

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE
EMİSYON ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

Mak.Müh. Selda NİŞANCI

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.İrfan Yavaşhol YTÜ

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTIMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyokütle Enerjisi	2
1.2. Biyodizel.....	2
2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANILMASI.....	4
2.1. Dizel Motor Yanma Prosesi.....	4
2.2. Dizel Motoru Yakıtının Temel Özellikleri.....	5
2.2.1. Fiziksel Özellikler.....	5
2.2.1.1. Özgül Ağırlık.....	5
2.2.1.2. Viskozite.....	5
2.2.1.3. Uçuculuk Noktası.....	6
2.2.1.4. Parlama Noktası.....	6
2.2.1.5. Donma Noktası.....	6
2.2.1.6. Su ve Tortu Miktarı.....	6
2.2.1.7. Buharlaşma Noktası.....	6
2.2.1.8. Düşük Sıcaklıkta Davranışı.....	7
2.2.2. Kimyasal Özellikler.....	7
2.2.2.1. Ateşleme Noktası.....	7
2.2.2.2. Kükürt Miktarı.....	8
2.2.2.3. Kül Miktarı.....	8
2.2.2.4. Karbon Artıkları.....	8
2.2.2.5. Setan Sayısı.....	8
2.2.2.6. Aromatik Yüzdesi.....	9
2.3. Biyodizelin Özellikleri.....	9
2.3.1. Yoğunluk.....	10
2.3.2. Parlama Noktası.....	10
2.3.3. Kalori Değeri.....	10
2.3.4. Kinematik Viskozite	10
2.3.5. Soğukta Akış Özelliği.....	11
2.3.6. Setan Sayısı.....	11
2.3.7. Isıl Değer.....	11

2.3.8.	Yağlayıcılık.....	12
2.3.9.	Karbon Artığı.....	12
2.3.10.	İyot Sayısı.....	12
2.3.11.	Kükürt İçeriği.....	12
2.3.12.	Su İçeriği.....	12
2.3.13.	Oksidasyon Kararlılığı.....	13
2.3.14.	Yağlama Yağının Seyrelmesi.....	13
2.3.15.	Toksik Etki.....	13
2.3.16.	Biyobozunabilirlik.....	14
2.4.	Biyodizel Özelliklerinin Dizel Yakıt ile Karşılaştırılması.....	15
2.4.1.	Biyodizelin Üstünlükleri ve Sakıncaları.....	15
2.4.2.	Biyodizel Emisyonları.....	16
2.5.	Biyodizelin Malzeme Uyumu.....	18
2.6.	Biyodizel Standartları.....	19
3.	BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	20
3.2.	Biyodizel Üretim Sistemleri.....	20
3.2.1.	Kesikli Sistem.....	20
3.2.2.	Yarı Kesikli Sistem.....	22
3.2.3.	Sürekli Sistem.....	22
3.2.4.	Yüksek Serbest Yağ Asit Sistemi.....	23
3.2.5.	Katalizörsüz Sistem.....	24
3.2.5.1.	Biox Sistem.....	24
3.2.5.2.	Süper Kritik Sistem.....	26
4.	DİZEL MOTORLARINDA GÜÇ VERİM VE KARAKTERİSTİK EĞRİLER.....	27
4.1.	İş ve Güç	27
4.2.	Faydalı Güç.....	27
4.2.1.	Elektrikli Dinamometre ile Faydalı Gücün Ölçülmesi.....	27
4.3.	Motor Momenti.....	27
4.4.	Dizel Motorlarında Karakteristik Eğriler.....	28
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	29
5.1.	Deneyin Amacı.....	29
5.2.	Deney Düzenegi.....	29
5.2.1.	Deney Motoru.....	31
5.2.2.	DC Motor ve Load Cell.....	32
5.2.3.	Transdüser, Sinyal Yükseltici, Bilgisayar ve Osiloskop.....	34
5.2.4.	Yakıt Tankları	35
5.2.5.	Egzoz Gaz Analiz Cihazı.....	35
5.2.6.	Kontrol Paneli.....	36
5.3.	Deneyde Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri.....	38
5.5.	Deney Grafikleri Çiziminde Kullanılan Formüller.....	40
5.6.	Deneyin Yapılışı.....	41
5.7.	Deney Verileri.....	42
5.7.1.	Dizel Yakıtı Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri.....	42
5.7.2.	%20 Soya + %20 Ayçiçek + %60 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri.....	43
5.7.3.	%30 Soya + 70 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz	

