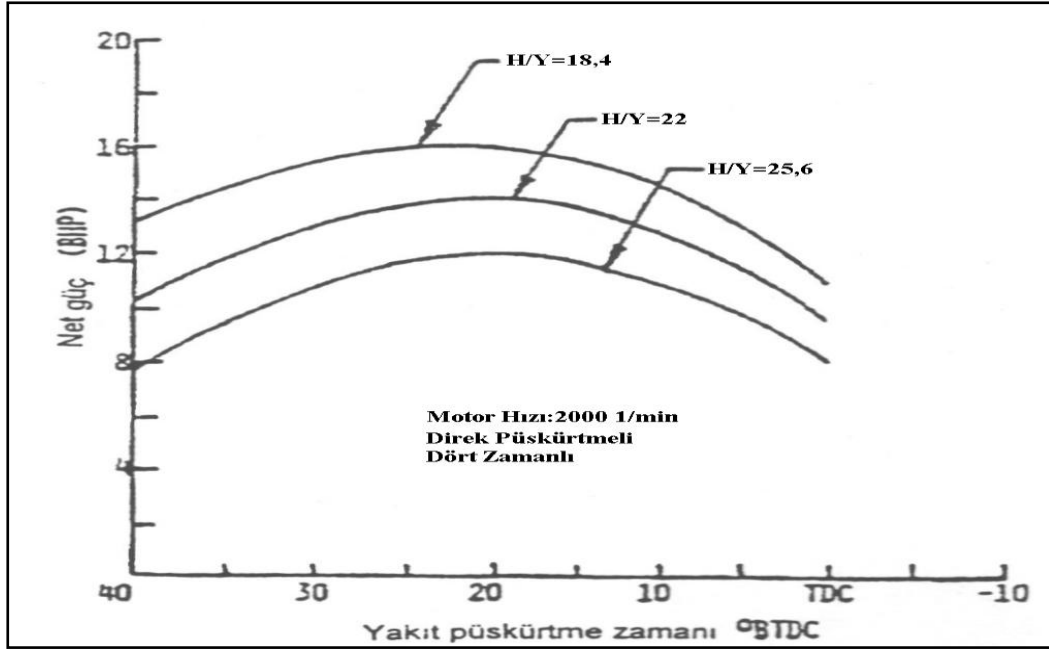
## **3.2. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

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).

### **3.2.1. 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).



### **3.2.2. 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 değer 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).

### **3.2.3. 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).

### **3.2.4. 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).

### **3.2.5. 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).

### **3.2.6. Emilen Havanın Sıcaklık 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.

### **3.2.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi**

Hava yerine sadece oksijen kullanmanın birim hacim başına 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 momenti 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 CO<sub>2</sub> 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<sub>x</sub> emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı reaksiyonun is emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Sönmez, 2006).

### **3.2.8. 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).

## **3.3. DİZEL YAKITI**

Ham petrolün damıtılması esnasında 200–300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. 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).

### 3.3.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir;

- No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik 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
Mini. Setan Sayısı	–	40	–	40	–	30
Min. Parlama Noktası, (°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
Min. API	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

### 3.3.2. 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 İndeksi	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 <sup>3</sup>	(+25 Enyüksek)	ASTM-D 2274

### 3.3.2.1. Viskozite

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite; birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m<sup>2</sup> 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 zerrelere 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).

### 3.3.2.2. 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 bulunduğundan, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir (Yamık, 2002).

### **3.3.2.3. 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).

### **3.3.2.4. Akma Noktası**

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve Değişik kimyasal maddeler katılmaktadır (Hacıkadıroğlu, 2007).

### **3.3.2.5. Uçuculuk**

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmeseyse 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).

### **3.3.2.6. Parlama Noktası**

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşması halindeki en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeye 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).

## **3.4. 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 alternatifleri 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.



### 3.4.1. Doğalgaz

Doğalgaz renksiz kokusuz bir gazdır, yanarken duman çıkarmaz. Normal şartlar altında gaz halinde olan doğalgazın kaynama sıcaklığının  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması nedeni ile daha düşük sıcaklıklarda sıkıştırılması basınç altında mümkündür (Alibaş ve Çolak 1992).

Doğalgaz kullanıma sunulmadan önce ağır hidrokarbonları elenir, hidrojen sülfür, karbondioksit, azot, helyum ve su buharı gibi bileşenleri giderilir. Elde edilen gaz hemen hemen saf metan gazıdır.

Yoğunluğu havaya göre daha düşük olduğundan ağırlığı havanın yaklaşık yarısı kadardır. Bu nedenle sızan gaz atmosferde hızla yükselerek, hızlı bir şekilde seyreler.

Doğalgaz 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 yüzde yarısı ile etan, propan, butan, azot, pentan, karbondioksit den oluşmaktadır.

Metan yüksek bir yanma sıcaklığına sahip olup,  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de yanar ve böylece sızmış ve sıcak bileşiklerdeki gaz sistemleri ile birleşerek kendi kendine yanabilme avantajına sahiptir.

Doğalgazın oktan sayısı çok yüksektir. Bu da, enerji tüketimine pozitif bir etki yaratan, nispeten yüksek bir sıkıştırma oranına (12/1) müsaade eder. Oktan sayısının yüksek olması nedeniyle, vuruntunun önlenmesi ve termik verimin artması sağlanır. Doğalgaz, difüzyon katsayısının yüksek olması sebebiyle, hava ile daha kolay ve hızlı karışım oluşturur. Sıvı yakıtların aksine doğalgazın yanmadan önce buharlaşması gerekmediğinden motorun soğuk ilk hareketinde zengin karışıma gerek kalmadan kolayca tutuşur. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşabilmektedir. Doğalgazın ısı

değeri benzine oranla daha yüksektir ve daha yüksek hava fazlalık katsayısında tutuşabilir. Bu nedenle motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazı emisyonları açısından avantaj sağlaması mümkündür. Doğalgazın alev hızının benzin / hava karışımına göre düşük olması nedeniyle yanma süresi uzundur. Bu zaman kaybı güç ve verimde düşüğe neden olmaktadır (Hatipoğlu, 1996).

İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir. Çok temiz ve özellikleri sabit olan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Doğalgazın depolanması, buharlaştırılması ve karbürasyonu farklı bir şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncını düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır (Acaroğlu, 2003).

Genellikle doğalgaz içerisinde nem bulunmamaktadır. Bunun sonucunda doğalgazın korozyon etkisi yoktur. Ancak bazı bölgelerde çıkarılan doğalgazlarda bir miktar neme rastlanmakta ve bu da motor için korozyon tehlikesi oluşturmaktadır (Ergeneman ve Soruşbay 1990; Oconnor, 1993).

### **3.4.2. 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<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) ve Bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)’ın belli oranlardaki karışımından oluşan ve Liquefied Petroleum Gases kelimelerin baş 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 kurşun, vernik yada 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 karbondioksite 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 (Yiğit, 2008).

### **3.4.3. Bitkisel Yağlar**

Bitkisel yağların dizel motorlarında ilk kullanım çalışmaları 1900'lü yıllarda Rudolf Diesel tarafından yapılmıştır. Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak kullanımını 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 vd, 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 vd, 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).

#### **3.4.4. 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 vd, 2007).

## BÖLÜM 4

### BİYODİZELİN ALTERNATİF MOTOR YAKITI OLARAK KULLANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

#### 4.1. BİYODİZELİN TANIMI

Bitkisel yağların, petrol kaynaklı dizel yakıt ile rekabet edebilecek alternatif yakıt şeklinde değerlendirilmesi, öncelikli olarak motorlarda doğrudan kullanılması yönünde olmuştur. Ancak, bitkisel yağların doğrudan dizel motorlarda kullanımı biyodizelin getirdiği bazı avantajları sağlasa da yüksek viskozite, düşük uçuculuk ve doymamış hidrokarbon zincirlerinin reaktivasyonundan dolayı, özellikle uzun süreli çalışmalarda enjektörlerin tıkanması ve yağlama yağının bozulması gibi problemler oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksek olup, standart No.2 dizel yakıtının viskozitesinin 10-20 katı mertebelerinde olabilmektedir. Hatta hint yağının viskozitesi dizel yakıtın 100 katı kadardır. Yüksek viskozite de yakıtın püskürtülmesinde oldukça olumsuzluklara sebep olmaktadır (Demirbaş, 2003).

Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilmesi için motorlarda değişiklikler yapılması yerine yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilerek, dizel yakıt No.2'ye yaklaştırılması tercih edilmektedir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarında ısıl ve kimyasal olmak üzere iki genel yaklaşım bulunmakla birlikte, kimyasal yöntem daha çok tercih edilmektedir. Kimyasal yöntemde kendi arasında seyreltme (inceltme), mikroemülsiyon oluşturma, proliz (ayırıştırma) ve transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Ma and Hanna 1999).

Seyreltme bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıt ile karıştırılarak kullanıldığı bir yöntemdir. Karışım oranı karışım yakıtın özelliklerinin standartlar içinde kalmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Mikroemülsiyon oluşturma metodunda

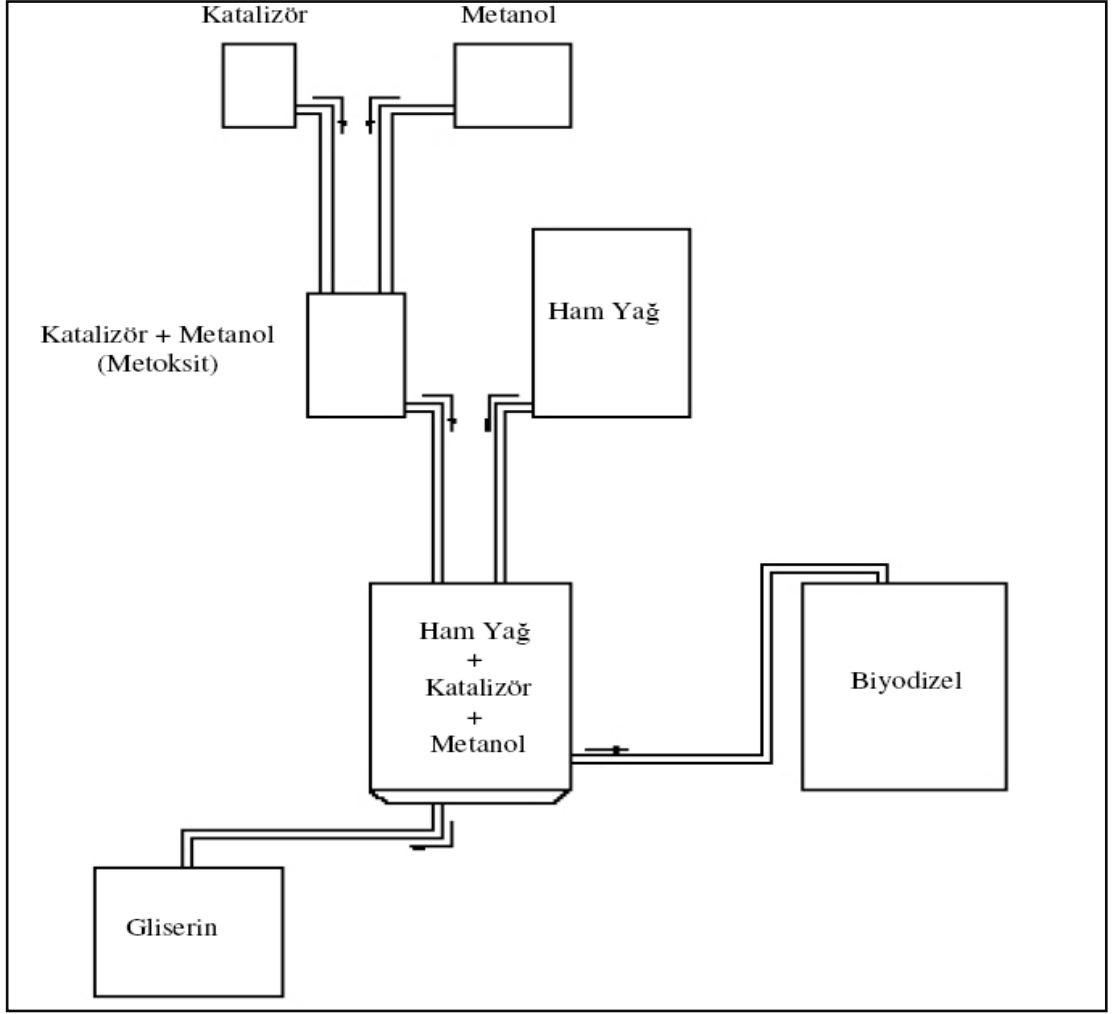
metil alkol ve etil alkol gibi sıvılarla mikroemülsiyonlar oluşturularak, özellikle viskozitede önemli azalmalar olmaktadır. Piroliz yönteminde ise bitkisel yağlar oksijensiz ortamda ısı bozunmaya tabii tutularak alkanlar, alkenler, alkadienler, karboksilikasitler, aromalar ve küçük miktarda gazlar ortaya çıkarılmaktadır. Bu yöntem ile ortaya çıkan ağır hidrokarbonların kimyasal bileşimlerinin, petroldeki hidrokarbonlar ile benzer özelliklere sahip olduğu ortaya konmaktadır (Demirbaş, 2003). Genel olarak kullanılan ve de tercih edilen transesterifikasyon yöntemi aşağıda daha detaylı olarak açıklanmaktadır.

#### **4.1.1. Transesterifikasyon Yöntemi**

Alkoliz reaksiyon olarak da bilinen transesterifikasyon işlemi bitkisel yağ ve bir alkolün, katalizör eşliğinde reaksiyona girerek yağ asidi alkol esterleri ve gliserin oluşturmasıdır. Oluşan alkol esterine biyodizel denilmektedir. Yöntemler arasında en çok bilinen ve kullanılan yöntem bu yöntemdir. Transesterifikasyon işleminin genel seması Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Öncelikle alkol ve katalizör bir karışım tankında karıştırılır. Reaktöre ham yağ alınarak yaklaşık 55 °C’ ye ısıtılır. Isınan yağ üzerine hazırlanan alkol-katalizör karışımı dökülür ve karıştırılır. Beklemeye alınan karışımda yoğunluk farkları sebebi ile alkol esteri (biyodizel) üstte kalır, gliserin dibe çöker. Dibe çöken gliserin alt taraftan tahliye edilir. Ayrıştırılan biyodizel içinde belirli miktarlarda gliserin kalma ihtimaline karşı 30-35 °C sıcaklıkta ılık su ile yıkanır. Artık gliserin su ile temas ederek suya bulaşır, faz farkından dolayı dibe çöker ve daha sonra tahliye edilir. Bununla birlikte biyodizelin içinde kalması muhtemel az bir miktardaki su da ısıtma ile buharlaştırılarak biyodizelden uzaklaştırılır.

Genel transesterifikasyon reaksiyonu seması ve reaksiyonun basamakları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Öncelikle trigliseridler digliseridlere dönüşmekte, bunu sırasıyla digliseridlerin monogliseridlere ve monogliseridlerin de gliserole dönüşmesi takip etmektedir. Her basamakta gliseridlerden bir ester molekülü oluşmaktadır (Fukuda vd. 2001).



Şekil 4.1. Transesterifikasyon işlemi genel şeması (Fukuda vd. 2001).

Reaksiyonda kullanılabilen alkoller metil alkol, etil alkol, propanol ve bütanol olabilmektedir. Bununla birlikte bunlardan pratikte en sık kullanılanları metil ve etil alkoldür. Etil alkol, tarımsal ürünlerden elde edilebilen yenilenebilir bir kaynak ve ekolojik denge içerisinde biyolojik olarak daha kabul edilebilir olması nedeni ile metil alkole karşı daha avantajlı olmasına rağmen, metil alkolün daha ucuz olması ve daha kısa alkol zincirlerine sahip olması gibi kimyasal ve fiziksel avantajları vardır.

Reaksiyonda kullanılan katalizörlerin görevi, reaksiyon hızını ve verimini arttırmaktır. Transesterifikasyon reaksiyonunda başlıca alkali, asidik ve enzimatik katalizörler kullanılmaktadır



## 4.2. DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMI

Biyodizel, saf olarak (%100) veya belirli oranlarda (%5, %20, %40, %50 gibi) petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak dizel motorlarda kullanılabilir. Biyodizel dizel karışımı ile oluşturulan yakıt, içerdiği biyodizel oranına göre B5, B20, B40, B50, B100 olarak adlandırılır. Biyodizel kimyasal yapısı nedeni ile kauçuk malzemelerde bozunmaya neden olabilmektedir. Bu sebeple, bu tür malzemenin kullanıldığı genel olarak 1996 yılından önce üretilen dizel motorlarda biyodizelin saf olarak kullanılması önerilmemektedir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları genel olarak 1996 model ve üzeri dizel motorlarda, motor üzerinde hiçbir değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilir. Bununla birlikte yine de üretici firmanın tavsiyeleri dikkate alınmalıdır.

Bilindiği gibi bitkiler yetişirken fotosentez ile atmosferden CO<sub>2</sub> gazını alarak O<sub>2</sub> verirler. Biyodizel, bitkisel yağlardan üretildiği için yanması sonucu oluşan CO<sub>2</sub> gazları atmosferde fazladan CO<sub>2</sub> oluşturmamaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımında ise bu yakıtların yanması sonucu oluşan CO<sub>2</sub> gazlarının %100'ü atmosferde CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu artırır.

Yapılan araştırmalarda petrol kaynaklı dizel yerine B100 biyodizelin kullanılması halinde atmosfere eklenen CO<sub>2</sub> miktarında %78, B20 biyodizel yakıtının kullanılması halinde ise %15,66 oranında azalma olacağı belirlenmiştir (U.S. DOE, 2004).

Biyodizel, ağırlıkça yaklaşık olarak % 10-11 oksijen içerdiğinden yakıtın zengin olduğu bölgede tam yanmanın oluşmasını temin ederek yanma sonucu oluşan is (karbon), karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarını azaltmaktadır. Bununla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonunda bir miktar artış gözlenmektedir (U.S. DOE, 2004; EPA, 2002).

Dizel motorlarda biyodizel yakıtların kullanımı, genel olarak performans değerlerinde önemli değişimler olmadan, emisyon değerleri açısından olumlu sonuçlar vermektedir. Çanakçı and Gerpen (2001), tarafından yapılan çalışmalarda,

biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin ve termik verimin arttığı, CO, duman, yanmamış hidrokarbon emisyonlarında dizele göre azalmalar olduğu, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış meydana geldiği, CO<sub>2</sub> emisyonlarının ise biyodizel karışım oranına göre artış veya azalış yönünde küçük değişimler kaydettiği belirtilmektedir. Gonzalez Gomez vd. (2000), tarafından yüksek motor devirlerinde yapılan çalışmalarda da benzer olarak biyodizel kullanımı ile CO, duman, CO<sub>2</sub> emisyonlarında dizele göre azalmalar olduğu, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarında artış meydana geldiği görülmüştür. Ulusoy ve Tekin'in (2005) çalışmalarında biyodizel kullanımı ile güçte küçük bir azalma olurken, CO, partikül, yanmamış hidrokarbon emisyonları dizel yakıtı kullanımına göre azalmakta, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış meydana gelmektedir. Beggs (2001), tarafından, binek bir dizel araçla yapılan çalışmalarda ise güç ve CO emisyonlarında dikkate değer bir değişiklik meydana gelmeden, duman emisyonlarının önemli miktarda azaldığı ancak doymamış hidrokarbon, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının küçük miktarlarda da olsa arttığı gözlenmiştir.

Biyodizel yakıtların emisyonları ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, biyodizel kullanımı ile genel olarak güç, moment, yakıt tüketimi gibi performans değerlerinde önemli değişimler oluşmadan, CO, duman, yanmamış hidrokarbon emisyonlarında önemli miktarlarda azalmalar olabileceğini, ancak bunun yanında, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise bu azalmalara oranla daha küçük olsa da artış yönünde değişiklikler olabileceğini, O<sub>2</sub> emisyonunun artabileceğini ortaya koymaktadır.

Biyodizelin dizel motor ve yakıt sistemlerinde hemen hemen hiç bir değişiklik gerektirmeden kullanılması önemli bir avantajdır. Dizel yakıt satılan tanklara depolanabildiği gibi yine aynı pompadan satışı yapılabilmekte, dizel yakıt kullanan aracın yakıt tankına da rahatlıkla konulabilmektedir. Biyodizel taşımada ve depolamada normal dizel No.2 yakıttan daha emniyetlidir. Biyodizel normal çevre sıcaklığında zararlı buhar üretmez ve biyodizelin alevlenme noktası dizel yakıttan daha yüksektir. Biyodizelin ısı değeri motorinin ısı değerinin yaklaşık %10 altındadır. Biyodizelin kaynağına ve uygulanan işlemlere bağlı olarak setan sayısı motorinin setan sayısının altında veya üstünde olabilmektedir. Dizel No.2 yakıtına

göre çok daha iyi bir yağlama özelliğine sahip olan biyodizel motor aşınmalarını azaltır, motoru korur ve ömrünü uzatır (U.S. DOE, 2004).

### **4.3. BİYODİZEL ÜRETİMİNDE KULLANILAN KAYNAKLAR**

Biyodizel ham bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından üretilmektedir. Ayrıca ham bitkisel yağların yemeklik yağ haline getirilmesi işlemi sonunda oluşan sabun stokları da biyodizel üretiminde kullanılabilir. Biyodizel üretiminde kullanılacak ham yağın, genel olarak yemeklik yağlar gibi rafinasyon, koku ve renk alma aşamalarından geçmesine gerek olmaması, biyodizel üretiminde maliyetleri azaltmaktadır.

Dünyada farklı toprak ve iklim şartlarında yetiştirilebilen bilinen 50'nin üzerinde yağ bitkisi bulunmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkisel yağların yağ asitleri oranları, doymuş veya doymamış olmaları ürün kalitesini yakından etkilemektedir (Öğüt ve Oğuz 2005). Aşağıda genel olarak kullanılan yağlardan ve de bu çalışmada da kullandığımız konola yağından bilgiler verilmiştir.

#### **4.3.1. Kanola**

Kanola tohumunda %22-49 oranında yağ bulunduğu için bitkisel yağ üretimi açısından oldukça önemli bir bitkidir (Nas vd. 2001). Kanola bitkisi kışlık ve yazlık olarak yetiştirilebilmektedir. Ülkemizde halihazırda kanola ekimi yaygın olarak yapılamamakla birlikte, genellikle kışlık kanola tarımı yapılmaktadır. Bununla birlikte devlet destekleri ile kanola tarımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır.

Kışlık kanola kısa girenken kuvvetli bir kök oluşturması ve rozetleşmesini tamamlamasını temin etmek için ekim ayı basında tavlı toprağa ekilmeli ve çıkışı sağlanmalıdır. Bu durumda kar altında -15 °C'ye kadar dayanabilmektedir. Ekim zamanında çimlenmenin iyi olabilmesi için toprak ısı en az 10-12°C olmalıdır. Kanola ekimi Trakya-Marmara, Ege, Güneydoğu Anadolu, Marmara, Orta Anadolu ve Karadeniz Bölgelerinde 15 Eylül-15 Ekim tarihinde yapılmalıdır. Kanola ülkemize Balkanlardan gelen göçmenler tarafından kolza adı ile 1960'lı yıllarda

getirilmiş olup ilk olarak Trakya'da ekilmiştir. Fakat getirilen kolzanın yağında insan sağlığına zararlı erüsik asit, küspesinde de hayvan sağlığına zararlı Glukosinolat bulunması nedeniyle 1979 yılında ekimi yasaklanmıştır (Süzer, 2004).

Zamanla kolza ıslah edilerek bu tür zararlı maddeleri içermeyen çeşitleri geliştirilmiş, bu çeşitlerin ilk önce Kanada'da ıslah edilmesi nedeniyle "canadian-oil" den gelen kanola adı verilmiştir. Kanola yağının yüksek erüsik asitli, düşük erüsik asitli ve sıfır erüsik asitli olmak üzere üç genel tipi tanımlanmaktadır (Nas vd. 2001). Yenilebilir kanola yağında erüsik asit varlığı istenmemektedir.