Emisyon Değerleri.....	44
5.8. Deneyle Sonucu Elde Edilen Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Maksimum Tork ve Maksimum G¼¼ İçin Silindir İçi Basınç Değişimi Grafikleri.....	45
5.8.1. Motor Momenti Değişimi.....	45
5.8.2. Motor G¼¼ Değişimi.....	46
5.8.3. Özg¼¼ Yakıt Sarfiyatı Değişimi.....	47
5.8.4. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu Değişimi.....	48
5.8.5. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	49
5.8.6. Azotoksit (Nox) Emisyonu Değişimi.....	50
5.8.7. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi.....	51
5.8.8. Oksijen (O ₂) Emisyonu Değişimi.....	52
5.8.9. Hava Fazlalık Katsayısının (λ) Değişimi.....	53
5.8.10. Egzoz Sıcaklığı Değişimi.....	54
5.8.11. Üç Yakıtın Max G¼¼ Şartında Silindir İçi Basınç Değişimi.....	55
5.8.12. Üç Yakıtın Max Tork Şartında Silindir İçi Basınç Değişimi.....	57
6. SONUÇ VE DEğERLENDİRME.....	59
İNTERNET KAYNAKLARI.....	61
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGE LİSTESİ

P	Güç
M_d	Döndürme Momenti (Tork)
b_e	Özgül Yakıt Tüketimi
F	Kuvvet
L	Kuvvet Kolu
λ	Hava Fazlalık Katsayısı
n	Motor Devri
V	Hacim
ρ	Özgül Ağırlık
T	Sıcaklık
η_k	Kasnak Verimi
cm	Centi Stoke
kW	Kilo-Watt
atm	Atmosfer Basıncı
Nm	Newton Metre
°C	Santigrad Derece
m	Metre
%	Yüzde
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
HC	Hidrokarbon
O ₂	Oksijen
NO _x	Azotoksitler
d/d	Dakikadaki Devir Sayısı
J	Joule

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
EN	Avrupa Birliği Standartları
DIN	Alman Standartları
EPA	Environmental Protection Agency
FFA	Serbest Yağ Asidi
DC	Direct Current
B5	%5 Biyomotorin + %95 Motorin
B20	%20 Biyomotorin + %80 Motorin
B50	%50 Biyomotorin + %50 Motorin
B100	%100 Biyomotorin
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
BG	Beygir Gücü
max	Maksimum
min	Minimum
SK	Soya Kanola Karışımı
SKA	Soya Kanola Ayçiçek Karışımı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Biyodizel Üretimi Kimyasal Reaksiyonu.....	20
Şekil 3.2. Kesikli Sistem Biyodizel Üretim Şeması.....	21
Şekil 3.3. Sürekli Sistem Biyodizel Üretim Şeması.....	23
Şekil 3.4. Yüksek Serbest Yağ Asit Biyodizel Üretim Yöntemi.....	24
Şekil 3.5. Biox Yöntemi ile Biyodizel Üretim Sistemi.....	25
Şekil 3.6. Süperkritik Yöntem ile Biyodizel Üretim Sistemi.....	26
Şekil 5.1. Deney Düzeneği Şematik Yapısı.....	30
Şekil 5.2. Deney düzeneği genel görünümü.....	30
Şekil 5.3. Deney Motoru Genel Görünümü.....	31
Şekil 5.4. DC Motor Genel Görünümü.....	33
Şekil 5.5. Load Cell Genel Görünümü.....	33
Şekil 5.6. Osiloskobun Genel Görünümü.....	34
Şekil 5.7. Yakıt Tankları ve 5 Yollu Vananın Genel Görünümü.....	35
Şekil 5.8. Egzoz Gaz Analiz Cihazı Genel Görünümü.....	36
Şekil 5.9. Kontrol Paneli Genel Görünümü.....	37
Şekil 5.10. Motor Momentinin Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	45
Şekil 5.11. Motor Gücünün Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	46
Şekil 5.12. Özgül Yakıt Sarfiyatının Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	47
Şekil 5.13. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	48
Şekil 5.14. Karbonmonoksit (CO) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	49
Şekil 5.15. Azotoksit (Nox) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	50
Şekil 5.16. Hidrokarbon (HC) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	51
Şekil 5.17. Oksijen (O ₂) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	52
Şekil 5.18. Hava Fazlalık Katsayısının (λ) Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	53
Şekil 5.19. Egzoz Sıcaklığının Devir Sayısıyla Değişim Grafiği.....	54
Şekil 5.20. Üç Yakıtın Max Güç Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiği.....	55
Şekil 5.21. Üç Yakıtın Max Güç Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiğinin Yakınlaştırılmış Hali.....	56
Şekil 5.22. Üç Yakıtın Max Tork Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiği.....	57
Şekil 5.23. Üç Yakıtın Max Tork Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiğinin Yakınlaştırılmış Hali.....	58