Bir hektar araziden 2700-3000 kg civarında kanola tohumu alınabilmektedir. Tohumlardan yağ çıkarıldıktan sonra kalan kanola küspesi, % 30'un üzerinde protein içerdiğinden iyi bir hayvan yemi olarak kullanılabilir (Öğüt ve Oğuz 2005). Buna ek olarak kışlık kanola bitkisi nisan ayından hasadının yapılacağı temmuz ayına kadar dört ay boyunca çiçekli olmasından dolayı arıcılık ve bal sektörü için de önemli bir bitkidir (Süzer, 2004).

Kanola değerli küspesi ve hektar başına 1000 kg'ı asan yağ verimi ile dünya yağ piyasasında ticari açıdan çok önemli bir yere sahip olmakla birlikte, içerdiği doymuş ve doymamış yağ asitlerinin oranları ve yapıları itibarı ile biyodizel üretimine en uygun hammaddelerden biridir. Dünya biyodizel üretimi hammaddelerinin yaklaşık %84'lük bölümünü kanola yağı oluşturmaktadır (Körbitz, 2002).

#### **4.3.2. Pamuk Tohumu (Çiğit)**

Ham pamuk yağı kendine özgü tadı ve kokusu olan, oldukça koyu renkli (kırmızı kahverengi) bir yağdır. Pamuk üretiminin bir yan ürünü olan pamuk tohumu yağı dünyada yemeklik olarak kullanılan çok önemli yağlardan birisidir. Ülkemizde pamuk yağı genellikle sabun sektöründe ve margarin hammaddesi olarak katı yağ üretiminde kullanılmaktadır. Pamuk tohumu ortalama %15-24 oranında yağ içermektedir (Nas vd. 2001).

Dünya'da yıllık pamuk tohumu üretimi 3,5 milyon ton civarındadır (TAGEM, 2004). Çıırçırılanan çekirdekli pamuktan yaklaşık %60'ı pamuk tohumu (çiğit) olarak ayrılmaktadır. Çiğidin %7- %8'i tohumluk olarak kullanılmakta, geri kalan kısımda yağ sanayinde hammadde olarak islenmektedir (Kolsarıcı vd. 2005).

Pamuk tohumunda bulunan aflatoksin ve gossipol maddeleri yağın yemeklik olarak kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Genel olarak pamuk tohumları değişik türlerle göre %0,13 – 6,64 oranlarında gossipol içerebilmekle birlikte, ülkemizde yetiştirilen çeşitlerinde %1,12 – 1,29 oranlarında gossipol bulunmaktadır. Yemeklik yağda bulunması istenmeyen gossipol yaga koyu bulanık bir renk vermektedir (Nas vd. 2001).

#### **4.3.3. Atık Kızartma Yağları**

Özellikle büyük şehirlerde binlerce lokanta, fastfood ve restoran, onlarca hazır yemek hazırlama merkezi ve yüzlerce otel/motel bulunmaktadır. Bu yerlerde dikkate değer miktarlarda atık yağlar ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'de yılda 1,5 milyon ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanıldığı bilinmektedir. Bu yağdan yaklaşık olarak 350 bin ton atık yağ oluştuğu tahmin edilmektedir. Bu yağların bir kısmı piyasada yağ toplama işi yapan birkaç firma tarafından toplanmaktadır. Toplanan atık yağlar genel olarak arap sabunu veya hayvan yemi üretiminde kullanılmakla beraber son yıllarda ülkemizde de biyodizel üretiminde kullanılmaya başlamıştır (Öztürk, 2004). Fast-food kültürünün en yaygın olduğu ülkelerden biri olan Amerika Birleşik Devletleri'nde restoranlardan yıllık ortalama 1,1 milyon ton atık yağ toplanmaktadır (Çanakçı and Gerpen, 2001).

Bu atık yağlar, suya ve kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, havadan suya oksijen transferini önler ve zamanla suda bozunarak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Bununla birlikte atık su arıtma tesisinin işletme maliyetini artırır, su kanal borularına yapışarak boru kesitinin daralmasına ve tıkanmasına neden olur. Kullanılmış bitkisel yağlar atık su kirliliğinin %25'ini oluşturduğu tahmin edilmektedir. Denize, akarsuya ve göle ulasan atık bitkisel yağlar, canlılara

zarar vermektedir. Bu yüzden gelişmiş ülkelerde kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağların kanalizasyona ve yüzeysel sulara dökülmesi yasaktır (Öztürk, 2004). Bununla birlikte atık bitkisel yağlar, biyodizel üretimi açısından en ucuz ham maddelerden biridir. Bu atıkların sabun sanayi yanında alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi, hem yağların geri kazanılması ve hem de daha düşük emisyonlu dizel yakıtı üretilmiş olması bakımından, çevre sağlığına iki yönden de katkıda bulunmaktadır.

#### 4.4. BİYODİZELLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Biyodizel yakıtlarda, dizel yakıt No.2'de aranan özelliklerin yanında sadece biyodizele özgün bazı özelliklerin de bulunması gerekmektedir. Biyodizel için farklı standartlar oluşturulmakla birlikte, 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 4.1'de biyodizel standart özellikler karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Kaplan, 2001).

Çizelge 4.1. 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	Kütleselel%	0,30max	0,05
Sülfat Külü	Kütleselel%	---	0,020 max
Viskozite, 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,5	1,9 - 6,5
Kükürt	Kütleselel%	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	Kütleselel%	0,02 max	0,02 max
Toplam Gliserin	Kütleselel%	0,25	0,24

Çizelge 4.2’de Türkiye’de üretilen biyodizelin Avrupa Birliği standardı olan TS EN 14214 standardına uygunluğu kontrol edilmektedir.

Çizelge 4.2. 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 <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite, 40°C	mm <sup>2</sup> /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

#### **4.4.1. Biyodizel Yakıt Karakteristikleri**

Biyodizellerin viskozite ve yoğunlukları hammadde ve yapılan işlemlere bağlı olmakla birlikte dizel yakıttan bir miktar daha yüksektir. Isıl değerleri ise içerisinde oksijen bulundurdukları için yaklaşık %10 daha azdır. Setan sayıları hammadde olarak kullanılan yağın kompozisyonuna bağlı olarak değişebilmektedir.

Biyodizel yakıtlar içinde esterleştirme işlemi esnasında kullanılan katalizörlerden gelen ve uzaklaştırılmayan artık metallerin miktarı yakıtın kül miktarını artırır. Yakıt içinde bulunan çözünebilir metaller tortuya neden olurlar ve bu tortular iç parçaları aşındırarak zarar verir. Biyodizel hammaddeleri genel olarak çok düşük miktarda kükürt içerirler ancak biyodizel üretim prosesi esnasında proteinler, katalizör ve/veya nötralizasyon materyalleri kükürt oluşumuna neden olabilir (Gerpen vd. 2004).

Biyodizel yakıtlarda bulutlanma noktası dizel yakıtlara göre daha yüksek olmakta ve bu da soğukta çalışma özelliklerini kötüleştirmektedir. Bulutlanma noktası esterleştirme kompozisyonu içerisindeki doymuş yağ asidi miktarı ile anlaşılabilir. Doymuş yağ asidi miktarı yüksek olan hammaddelerden üretilen biyodizellerin bulutlanma noktası da yüksek olmaktadır. Dolayısı ile bulutlanma noktasının düşürülmesi için ya yakıt içine özel katkı maddeleri karıştırılmalı veya biyodizel üretimi esnasında kullanılacak yüksek doymuş yağ asitliğine sahip yağlar düşük yağ asitliğine sahip yağlarla karıştırılmalıdır. Biyodizel üretiminde yıkama sonunda suyun tamamen uzaklaştırılması ve filtrelenmesi de önemli bir noktadır (Gerpen vd. 2004).

Aşağıda özellikle biyodizele özgün bazı özellikler hakkında açıklayıcı bilgiler verilmektedir.

##### **4.4.1.1. Asit Numarası**

Asit numarası biyodizel yakıtının içerisindeki serbest yağ asitleri miktarının ölçüsüdür. Serbest yağ asitleri motorda korozyona neden olurlar. Katalizör esliğinde



gerçeklesen biyodizel üretiminde serbest yağ asitleri ortadan kaldırılır. Ancak yakıtın su veya hava ile temas etmesi ile asit numarası yükselebilir. Bu nedenle üreticilerin kalite kontrol işlemleri esnasında mutlaka takip etmeleri gereken bir değerdir (Gerpen et vd. 2004).

#### **4.4.1.2. Serbest Gliserin**

Serbest gliserin, yakıt içerisinde moleküler gliserinlerin bulunmasıdır ve bu da transesterifikasyon reaksiyonunun sonunda tam anlamı ile ester ve gliserin ayrışmasının gerçekleşmediği anlamına gelir. Yeterli bir yıkama işleminin uygulanamamış veya baksana bir nedenle gliserinin biyodizelden etkili bir şekilde ayrıştırılamamış olmasıdır. Serbest gliserin motor içinde oluşan karbon birikintilerinin en önemli kaynağıdır (Gerpen vd. 2004).

#### **4.4.1.3. Toplam Gliserin**

Toplam gliserin yakıt içerisindeki serbest ve bağlı gliserinlerin toplamıdır. Bağlı gliserinler mono-, di- ve trigliseritler içerisindeki gliserinlerdir. Yüksek toplam gliserin miktarı, tam anlamı ile gerçekleşmemiş transesterifikasyon reaksiyonunun ve motor içindeki aşırı karbon birikmesinin bir göstergesidir (Gerpen vd. 2004).

#### **4.4.1.4. Fosfor İçeriği**

Biyodizel yakıtlarda fosfor içeriği, proses sırasında bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlar içerisindeki zar ve proteinlerden gelen fosfolipidlerin tam olarak rafine edilememesi sonucu oluşan ve yakıtın yapısında istenmeyen bir özelliktir (Gerpen vd. 2004).

### **4.5. 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. Suya 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 kullandırılmaktadır.

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).

#### **4.5.1. 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 N<sub>2</sub>O emisyonuna yol açtığı iddia edilmiştir. Buna göre kolza tarlaları gübreleme amacıyla azot kullanılmaktaydı. Bakteriyel dönüşüm sonucu diazotmonoksit emisyonu oluşuyordu. Her bir N<sub>2</sub>O molekülü, CO<sub>2</sub>'e göre 200 misli sera etkisine neden oluyordu. Buna karşı olarak, yoğun kolza ekimini söz konusu durumunda olabilecek N<sub>2</sub>O emisyonu ile bilgilerin mevcut olmadığı ve bir benzin motorunda kullanılan Oksidasyon katalizörü ile 100 misliden daha fazla N<sub>2</sub>O emisyonu oluşturduğu ileri sürülerek UBA'nın bu görüşleri eleştirilmektedir (Kaplan, 2001).

#### 4.5.2. Türkiye Açısından Sonular

Ülkemizde petrol kaynaklarının yetersiz olması diğeryandan yaşanan 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 diğeryağlara göre düşük olması nedeniyle bu bitkiler ülkemizde yeniden yetiştirilmeye başlanmıştır. Bu bitkilerden elde edilen yağların henüz yeterince kullanılmaması çiftçimizi zor durumda bırakmakta ve bu bitkilerin üretiminde azalmaya gidilmektedir. Bu konuda üretilecek politikalar çerçevesinde Avrupa Birliği'nde uygulanmakta olan sübvans mekanizması isletilirse, çiftçilerin yağ bitkileri üretimine teşviki sağlanacaktır. Biyodizel kullanımı Türkiye açısından değerlendirilirse şu sonuçlar ön plana çıkmaktadır. Türkiye'de dizel yakıtına alternatif bir yakıt üretilecektir. Üretilen yakıt çevre dostu olarak, Türkiye'nin çevre kirliliğinin azalmasına katkısı olacaktır.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1. 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 %30 LPG oranının, farklı püskürtme avanslarındaki çalışma şartlarında motor performans ve emisyonlara etkileri araştırılmıştır.

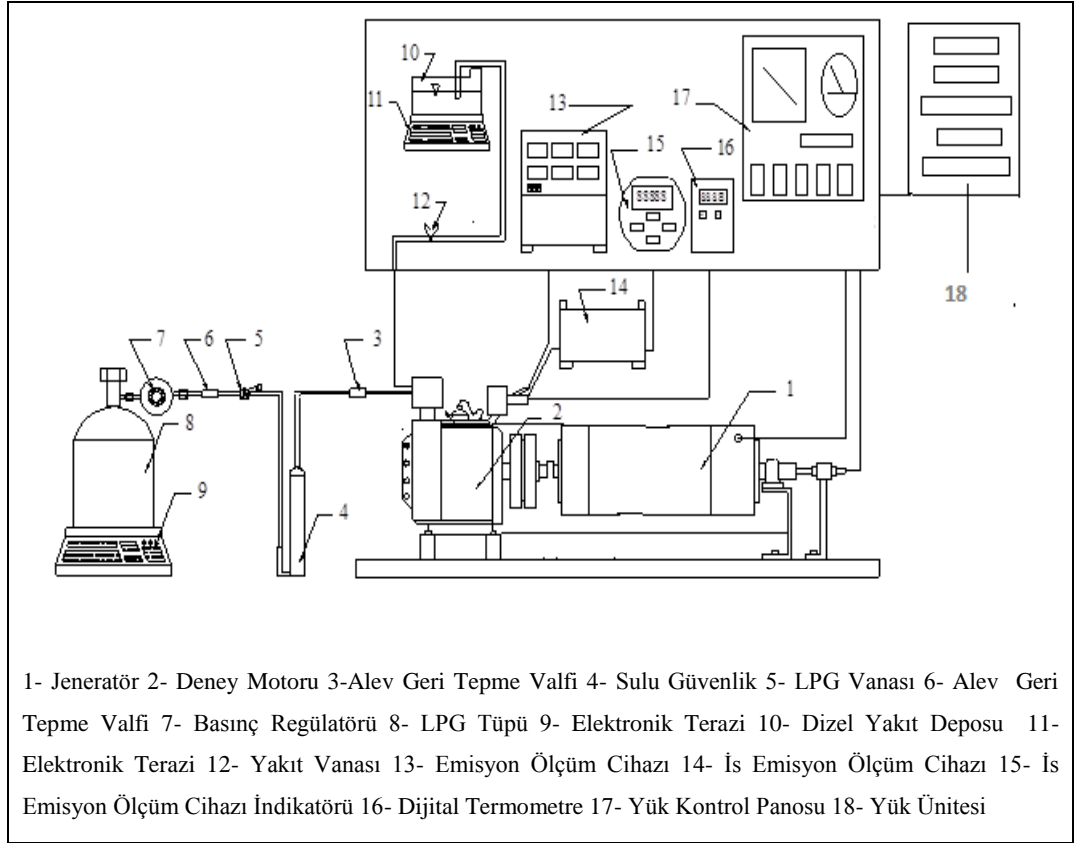
#### 5.2. DENEY MATERYALİ

##### 5.2.1. Deney Yeri ve Deney Tesisatı

Motor testleri; Şekil 5.1’de görülen Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Eğitimi Anabilim Dalı motor test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deney tesisatının yeri ve görünüşü.



Şekil 5.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.

### 5.2.2. Deney Motoru ve Jeneratör

Deneylerde kullanılan 3000 d/d sabit devirli motor ve jeneratör Şekil 5.3’de görülmektedir. Çizelge 5.1. ve 5.2’de motor ve jeneratörün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.3. Deneyde kullanılan motor ve jeneratör.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler (Anonim1, 2012).

<b>Model</b>	<b>Katana KM 178FE</b>
Motor genel özellikleri	4 Zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli, direkt püskürtmeli
Çap x Strok (mm)	78 x 62
Motor Hızı Maksimum (d/d)	3000
Silindir hacmi (cm <sup>3</sup> )	296
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma Oranı	18/1
Yakıt Sistemi	Direkt püskürtme
Maksimum Çıkış Çıkış Gücü (kW)	5
Soğutma Sistemi	Cebri Hava Soğutmalı
Püskürtme Avansı (°KMA ÜÖN ö)	25±1

Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler (Anonim1, 2012).

<b>JENERATÖR</b>	
Model	KD 4500 E
Maksimum Çıkış Gücü	4,2 kW
Sürekli Çıkış Gücü	3,4 kW
Volt	230
Faz	MONOFAZE
Frekans	50 Hz
Güç Faktörü	1
AC Devre Kesici	Var

### 5.2.3. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan yakıtların sırası ile Çizelge 5.3’de dizel, Çizelge 5.4’de biyodizel ve Çizelge 5.5’de de LPG yakıtının teknik özellikleri verilmiştir. Ayrıca da kullanılan biyodizel yakıtının ayrıntılı özellikleri ve analiz raporları ek açıklamalarda verilmiştir.

Çizelge 5.3. Dizel yakıtının teknik özellikleri (Anonim2, 2012).

Özellikler	Dizel
Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup> , at 15 °C	828
Kinematik viskozite, mm <sup>2</sup> /s, 40°C'de	2,6
Parlama noktası, °C	60
Su, mg/kg	218,1
CFPP, °C	-5
Setan sayısı	55,6
Alt ısı değer, (Mj/kg)	43,76

Çizelge 5.4. Biyodizel (kanola) yakıtının özellikleri (DB Tarımsal Enerji, 2007) ([www.dbtarimsalenerji.com.tr](http://www.dbtarimsalenerji.com.tr)).

Özellik	Değer
Yoğunluk (15 °C'da)	882.4 kg/m <sup>3</sup>
Kinematik Viskozite (40 °C'da)	4.042 mm <sup>2</sup> /s
Alevlenme Noktası	177 °C
Bakır Korozyonu ( 3 saat ve 50°C)	1. sınıf
Setan Sayısı	55.0
PH	7,38
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	39,913

Çizelge 5.5. Deneylerde kullanılan LPG yakıtının teknik özellikleri ([www.ipragaz.com.tr](http://www.ipragaz.com.tr)).

Özellikler	Propan-Bütan	Karışım LPG
Kapalı Kimyasal Formülü	$C_3H_8 - C_4H_{10}$	%30 $C_3H_8$ + %70 $C_4H_{10}$
Molekül Ağırlığı (g/mol)	44,09 – 58,12	53,91
<b>Likid Halinde</b>	<b>Birim</b>	<b>MiksLPG<sup>b</sup></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 <sup>3</sup>	0,56
Özgül Hacim (15°C)	dm <sup>3</sup> /kg	1,786
Tam yanma için gerekli hava miktarı	Nm <sup>3</sup> /kg	12,06
Buharlaştırma Gizli Isısı	MJ/kg	383,302
Alt Isıl Değeri	MJ/kg	45,908

#### 5.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

LPG yakıt tüketimini için Şekil 5.4'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 5.4. LPG yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan elektronik terazi.

Ayrıca dizel ve biyodizel yakıtın özgül yakıt tüketimini daha hassas tespit etmek için Şekil 5.5’de görüldüğü gibi SUNNY marka hassas terazi kullanılmıştır. Bu terazi ile 0-5000 gr arası hassas ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 5.5. Sıvı yakıt ve hassas terazi.

### 5.2.5. Kronometre

Yakıt tüketim süresinin ölçülmesinde Sekil 5.6’da verilen 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Caston ST-613D marka bir kronometre kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Kronometre.

### 5.2.6. Egzoz Gaz Analizörü ve Is Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyleerde kullanılan egzoz gaz analizörü, BİLSA marka olup, HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> ve  $\lambda$  (hava fazlalık katsayısı) parametrelerini ölçebilmektedir. Şekil 5.7'de egzoz emisyon ölçüm cihazı, Çizelge 5.6'da da egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 5.7. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 5.6. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri (<http://www.bilsaltd.com>).

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO	0-% 10	%0,001
CO <sub>2</sub>	0-%20	%0,01
HC	0-% 10000	1 ppm
O <sub>2</sub>	0-%25	%0,01
CO Cocker	0-% 10	%0,001
NO <sub>x</sub>	0-5000	1 ppm
Lamda	0,5-2.00	0.001

İs emisyonu ölçümü Şekil 5.8’de 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 (% is) ve K faktörü cinsinden ölçmektedir.



Şekil 5.8. İs emisyon ölçüm cihazı.

### 5.2.7. LPG Tüpü ve Regülatörü

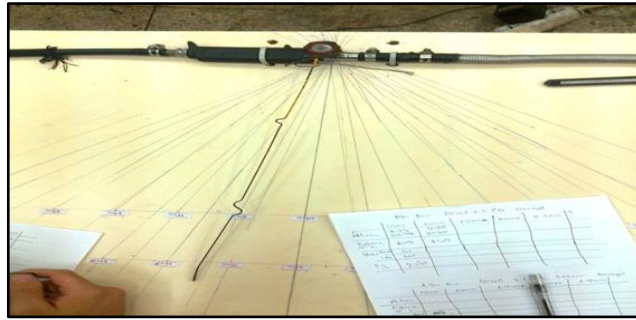
Deneylede LPG gaz yakıt ihtiyacı, Şekil 5.9’da görülen İPRAGAZ marka 12 kg’lık mutfak tüpünden temin edilmiştir. LPG gazının basıncını kontrol edebilmek için LPG tüpünün üzerine ALTINBOĞA marka gaz regülâtörü takılmıştır.



Şekil 5.9. LPG tüpü ve regülâtörü.

### 5.2.8. Ölçekli Vana

LPG gazının debisinin hassas olarak kontrolü için Şekil 5.10’da görülen hassas bir vana kumanda ucu, ölçeklendirilmiş karton levhadan geçirilmiş ve ucuna çelik bir tel bağlanarak kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Ölçekli vana.

### 5.2.9. Sulu Güvenlik

Alev geri tepme durumunda alevin LPG tüpüne ulaşmasını önlemek için. Şekil 5.11’de görülen sulu güvenlik donanımı kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Sulu güvenlik.

### 5.2.10. Alev Geri Tepme Valfi

Alev geri tepmesine karşı sulu güvenlik ile birlikte iki adet YILDIZ marka kuru alev geri tepme valfi kullanılmıştır. Şekil 5.12’de kuru alev geri tepme valfi görülmektedir.



Şekil 5.12. Alev geri tepme valfi.