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Biyodizel ile dizel yakıtı özelliklerinin karşılaştırılması.....	15
Çizelge 2.2. Biyodizel emisyonları.....	17
Çizelge 5.1. Deney Motoru Teknik Özellikleri.....	32
Çizelge 5.2. %20 Soya+%20 Ayçiçek+%60 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Analiz Raporu.....	38
Çizelge 5.3. Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Analiz Raporu.....	39
Çizelge 5.4. Soyadan Elde Edilmiş Biyodizelin Analiz Raporu.....	40
Çizelge 5.5. Dizel Yakıtı Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri.....	42
Çizelge 5.6. %20 Soya + %20 Ayçiçek + %60 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri.....	43
Çizelge 5.7. %30 Soya + %70 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri.....	44

ÖNSÖZ

Günümüzde kullanılmakta olan mevcut fosil kökenli yakıtların sebep olduğu ekonomik,siyasi ve çevresel sorunlar şüphesiz tüm insanlığın ortak problemidir.

Son yıllarda önemi daha da artan alternatif yakıtlar arasında yer alan biyodizel konusu ile ilgili yaptığım bu tez çalışmasının, sağlam bir zemin oluşturacağına inanıyorum.

Bu derece önemli bir konuda çalışmama olanak sağlayan değerli tez hocam Sayın Prof.İrfan YAVAŞLIOL'a, çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen sevgili hocam Sayın Arş.Gör.Alp Tekin ERGENÇ'e ve Arş.Gör. Levent Yüksek'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam sırasında benden desteklerini esirgemeyen ağabeyim,babam ve nişanlıma teşekkür ediyorum.

Beni bu dünyaya getiren,büyüten,yetiştiren,iyi bir meslek sahibi olmamı sağlayan,fakat hayatımın bu aşamasında yanımda olamayan canımıniçi annem MELAHAT NİŞANCI'ya tezimi ithaf ediyorum.Nur içinde yat!

ÖZET

Dizel yakıtları birçok alanda kullanılmakta ve ülke ekonomisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Petrolün her geçen gün azalması, petrol krizleri ve çevre bilincinin artması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır.

Biyodizel, dizel motorları için, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilebilen alternatif bir yakıttır. Ve ayrıca toksin olmayan, doğada kolay bozunabilir, çevreci bir yakıttır. Avrupa Birliği'nin 2003/30/EC direktifi ile 2005 sonunda piyasaya arz edilen fosil yakıtlara %2 oranında biyoyakıt eklenmesi zorunluluğu getirilmiştir.

Bu çalışmada, gelecekte fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak kullanılması düşünülen biyodizel, bir direk püskürtme sistemine sahip dizel motorunda farklı karışım oranlarında test edilmiştir. %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ile %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizelin test edilmesi suretiyle, test motorunun motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi olarak sınıflandırılan performans karakteristiklerine ulaşılmıştır. Deneysel motorunun egzoz çıkış borusundan gaz analiz cihazı propları ile egzoz emisyon değerleri alınmıştır. Ayrıca silindir içi basınç değişiklikleri ölçülmüştür. Deneysel motor, referans dizel yakıt ile test edilmiş ve elde edilen performans ve egzoz karakteristikleri motorun alternatif yakıt deneylerinde referans oluşturmuştur. Her iki yakıt karışımı ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar referans karakteristiklerle karşılaştırılmış ve sonuçlar grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Dizel motor, alternatif yakıt, biyodizel, motor performansı, egzoz gazı emisyonları , silindir içi basınç değişimi

ABSTRACT

Diesel fuels are used in many areas and take an important place in country's economy. Decreasing of oil day by day, petroleum crises and increasing environmental consciousness cause to the interest in renewable energy sources.