### 5.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce motorun ayarları kontrol edildi ve motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlandı. Deneylede egzoz gaz sıcaklıkları K tipi termokupul ve dijital termometre ile ölçülmüştür. Ayrıca egzoz gaz sıcaklığı susturucudan sonra ölçülmüştür. Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde BİLSA marka egzoz gaz analizörü ve MRU optrans 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. Bu çalışmada kütleli olarak %30 oranında LPG, %70 oranında ise biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Grafiklerde biyodizel yakıtı ‘‘B’’, %30LPG+%70Biyodizel çift yakıtı ise ‘‘LPG+B’’ harfleri ile gösterilmiştir. Çift yakıt içerisindeki gaz yakıt yüzdesini ( $LPG_{oran}$ ) ifade etmek için aşağıda verilen (1) numaralı eşitlik kullanılmıştır.

$$LPG_{oran} = \frac{\dot{m}_{LPG}}{\dot{m}_{Biyodizel} + \dot{m}_{LPG}} \quad (5.1)$$

Bu çalışmada; jeneratöre dijital bir takometre ve 500 Watt’lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi ilave edilerek oluşturulan bir sistemle motorun yüklenmesi sağlanarak deneyler yapılmıştır. Bu deneyde 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 valfinden bir gaz yakıt sistemi kurulmuştur. LPG yakıtı emme monifoldundan emilen havaya karıştırılarak verilmiştir. Motorun püskürtme zamanını değiştirerek deneyler yapılması planlandığı için öncelikle motorun statik standart püskürtme avansı tespit edildi. Statik avans tek elemanlı motor yakıt pompası çıkış ventili çıkarıldıktan sonra enjektörsüz yüksek basınç borusu ve rekoru pompaya takıldı. Sonra yakıt vanası açılarak motor mili dönüş yönünde çevrilerek yakıtın yüksek basınç borusu ucundan akması sağlandıktan sonra mil dönüş yönünde çevrilmeye devam edildi. Yakıt akışının kesildiği anda volan üzerindeki avans çizgileri ile motor gövde üzerindeki ÜÖN işareti durumuna bakılarak statik avansın 25° ÜÖN’den önce püskürtüldüğü tespit edildi. Yapılan bütün deneyler 3000 d/d

sabit motor hızında farklı yükler altında yapılmıştır. Bu işlemten sonra motor standart püskürtme avansı yani 25° ÜÖN'dan önce durumunda sırasıyla dizel ve biyodizel yakıtla 3000 d/d sabit motor hızında çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Motorun yüklenmesi için hazırlanan yük ünitesi jeneratöre bağlanarak 500 watt'lık ampüller ile sırayla 500, 1000, 1500, 2000 ve 2500 W ile yüklenmiş ve veriler kaydedilmiştir. Daha sonra motora %30 oranında LPG verilecek şekilde ayarlandıktan sonra yine standart püskürtme avansında diğer deneyler yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Sonra yakıt pompası yerinden sökülerek pompa altında bulunan 0,25 mm'lik ayar şimi çıkartılıp pompa tekrar motora takılıp avans ölçümü yapıldığında avansın 27,5° çıktığı ve toplam olarak arttırılması düşünülen 2,5°'lik avans artışı olduğu görülmüştür. İkinci defa pompa sökülerek 0,25 mm'lik ikinci şimde çıkarılmış ve pompa yerine takılıp avans ölçümü yapıldığında avansın 30°'ye çıktığı bir önceki ile aynı oranda artış gerçekleştiği görülmüştür. İşlemlerin tersi yani pompa yerinden sökülüp bu defa mevcut olan 2 adet 0,25 mm'lik şimlerim üzerine aynı kalınlıkta bir şim daha eklenip pompa yerine takılıp avans ölçümü yapıldığında avansın 22,5° olduğu görülmüştür. Bu da avansın azaltılması düşünülen 2,5°'lik avans değeri olduğu görülmüştür. Püskürtme avansları bu şekilde pompa altında bulunan şimlerin eklenip çıkarılmasıyla 25°, 27,5°, 30° ve 22,5°'lik avans değerleri olacak şekilde ayarlandıktan sonra, motor standart avans değerinde hem de belirlenen diğer avans değerlerinde biyodizel hem de LPG/Biyodizel yakıtı ile çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Dizel ve biyodizel yakıt tüketimleri bir elektronik terazi ile ve LPG gaz yakıt tüketimi %1 g hassasiyetinde ölçüm yapılabilen ikinci bir elektronik terazi ile ve kronometre yardımıyla belirlenmiştir. Her bir çalışma koşulunda gerekli biyodizel/LPG yakıt oranı ise gaz kontrol valfi koluna ölçekli vana yardımıyla kumanda edilerek sağlanmıştır. Her bir çalışma durumunda motor kararlı hale geldikten sonra egzoz gaz sıcaklığı (EGS), CO, HC, NOx, ve is emisyonları kaydedilmiş, yakıt sarfiyatı, efektif verim ve fren özgül enerji tüketimi, ile ilgili ölçümler yapılmış ve de hesaplanmıştır.

Yakıt sarfiyatı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$B = V \cdot g_y \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (\text{kg/h})$$

B : Birim zamanda yakıt tüketimi (kg/h)

V : Hacimsel yakıt debisi (10 ml/s)

$g_y$  : Kullanılan yakıtın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

Efektif verim aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{P_e}{B * H_u}$$

$\eta$  : Termik (efektif) verim

$P_e$  : Motor gücü (kW)

B : Yakıt tüketimi (kg/s)

$H_u$  : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

Fren özgül enerji tüketimi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\text{ÖET} = \frac{B_{sfc} * H_u}{1000}$$

ÖET : Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)

$B_{sfc}$  : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$H_u$  : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)



## BÖLÜM 6

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; tek silindirli, direkt püskürtmeli, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda biyodizel yakıtı yerine alternatif olarak %30 oranında LPG içeren Biyodizel/LPG çift yakıtının farklı püskürtme avanslarında kullanılmasının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler 3000 d/d sabit motor hızında ve farklı yüklerde (500, 1000, 1500, 2000 ve 2500 W) gerçekleştirilmiştir. Motor performans ve emisyonları ile ilgili elde edilen bulgular grafikler halinde verilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

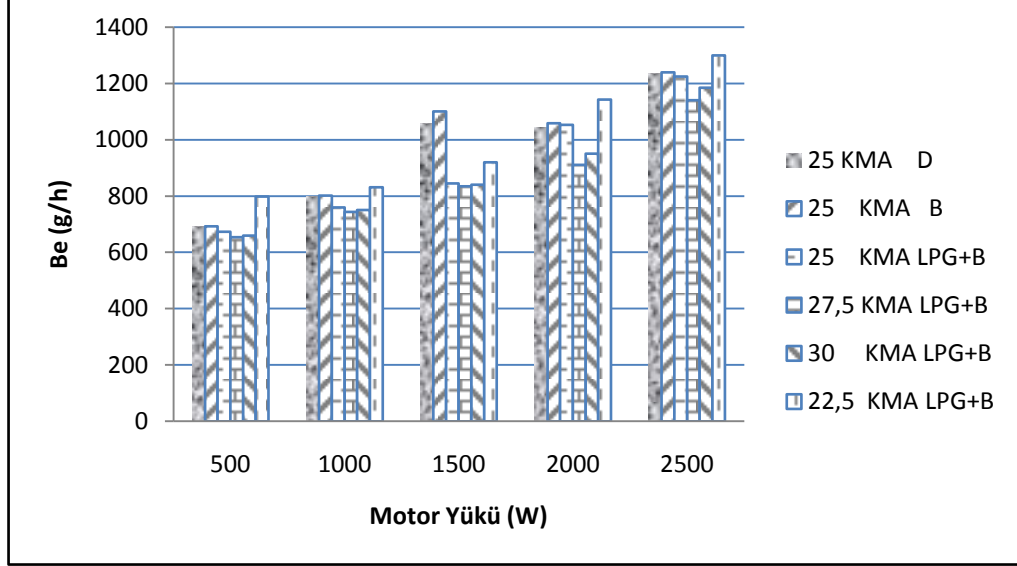
#### 6.1. MOTOR PERFORMANSLARI

Motor performansları; yakıt sarfiyatı, efektif verim, fren özgül enerji tüketimi ve egzoz gazı sıcaklıkları olmak üzere dört başlıkta incelenmiştir.

##### 6.1.1. Yakıt Sarfiyatı

Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmadaki yakıt sarfiyatı farklı püskürtme avanslarında ve farklı yüklerde değişimi Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Motor standart püskürtme avansında (25° KMA) iken yakıt sarfiyatı; biyodizel yakıtla çalışma dizel yakıtla çalışmaya göre daha yüksek çıkmıştır. Biyodizel yakıtının alt ısıl değeri dizel yakıtının alt ısıl değerinden düşük olduğundan, motoru aynı yükte çalıştırmak için daha fazla yakıt yakmayı gerektiriyor. Biyodizelin yakıt sarfiyatının bu yüzden daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. Biyodizel/LPG ile çift yakıtla çalışmada yakıt sarfiyatı dizel vede biyodizel yakıtla çalışmaya göre daha düşük çıkmıştır. LPG’nin alt ısıl değerinin dizel vede biyodizel yakıtının alt ısıl değerinden yüksek olmasından dolayı biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmanın yakıt sarfiyatının düşük olduğu düşünülmektedir. Püskürme avansı arttırıldığında (27,5° ve 30° KMA)

yakıt sarfiyatı standart püskürtme avansına göre azalmaktadır. Püskürtme avansı avansı azaltıldığında (22,5° KMA) yakıt sarfiyatı artmaktadır.



Şekil 6.1. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre yakıt sarfiyatı değışimi.

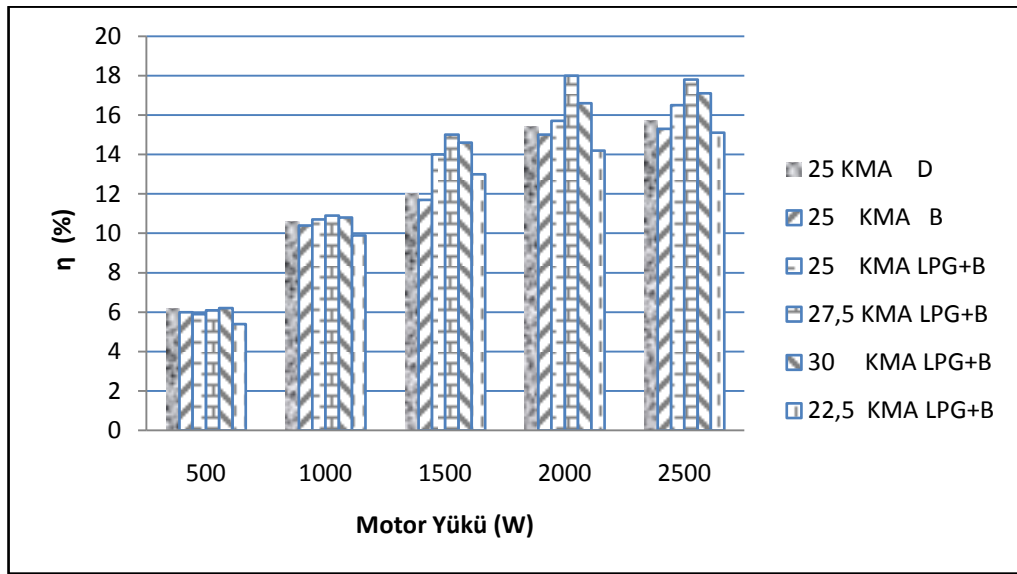
### 6.1.2. Efektif Verim

Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmadaki efektif verimi farklı püskürtme avanslarında ve farklı yüklerde değışimi Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Motor standart püskürtme avansı değerinde (25° KMA) iken; efektif verim tüm yüklerde dizel yakıtla çalışmada biyodizel ile çalışmaya göre yüksek çıkmıştır. Çanakçı ve Van Gerpen (2001) tarafından yapılan çalışmalara benzer olarak biyodizel yakıtının efektif verim değeri, dizel yakıtının değerlerine çok yakın olmaktadır. Artış ve azalış yönündeki değışimlerin miktarı %2’yi aşmamaktadır. Biyodizel yakıtlar, dizel yakıtına nazaran daha düşük ısıl değere sahip olmasına rağmen, yanmadaki iyileşme ile motor biyodizel yakıtın kimyasal enerjisini, dizel yakıtın enerjisi ile yaklaşık aynı verimlilikte mekanik enerjiye dönüştürebilmektedir.

Yine standart püskürtme avans değerinde Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada efektif verimi, dizel vede biyodizel çalışmaya göre yüksek çıkmıştır. LPG ’nin ısıl değerinin dizel ve biyodizelden yüksek olması, hava ile homojen karışması nedeniyle yanma şartlarını olumlu yönde etkilediğinden Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmanın

efektif verimin yüksek çıktığı bu yüzden düşünülmektedir. Püskürtme avansı bir miktar arttırıldığında ( $27,5^\circ$  KMA) efektif verim de artma gözlemlenmektedir. Püskürtme avansının arttırılmasıyla yakıtın buharlaşması için gerekli süre sağlanmakta ve yanma veriminin yükseldiğinden dolayı efektif verimin arttığı düşünülmektedir. Püskürtme avansı bir miktar daha arttırıldığında ( $30^\circ$  KMA) vuruntulu yanmanın başlamasıyla yanma kötüleşmekte vede termik verim düşmektedir.

Püskürtme avansı azaltıldığında ( $22,5^\circ$  KMA) efektif verim düşmektedir. Düşük püskürtme avanslarında silindir içi sıcaklık ve basıncı düştüğünden alev sönme bölgeleri oluşmakta dolayısıyla yanma kötüleşmektedir. Bu yüzden de efektif verimin düştüğü düşünülmektedir.