Biodiesel, which can be produced from edible sources as vegetable oils and animal fats, is an alternative fuel for diesel engines. And also it is non-toxic, biodegradable, environmental friendly fuel. European Union's 2003/30/EC directive brings a must that %2 biofuel should be added to the fossil fuels on the market at the end of 2005.

In this study, different types of biodiesels, as an alternative fuel instead of fossil fuels, were tested on a diesel engine which had a direct injection system. Our biodiesels which were obtained by mixing %20 soybean + %20 sunflower + %60 canola and by mixing %30 kanola + %70 soybean were tested in order to approach engine moment, engine power and specific fuel consumption which is said engine performans characteristics. Exhaust emissions values were proped from diesel engine's exhaust way out pipe with exhaust gas analysis device. Besides, the variations of internal pressure of cylinder were proped. Before test, engine was tested with reference fuel. Performance and exhaust characteristics were referanced in alternative fuel test's. For each fuel mixture, the testing results were compared with referance characteristics and finally they were presented with graphs.

Keywords : Diesel engine, alternative fuels, biodiesel, engine performance, exhaust gas emissions, variations of internal consumption of cylinder

1. GİRİŞ

Dünyanın enerji ihtiyacının ürkütücü boyutta artması nedeniyle, rüzgar, güneş enerjisi, biyoyakıtlar gibi alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve ticari ölçekte üretimi önem kazanmaktadır. Ancak yapılan hesaplar, 2025'e gelindiğinde alternatif enerji kaynaklarının toplam ihtiyacın ancak %10'unu karşılayabileceğini gösteriyor. Öte yandan petrol rezervleri giderek azalmaktadır.

Petrol rezervlerinin giderek azalması, bunun paralelinde petrol fiyatlarının artması, doğal olarak otomotiv endüstrisini alternatif yakıt arayışına itmiştir. Özellikle yenilenebilir ve bol miktarda bulunması nedeniyle tarımsal ürünlerden elde edilen bitkisel yağlardan kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla yakıt eldesi günümüzde oldukça önem kazanmış bir konudur. Bu yakıtların en başta geleni biyodizeldir.

Yaptığımız bu deneysel çalışma ile alternatif enerji kaynağı olan biyodizel yakıt karışımlarını, Lombardini LDA 450, tek silindirli direkt püskürtmeli motorda kullanarak performans ve emisyon değerlerini elde ettik. Bu verilere göre de biyodizelin dizel yakıtı olan motorine yakın ve uygun özellikler taşıyıp taşımadığı değerlendirilmiştir.

1.1. Biyokütle Enerjisi

Günümüzde kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli, birincil enerji kaynakları yanı sıra, yeni-yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji teknolojisinde değerlendirilmesi konusunda artan bir ilgiye ve uygulama yoğunluğu gösterilmektedir. Yeni-yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele “Biyokütle” sahiptir. Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler “Biyokütle Enerji Kaynağı”, bu kaynaklardan üretilen enerji ise “Biyokütle Enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Fotosentez ile enerji içeriği yaklaşık olarak 3.10^{21} j/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Bu değer dünya enerji tüketiminin 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir. Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar), yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b.), karbo-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday, v.b.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile şehirselle ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlarına ulaşılmaktadır. Biyokütle kökenli, en önemli Dizel motoru alternatif yakıtı biyomotorindir. Biyomotorin (Biodiesel), biyodizel, Dizel-Bi, Yeşil Dizel adları ile de bilinmektedir. /1/

Biyokütle kaynaklarının biyoyakıt olarak değerlendirilmesi; enerji üretiminde ithal ve fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması, sera gazlarının salımlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, pek çok sektörde yeni istihdam olanakları yaratılması açısından oldukça olumlu katkılar sağlamaktadır. Bununla beraber, toprak kullanımı ve tarım tekniklerine bağlı olarak, Yer altı suyu kirliliği, biyolojik çeşitliliğin azalması, çoraklaşma, orman alanlarının azalması gibi olumsuz çevresel etkilere de yol açabilmektedir.

1.2. Biyodizel

Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan (kanola, keten, pamuk, soya fasulyesi, yer fıstığı, kolza, hindistan cevizi ve palmye bitkilerinden), kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil esterlerdir. /2/

Diğer bir ifade ile biyodizel, bitkisel yağ asidi esterlerinin metanol veya etanol gibi basit alkollerle belirli koşullar altında reaksiyona girmesi ile elde edilen mono alkil esterlerdir.