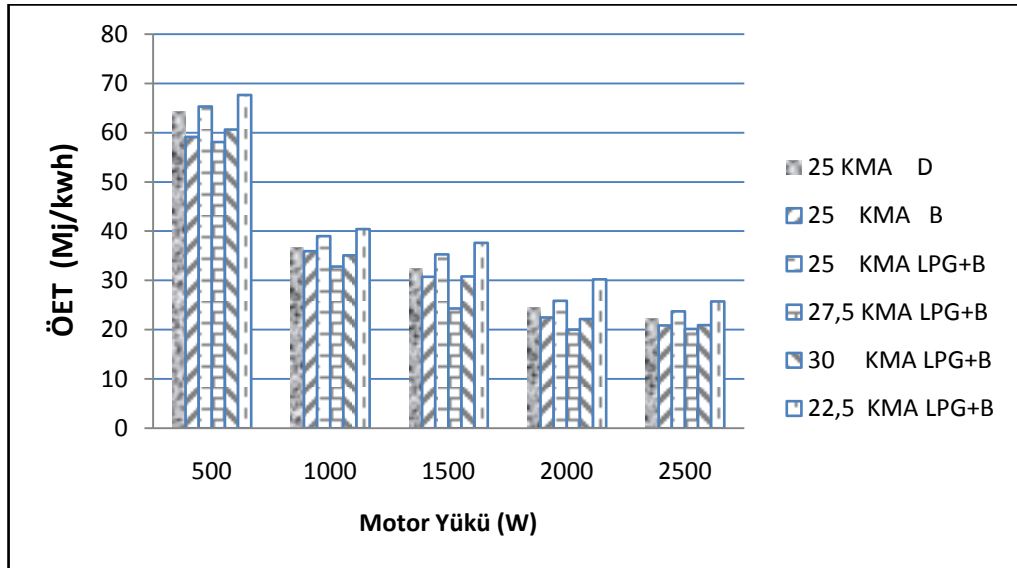


Şekil 6.2. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre efektif verim değişimi.

### 6.1.3. Özgül Enerji Tüketimi

Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmadaki özgül enerji tüketiminin farklı püskürtme avanslarında ve farklı yüklerde değişimi Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Şekil 6.3’de görüldüğü gibi motor, standart püskürtme avansında ( $25^\circ$  KMA) çalışırken dizel yakıtla çalışmadaki ÖET biyodizel çalışmadaki ÖET’e göre daha

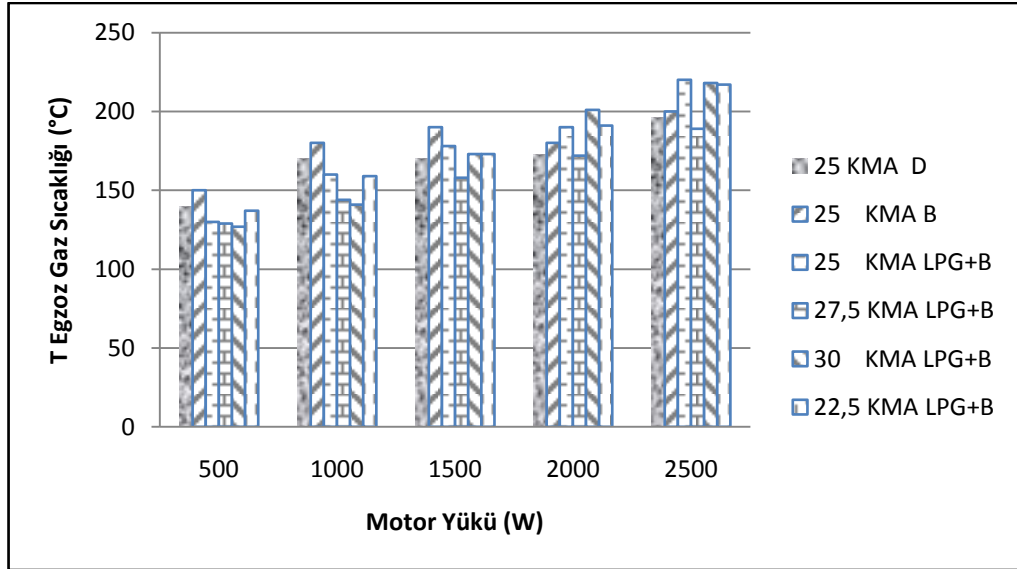
yüksek çıkmıştır. Sebebi ise dizel yakıtının alt ısıl değeri biyodizel yakıtının alt ısıl değerinden daha yüksek olduğu için şeklinde düşünülmektedir. Motor yine standart püskürtme avansında iken biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada ÖET, dizel ve biyodizel çalışmaya tüm yüklerde daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise LPG'nin alt ısıl değerinin dizel ve biyodizel yakıtının alt ısıl değerinden büyük olmasından dolayı düşünülmektedir. Püskürtme avansı 27,5° ve 30° KMA artırıldığında ÖET azalmaktadır. Bunun sebebi; daha zor tutuşan maksimum basıncın istenilen noktadan daha gecikmeli meydana gelirken avansın artması sonucu öne çekilmesiyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Ancak püskürtme avansı 30° KMA iken motor çalıştırıldığında motorun gürültülü çalışmasından vuruntulu çalıştığı görülmüştür. Püskürtme avansı 22,5° KMA getirildiğinde ÖET'de artış gözlenmiştir. Bunun sebebi; avansın azaltılması, yanmanın genişleme periyoduna kaymasına neden olmakta ve silindir içi sıcaklık ve basınç düşmektedir. Dolayısıyla yanma verimi kötüleşmekte ve özgül enerji tüketimi artmaktadır. Motor Biyodizel/LPG çift yakıtı ile çalıştırıldığında dizel yakıtı için belirlenen avansa göre 2°-3° KMA öne alınabilir.



Şekil 6.3. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre özgül yakıt tüketimi değişimi.

#### 6.1.4. Egzoz Gaz Sıcaklığı

Egzoz gaz sıcaklığı Şekil 6.4’de görüldüğü gibi püskürtme avansı standart avansta yani 25° KMA’da iken LPG/biyodizel çift yakıtlı çalışma, dizel ve biyodizel yakıtlı çalışmaya göre 2000 W’lık yüke kadar düşük çıkmıştır. Yük arttıkça (2000W-2500W) biyodizel/LPG’li çalışmada EGS’nın biyodizel yakıtlı çalışmaya göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Biyodizel/LPG çift yakıt ile çalışılırken EGS’larının 2000 W’a kadar biyodizel yakıtından düşük çıkmasının sebepleri, LPG’nin silindir içerisinde daha homojen dağılması, yanma hızının daha yüksek olması nedeniyle yanmanın egzozla daha az sarkması olduğu düşünülmektedir. Avans arttıkça EGS’larının 1500 W’lık yüke kadar azaldığı 2000W-2500W ve diğer yüklerde ise yüksek çıktığı görülmüştür. Hemen hemen her yükte 27,5° KMA’da EGS düşük çıkmıştır. LPG/Biyodizel çift yakıtla çalışılması halinde avansın 2-3° KMA kadar artırılmasının EGS’ına olumlu etkisi olduğu anlaşılmaktadır.



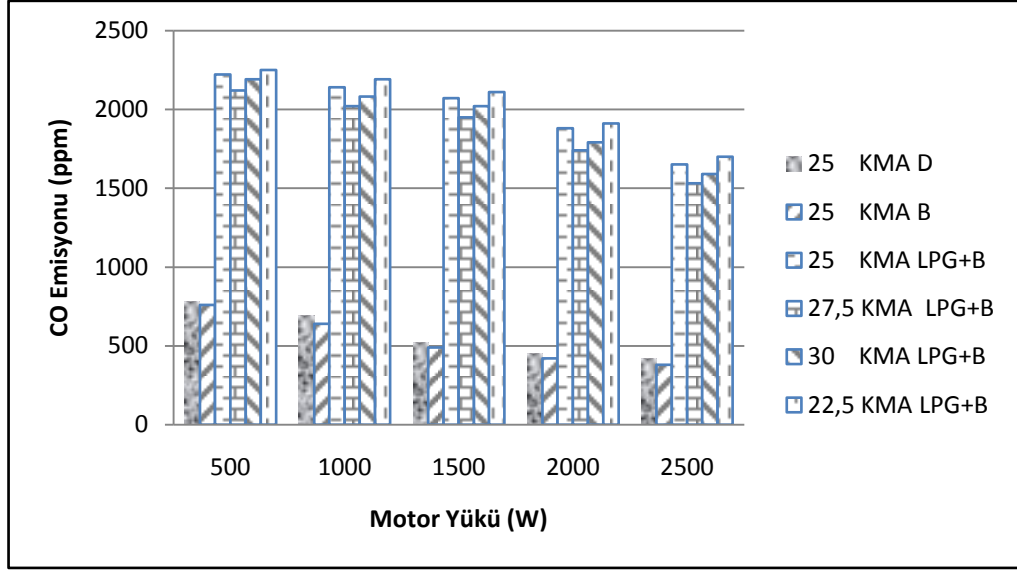
Şekil 6.4. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre egzoz gaz sıcaklığı değişimi.

## 6.2. MOTOR EMİSYONLARI

Egzoz emisyonları; karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksitler(NOx) ve is emisyonu olmak üzere dört başlıkta incelenmiştir.

### 6.2.1. Karbonmonoksit Emisyonları

Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG çift yakıtı için püskürtme avansı ve yükün fonksiyonu olarak CO emisyon değişimi Şekil 6.5’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bütün yüklerde standart püskürtme avansında dizel yakıtla çalışma, biyodizel yakıtla çalışmaya göre CO emisyonları daha büyük çıkmıştır. Bunun temel nedeni biyodizellerin bünyelerinde oksijen bulundurmasından dolayıdır. Yine standart püskürtme avansında Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada, CO emisyonu, dizel vede biyodizel yakıtlı çalışmaya göre oldukça yüksek çıkmıştır. Çift yakıtlı dizel motor egzozunda yüksek CO emisyonu konsantrasyonu eksik yanmayı ifade etmektedir. Sebepleri; yanmanın gecikmesi, LPG’nin soğutma etkisi, LPG’nin genişerek hava fazlalığını düşürmesi vb.dir. Motorun biyodizel/LPG ile çalışması halinde püskürtme avansının etkisi incelendiğinde; standart avansa (25° KMA) göre avans 2-3° KMA arttırıldığında CO emisyonunun azaldığı, avansın daha da arttırıldığında CO emisyonlarının standart püskürtme avansı değerindeki CO emisyonlara nazaran yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Püskürtme avansı değeri standart avans değerinin altına (22,5° KMA) düşürüldüğünde CO emisyonlarının standart avans değerindeki CO emisyonlarına nazaran arttığı gözlemlenmiştir. Püskürtme avansının 25° KMA’dan 22,5° KMA’a düşürülmesiyle biyodizele göre geç tutuşan LPG’nin yanmasının genişleme zamanına daha da sarkması CO emisyonunun artmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.5. Dizel,,Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre CO emisyonu değişimi.