Başlangıçta bitkisel yağların en az işlem ve hazırlıkla doğrudan kullanılabilceği düşünülse de motorlar üzerinde yapılmış ayrıntılı deneyler göstermiştir ki, tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı pratikte pek çok problem oluşmaktadır. Bu problemlere örnek olarak, enjektör memesinde karbon birikimi, aşırı miktarda motor tortusu, yağlayıcı yağ seyrelmesi, piston segmanı yapışması, silindir gömleğinin aşınması ve hatta bitkisel yağın polimerleşmesinden dolayı yağlamada oluşan aksaklıklar verilebilir. Bunun yanı sıra soğukta ilk çalışma problemi, ateşleme kalitesinin ve ısı verimin düşüklüğü gibi operasyonel sorunların daha ciddi şekilde görüldüğü bölünmüş yanma odalı dizel motorlarda, doğrudan kullanılmasının önündeki en büyük engeldir. (*Poulton, 1994*)

İşte bütün bu sebeplerden dolayı bitkisel yağların yapısı, dizel yakıtı yakın olacak şekilde kimyasal değişikliğe uğratılmıştır. Üretim bölümünde bahsedilecek çeşitli işlemler sonucunda bitkisel yağlar kimyasal reaksiyonlar neticesinde esterleştirilmiş '**biyodizel**' olarak anılan ve dizel motorlarda kullanıldığında bitkisel yağ kullanımının yol açtığı problemleri ciddi oranda azaltan alternatif yakıt elde edilmiştir. (*Altınsoy, 2006*)

2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANILMASI

Günümüzde özellikle Amerika ve Avrupa'da biyodizel üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır. Uzun süren testler ve bilimsel araştırmalar neticesinde biyodizelin kullanımından doğan artı ve eksileri değerlendirilmektedir. Bu bölümde öncelik sırasına göre ele alacağımız konular dizel yanma prosesi, dizel motoru yakıtından beklenen özellikler, biyodizel ile kıyaslanması ve biyodizel üretim teknikleridir.

2.1. Dizel Motor Yanma Prosesi

Dizel motorlarda silindir içerisine belli hacimde hava alınır. Alınan bu taze hava sıkıştırılmak sureti ile basıncı ve sıcaklığı yüksek mertebelere çıkartılır. Basıncı ve sıcaklığı yükselmiş havanın üzerine dizel yakıtı enjektörler vasıtası ile yollanır ve kendi kendine tutuşma esasına göre silindir için yanma prosesi gerçekleşir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, silindir içerisine püskürtülen yakıtın hemen tutuşmadığıdır. Belli bir zaman tutuşma gecikmesinden sonra yanma gerçekleşmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinde silindir içerisine püskürtülen yakıt ısınır, sonra buharlaşır, hava ile karışır ve kimyasal ön yanma reaksiyonlarla yanmaya hazır hale gelir. Yakıtın püskürtülmesinden sonra ısınması, buharlaşması ve hava ile karışması fiziksel gecikme olarak tanımlanmıştır.

Gecikme işleminden sonra, silindir içerisinde tutuşma eş zamanlı olarak birkaç bölgede başlar. Kimyasal olarak doğru oran olan stokiyometrik orana yakın hava/yakıt değerinde bulunan bölgelerde tutuşma önce olur. Tutuşma çok hızlı bir şekilde yakıtın havayla karıştığı ve yanmaya hazır halde beklediği bölgelere ilerler. Silindir içi sıcaklık ve basınç artışlarının ani olarak çok yüksek değerlere çıkması, yanma prosesini kontrolsüz yanma olarak adlandırılan dilime iter. Bu anda geride kalan yakıt, yanma prosesi için halen zengin karışım halindedir ve yakıtın hava ile temasının tam olarak gerçekleşmesi gerekmektedir. İşte bu noktada yanma hızı azalmakta ve kontrollü ya da difüzyon yanma olarak adlandırılan safha gerçekleşmektedir. Havayla tam nüfus eden yakıtın yanma prosesi gerçekleşmiş olur. *(Knothe, Jurgen, Garpen, 2005)*

2.2. Dizel Motoru Yakıtının Temel Özellikleri

2.2.1. Fiziksel Özellikler

1. Özgül ağırlık
2. Viskozite
3. Uçuculuk noktası
4. Parlama noktası
5. Donma noktası
6. Su ve tortu miktarı
7. Buharlaşma noktası
8. Düşük sıcaklıkta davranışı

2.2.1.1. Özgül Ağırlık

Belli hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranına o yakıtın özgül ağırlığı denir. Yani birim hacminin ağırlığıdır. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar, daha fazla karbon taşıdıklarından büyük ısı enerjisine sahiptirler.