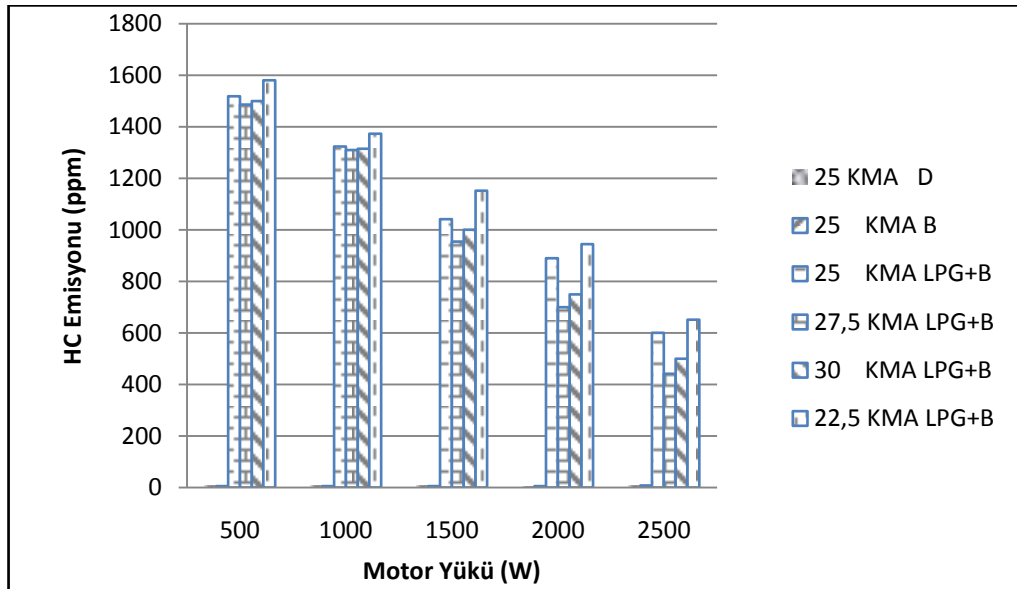
### 6.2.2. Hidrokarbon Emisyonları

Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG çift yakıt ile farklı motor yüklerinde farklı püskürtme avanslarının yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi Şekil 6.6'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bütün yüklerde standart püskürtme avansında dizel yakıtla çalışma, biyodizel yakıtla çalışmaya göre HC emisyonları daha büyük çıkmıştır. Bunun temel nedeni biyodizellerin bünyelerinde oksijen bulundurmasından dolayıdır. Yine, HC emisyonu standart avans değerinde tüm yüklerde çift yakıtlı çalışmalarda dizel vede biyodizel yakıtlı çalışmaya göre oldukça yüksektir. Yüksek olmasına LPG'nin buharlaşırken çevresinden ısı alarak silindir içi sıcaklığının düşürmesinin ve silindire girecek havanın yerini alarak hava fazlalık katsayısını düşürmesinin, çok fakir karışım bölgeleri oluşturmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Yük arttıkça Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada HC emisyonunun düştüğü görülmektedir. Bu iyileşmenin ise yük arttıkça püskürtülen tutuşturucu yakıtın (biyodizel) artması ve fakir karışım bölgelerinin yanmaya dahil olma oranının artmasından olduğu düşünülmektedir.

Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada püskürtme avansının artması ile HC emisyonunda düşüş gözlenmiştir. Püskürtme avansının arttırılmasıyla yakıtın

buharlaşması için gerekli süre sağlanmakta ve yanma verimi yükselmektedir. Dolayısıyla silindir içi sıcaklık ve basıncın artmasıyla HC'lerin oksitlenmesi sağlanmakta ve emisyon değerleri düşüş eğilimi göstermektedir. Püskürtme avansının daha da artırılmasıyla vuruntulu yanmanın başlamasıyla yanma kötüleşmekte ve HC emisyonlarında artış meydana gelmektedir.

Düşük püskürtme avansında HC emisyonunun yüksek çıkmasının ana nedeni, yanmanın genişleme zamanına doğru sarkmasındandır. Düşük püskürtme avanslarında silindir içi sıcaklık ve basıncı düştüğünden alev sönme bölgeleri oluşmakta dolayısıyla yanma kötüleşmektedir. Bu durumda HC emisyonlarında artış görülmektedir.



Şekil 6.6. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre HC emisyonu değişimi.

### 6.2.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları

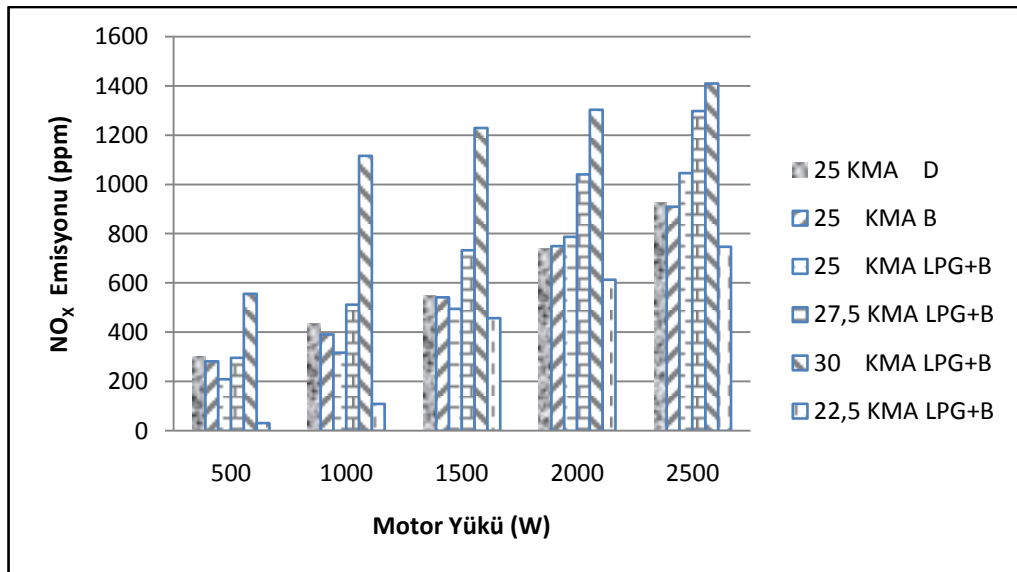
Dizel, Biyodizel ve Biyodizel/LPG çift yakıt için NO<sub>x</sub> emisyonlarının motor yüküne ve püskürtme avansına göre değişimi Şekil 6.7'de gösterilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonu standart avans (25° KMA) değerinde dizel yakıtla çalışma 2000 W'lık yük haricinde biyodizel yakıtla çalışmaya göre yüksek çıkmıştır. Biyodizelin yüksek viskozitesi nedeniyle buharlaşma için gerekli süre bulamamakta, dolayısıyla yanma



kötüleştirmekte ve sıcaklıklar düşmekte bu durumda da  $\text{NO}_x$  emisyonu da düşmektedir. Aktaş ve Sekmen, (2008) tarafından biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi adlı çalışmada ise  $\text{NO}_x$  emisyonu, dizel yakıtla çalışmada biyodizel yakıtla çalışmaya göre daha düşük çıkmıştır.  $\text{NO}_x$  emisyonu yine standart avans ( $25^\circ$  KMA) değerinde, dizel ve biyodizel yakıtla göre Biyodizel/LPG çift yakıtı ile 1500 W'lık yüke kadar düşük çıkmıştır. Yük daha da arttırıldığında Biyodizel/LPG çift yakıtı ile çalışma, dizel ve biyodizel yakıtla çalışmaya göre  $\text{NO}_x$  emisyonu artma eğilimi göstermektedir. Yük arttıkça  $\text{NO}_x$  emisyonunun artması, çevrim başına yanmaya katılan yakıt miktarının artmasının silindir içi sıcaklığını arttırmasının doğal bir sonucudur.  $\text{NO}_x$  oluşumunun yüksek yanma sıcaklığında yüksek oksijen konsantrasyonu tarafından desteklendiği ifade edilmiştir (Heywood, 1988).

Püskürtme avansının artması ile  $\text{NO}_x$  emisyonu büyük oranda artmaktadır. Buna yakıtın yanabileceği sürenin artması, silindir içi sıcaklığın artmasının sebep olduğu söylenebilir.

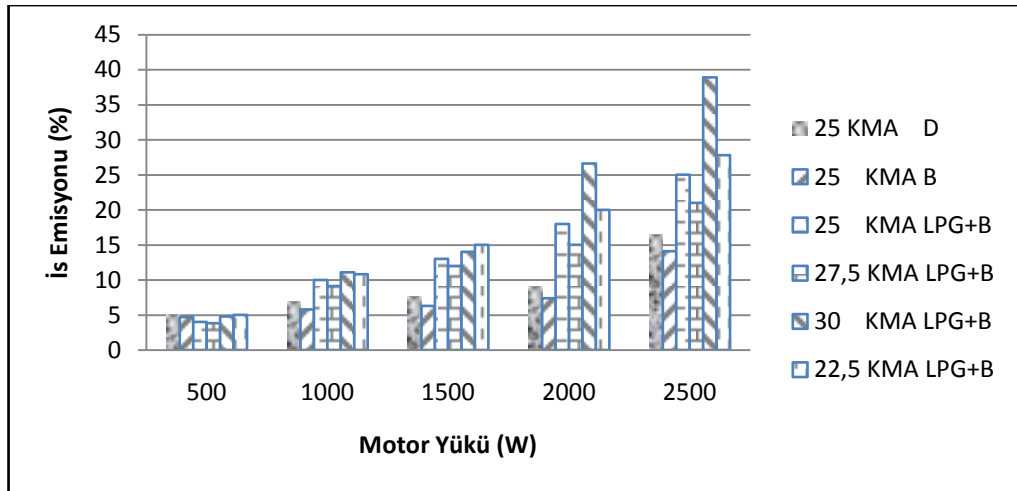
Püskürtme avansının  $22,5^\circ$  KMA'ya düşürülmesiyle standart avans ( $25^\circ$  KMA) değerine göre  $\text{NO}_x$  emisyonlarının düştüğü görülmüştür.



Şekil 6.7. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre  $\text{NO}_x$  emisyonu değişimi.

#### 6.2.4. İş Emisyonları

Dizel, Biyodizel ve biyodizel/LPG için iş emisyonunun motor yükü ve püskürtme avansına bağlı olarak değişimi Şekil 6.8’de görülmektedir. Dizel yakıtın silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hava ile hızlı bir şekilde karışamaması ve buharlaşmaması iş oluşumunun başlıca nedeni olarak ifade edilmiştir (Abdel-Rahman, 1998). Standart püskürtme avansında dizel yakıtla çalışma, biyodizel yakıtla çalışmaya göre iş emisyonları daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi biyodizelin yapısında bulunan oksijen yüzdesindedir. Bu çalışmada, iş emisyonu standart avans ( $25^\circ$  KMA) değerinde 500 W’lık yük haricinde tüm yüklerde dizel ve biyodizel yakıtla çalışma Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmaya göre düşük çıkmıştır. Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada püskürtme avansının artırılmasıyla ( $27,5^\circ$  KMA) yakıtın yanması için yeterli süre oluşmaktadır. Böylece yakıt havayla istenilen karışımı oluşturur ve yanma iyileşir. Bunun sonucunda iş emisyonlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Avans daha da artırıldığında iş emisyonları standart avans durumuna göre yüksek çıkmıştır. Avans değeri standart avans değerinin altına ( $22,5^\circ$  KMA) getirildiğinde iş emisyonunda yükselme olmuştur. Bu yükselmenin sebebi; karışımın buharlaşması için yeterli süre bulamamasıdır. Aynı zamanda buna başka bir nedense, yakıt karışımında bulunan  $H_2$  molekülleri oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve bazı karbonların yeterli oksijen bulamayıp yanamayıp atmosfere iş partikülleri halinde geçmesidir.



Şekil 6.8. Dizel, Biyodizel ve Biyodizel / LPG (%30LPG+%70B) yakıtının motor yüküne ve püskürtme avansına göre İş emisyonu değişimi.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek silindirli, hava ile soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda sabit devir ve değişik yüklerde %30 LPG içeren biyodizel/ LPG çift yakıtı ile çalışmada farklı püskürtme avanslarının motor performans ve emisyonlara etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Püskürtme avansının standart avans değerinden yüksek olduğu durumlarda Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada yakıt sarfiyatında azalma gözlenmiştir. Püskürtme avansı standart avansın altındaki değere getirildiğinde yakıt sarfiyatında standart püskürtme avans değerine göre artma tespit edilmiştir.

Püskürtme avansının standart avans değerinden yüksek olduğu durumlarda Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada efektif verimde artma gözlenmiştir. Püskürtme avansı standart avansın altındaki değere getirildiğinde efektif verimde standart püskürtme avans değerine göre azalma tespit edilmiştir.

ÖET Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada, dizel ve biyodizel yakıtla çalışmaya göre daha yüksek çıkmıştır. Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada püskürtme avansı standart avansın bir miktar üzerine arttırıldığında ÖET'de %2,5 kadar bir iyileşme gerçekleşmiştir. Püskürtme avansı bir miktar daha arttırıldığında ÖET'inde yine iyileşme olmakta ancak motor vurunutulu çalışmaktadır. Püskürtme avansı standart avansın altına getirildiğinde ÖET'de artmalar olmaktadır. Sonuç olarak motor LPG/B çift yakıtı ile çalıştırıldığında püskürtme avansının 2,5° KMA kadar arttırılması ÖET'de iyileşme sağlamakta daha da arttırılması ise olumsuz etki sağlamaktadır.

EGS; püskürtme avansı standart avansa göre bir miktar arttırıldığında (27,5° KMA) bir miktar düşmüştür. Püskürtme avansı daha da arttırıldığında EGS'nin arttığı tespit edilmiştir.

Püskürtme avansının standart değerden bir miktar yüksek olduğu durumlarda Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada CO emisyonlarında düşüş gözlenmiştir. Püskürtme avansının düşürülmesiyle CO emisyonlarında artma tespit edilmiştir.

Püskürtme avansının standart değerden yüksek olduğu durumlarda Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada HC emisyonlarında düşüş gözlenmiştir. Püskürtme avansının düşürülmesiyle HC emisyonlarında artma tespit edilmiştir.

Püskürtme avansının standart değerden yüksek olduğu durumlarda Biyodizel/LPG çift yakıtlı çalışmada NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olduğu görülmüştür. Püskürtme avansının 2,5° KMA kadar düşürülmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşüşe neden olmuştur.

Püskürtme avansı standart değerden yüksek olduğu durumlarda Biyodizel/LPG çift yakıtla çalışmada is emisyonlarında azalma gözlenmiştir. Püskürtme avansı düşürüldüğü durumda ise is emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir.

Biyodizel dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapmadan biyodizel yakıtı LPG ile birlikte çift yakıt olarak kullanılabilir. Motor LPG/B çift yakıtı ile çalıştırıldığında püskürtme avansı 2-3° KMA öne alınmasının performansa ve emisyonlara olumlu etkisi olmaktadır.

Daha önce dizel motorlarda ikinci yakıt olarak LPG, doğalgaz vb. gaz yakıtlar kullanıldığında gaz yakıt silindire girdiği zaman genleştiği için hava fazlalık katsayısını düşürdüğü görülmüştür. Dolayısıyla hava eksikliğinden dolayı CO ve HC emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada da görülmüştür ki CO ve HC emisyonları dizel ve biyodizel yakıtla çalışmaya göre oldukça yüksek çıkmıştır. Artan CO ve HC emisyonlarını; motora farklı bir kaynakla aşırı hava vererek, gaz yakıt silindire girmeden önce bir miktar ısıtılarak verilmesi vb. metotlarla daha aşağı seviyelere düşürülebileceği düşüncesi oluşmuştur.

## KAYNAKLAR

Abd Alla, G., H., Soliman, H. A., Badr, O. A. and Abd Rabbo, M. F., “Effect of injection timing on the performance of a dual fuel engine”, *Energy Conversion and Management*, 43 (2): 269–277 (2002).

Abd Alla G., Soliman, H. A., Badr, O. A. and 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 Yayınları*, Ankara, 224-227 (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).

Alibaş, K. ve Çolak, S., “Doğalgazın tek silindirli içten yanmalı bir motorda Kullanılabilme Olanağı”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 33:391-395 (1992).

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

Anonim1, “Katana Marka KM 178 FE Dizel Motorunun ve KD 4500 E Jeneratörün Katalog Değerleri”, *Katana Shop*, İstanbul, (2012).

Anonim2, “Dizel Yakıtının Teknik Özellikleri”, *Şeyhoğlu Ticaret Limited Şirketi*, Karabük, (2012).

Beggs, R. E., “Renewable oil fuels and diesel engines as components of sustainable system design”, M. Sc. Thesis, *University of Waterloo Centre for Bioengineering and Biotechnology*, Ontario, 124-126 (2001).

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

Can, Ö., Çelikten, İ. ve Usta, N., “Etanol karışımı motorin yakıtının dizel motoru egzoz emisyonlarına etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 219-224 (2005).

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

Çanakçı, M. and Gerpen, J. H. V., “Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel”, *ASAE Annual International Meeting*, Sacramento, U.S.A., 46 (4): 937-944 (2001).

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

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

Çarman, K., Salman, S. ve Ciniviz, M., “Dizel motorlarında dizel yakıtı + LPG kullanımının performans ve emisyonu etkisi”, *Selçuk-Teknik Online Dergisi/Issn*, 1302- 6178 (2001).

Demir, B., “Küçük ölçekli bir biyodizel sisteminin oluşturulması, elde edilen pamuk yağı metil esterinin motor performans testleri, enerjetik ve ekserjetik değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1, 2, 76-89, 122-129 (2009).

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

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).

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

Ergeman, M. ve Soruşbay. C., “Doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı”, *Doğalgaz Dergisi*, Şubat: 17-22 (1990).

Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H., “Review: Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils”, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (5): 405-416 (2001).

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

Gerpen, J. V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. and Knothe, G., “Biodiesel production technology, august 2002–January 2004 Subcontractor Report”, *NREL National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36244*, Colorado, 22-27 (2004).

Gonzalez Gomez, G., Hildige, R. H., Leathy, J. J., O'Reilly, T., Supple, B. and Malone, M., “Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota diesel van operating on esterified waste Cooking oil and mineral diesel fuel”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 65: 13–20 (2000).

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

Hatipoğlu İ., “İçten yanmalı motorlarda doğal gaz kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 15-18 (1996).

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

Huang, Z., Shiga, S., Ueda, T., Nakamura, H., Ishima, T. and Obokata, T., “Effect of fuel injection timing relative to ignition timing on the natural gas direct-injection combustion”, *J Eng Gas Turbine Power*, 125 (3): 783- 790 (2003).

Huzayyin A. S., Bawady A. H., Rady M. A. and 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).

İlhan, M., “Çift yakıtlı (dizel ve metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2, 3 (2007).

İlkılıç, C., “Çeşitli İternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 5-13 (1999).

İlkılıç C. ve 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).

İnternet:İpragaz Anonim Şirketi, “LPG Yakıtının Teknik Özellikleri”, <http://www.ipragaz.com.tr>, (2012).

İnternet: Bilsa Automotive Equipment, “Egzoz Gazı Analiz Cihazının Özellikleri”, <http://www.bilsaltd.com>, (2012).

İnternet: MEGEP (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) “Sınıf Modülleri”, <http://megep.meb.gov.tr>, (2008).

İnternet: DB Tarımsal Enerji San. ve Tic. A.Ş., “Kanola Biyodizeli Özellikleri” [http://www.dbtarımsalenerji.com.tr/delta\\_uploaded\\_files/file/SGS\\_14214.html](http://www.dbtarımsalenerji.com.tr/delta_uploaded_files/file/SGS_14214.html), (2007).

İnternet: Ulusoy, Y., ve Tekin, Y., “Kullanılmış Yağ Metil Esterinin Türkiye Şartlarında Dizel Motorlu Bir Araçta Kullanımı Ve Emisyon Sonuçları”, <http://www20.uludag.edu.tr/~yahyau/calismalar.htm>, (2005).

İnternet: Kolsarıcı, Ö., Basalma, D., İşler, N., Arıoğlu, H., Gür, A., Olhan, E., ve Sağlam, C., “Yağ Bitkileri Üretimi” [www.zmo.org.tr /020ozerkolsarici.pdf](http://www.zmo.org.tr/020ozerkolsarici.pdf), (2005).

İnternet: Öztürk, M., “Kullanılmış Bitkisel ve Hayvansal Yağlar”, Çevre ve Orman Bakanlığı, [www.cevreorman.gov.tr/belgeler/yaglar.pdf](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/yaglar.pdf), (2004).

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).

Kaplan C., “Ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 16–33 (2001).

Karakuş, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 90-101 (2000).

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

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

Körbitz, W., “New trends in developing biodiesel world-wide”, *Evaluating & Exploiting the Commercial Uses of Ethanol, Fuel Alcohol & Biodiesel*, Singapore, 5-8 (2002).

Lata, D. B., Misna, A. and Medhekar, S. “Effect of hydrogen and LPG addition on the efficiency and emissions of a dual diesel engine” *International Journal of Hydrogen Energy*, 37: 6084-6096 (2012).

Ma, F. and Hanna, M. F., “Biodiesel production: A review”, *Bioresourcetechnology*, 70:1–15 (1999).

Minwafor, O.: “Effect of advanced injection timing on the performance of natural gas in diesel engines”, *Sadhana*, Nigeria, 25 (1): 11-20 (2000).

Nas, S., Gökalp, H. Y. ve Ünsal, M., “Bitkisel Yağ Teknolojisi”, *Mühendislik Fakültesi Matbaası*, Denizli, 43-58 (2001).

Nwafor, O. M. I., “Effect of advanced injection timing on emission characteristics of diesel engine running on natural gas”, *Renewable Energy*, 32: 2361-2368 (2007).

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



Oconnor, L., “Cleomy thr air with natural gas engine”, *Mechanical Engineering*, 52-56 (1993).

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).

Öğüt, H. ve Oğuz, H., “Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 43-98 (2005).

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

Papagiannakis, R. G., Hountalas, D. T. and 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).

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).

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., “Dual fuel mode operation in diesel engines using renewable fuels: Rubber seed oil and coir-pith producer gas”, *Renewable Energy*, 37: 2634-2647 (2007).

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).

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).

Safgönül B., Ergeneman M., Arslan H.E., ve Soruşbay C., “İçten Yanmalı Motorlar”, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Otomotiv ABD, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 25-30 (1999).

Sahoo, P. K. and Das, L. M., “Combustion analysis of jatropha, karanja and polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine”, *Fuel*, 88: 994–999 (2009).

Saleh, H. E., ‘Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in a dual diesel engine.’ *Fuel*, 87 (1): 3031-3039 (2008).

Saraç, S., “Çift yakıtlı bir dizel motorda LPG/biyodizel oranının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 86-94 (2011).

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

Süzer, S., “Kanola tarımı ve biomotorin üretimi”, **Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü**, 52-55 (2004).

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).

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).

TS-EN 589, “Otomotiv Yakıtları, LPG Özellikleri ve Deney Metotları”, **TSE**, Ankara, 44-52 (1996).

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).

U.S. DOE (Department of Energy) “Biodiesel Basics, Biodiesel Handling And Use Guidelines” **DOE, DOE/GO-102004-1999**, 4 (2004).

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).

## ÖZGEÇMİŞ

Sercan SOLAK 1986 yılında Karacabey/BURSA’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Demirtaşpaşa Endüstri Meslek Lisesi, Elektronik Bölümü’nden 2003 yılında mezun oldu. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2009 yılında mezun oldu. 2011 yılında Emniyet Genel Müdürlüğü, İstanbul Emniyet Müdürlüğü’nde memur olarak göreve başladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programından; “biyodizel/LPG çift yakıtlı bir motorda püskürtme zamanının performans ve emisyonlara etkisi” adlı bu tezi vererek mezun oldu.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Maraşel Çakmak Mh. Taşçılar Sk.  
No:31/10  
Güngören/İSTANBUL

Tel : 0 535 825 36 27  
e-posta: sercansolak@hotmail.com

**EK AÇIKLAMALAR A .**

**KANOLA BİYODİZELİN YAKIT ÖZELLİKLERİ VE ANALİZ  
RAPORLARI**

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

**SGS**

**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>Gaschromatographic 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/m<sup>3</sup></u> (EN ISO 12185)	882.4	882.7
<u>Kinematic viscosity at 40°C, mm<sup>2</sup>/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 +31-181-603333 | f +31-181-893566 | www.sgs.com  
R.O. Rotterdam no. 24228722 | Member of the SGS Group (Societe 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.

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

<b>SGS</b>		
<b><u>ANALYTICAL REPORT SR-1163539.01.A02</u></b>		<b>P. 2/3</b>
<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

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

**SGS**


**ANALYTICAL REPORT SR-1163539.01.A02**

**P. 3/3**

---

\*\*\*End of analytical results\*\*\*

Spijkernisse, 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.