Yakıtın özgül ağırlığı elde edildiği ham petrolün cinsine göre değişir. Özgül ağırlığı kg/lt olarak ifade edilir. Dizel yakıtların özgül ağırlığı 15.5 °C'de 0,835 ile 0,934 kg/lt arasındadır. (Ejder, 2006)

2.2.1.2. Viskozite

Viskozite, bir sıvının akmaya karşı direncidir. Birimi sentistokdur. Yağlama, hareketli parçalar arasındaki sürtünme, aşınma ve kaçak gibi etkenler viskozite ile ilgilidir. Çok düşük viskoziteli akaryakıtların, pompa kayıplarının çoğalmasına neden olacağı gerekçesiyle dizel motorlarında kullanılmaları uygun değildir. Diğer taraftan, viskozite gereğinden fazla yüksek olmamalıdır. Çünkü viskozitenin artması, püskürtme sırasında büyük bir direncin meydana gelmesine neden olur. Bu istenilmeyen yüksek viskozite belki hafif yakıtlar için olabilir çünkü istenilen püskürtme sağlanıncaya kadar püskürtme basıncı yükseltilebilir. Çok ağır ve viskoz yakıtlar hava ile püskürtmeli makinelerde de kullanılır.

Dizelin 40 °C'de ölçülen viskozitesi ise 2,0-4,5 cst arasında değişmektedir. /3/

2.2.1.3. Uçuculuk Noktası

Genel olarak sıvıların, sıvı durumdan gaz durumuna geçme sıcaklığına uçuculuk noktası denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtım sıcaklığının %90'ı ile ifade edilir. Şöyle ki; bir yakıt damıtım sıcaklığına kadar ısıtılırsa miktarının %90'ı buhar haline geçebilmelidir.

Uçuculuk kabiliyeti yüksek yakıtlar bilhassa küçük dizel motorlarında egzoz sıcaklığını, yakıt tüketimini ve dumanı azaltır. Emisyon değerini düşürür.

Dizel yakıtların uçuculuk özellikleri standart bir aparatta kontrollü ısıtmayla yakıttan alınan numuneden arka arkaya parçaların arıtıldığı sıcaklık cinsinden ifade edilir. En çok kullanılan metotlardan biri ASTM D86'dır. Yakıtın damıtma ya da kaynama aralığı kimyasal bileşimine bağlıdır ve bu nedenle akışmazlık, parlama noktası, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerindeki etkiler. (Ejder, 2006)

2.2.1.4. Parlama Noktası

Isıtılan yakıtların oluşturdukları buharların kendiliğinden parlayabildikleri en düşük sıcaklık derecesine parlama noktası denir. Parlama noktası makinenin performansı ile doğrudan ilgili değildir ancak yakıtı depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür. Genellikle emniyet için yakıtların parlama noktası 65-150 °C arasında olmalı ve 36 °C'nin altına düşmemelidir. (Ejder, 2006)

2.2.1.5. Donma Noktası

Yakıtın soğuk havalarda kullanılma kabiliyetidir. Belli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşir ve sıcaklık daha fazla düşünce donar. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıtın akışına engel olur. Bu nedenle yakıtların donma noktası bölgenin dış hava sıcaklığından 5-10 °C daha düşük olmalıdır. (Ejder, 2006)

2.2.1.6. Su ve Tortu Miktarı

Yakıt içindeki su ve tortu, yakıt pompası ve enjektörlerde aşınma ve paslanmaya yol açar. Normalden fazla su, yakıtın yanmasını kötü yönde etkiler. Yakıtın içerisindeki su ve tortu miktarı %0,5' den fazla olmamalıdır. (Ejder, 2006)

2.2.1.7. Buharlaştırma Noktası

Bir yakıtın buharlaştırma noktası arıtma özelliklerinden de etkilenir. Bu yüzden maksimum %90 arıtma Kanada gibi kışları çok soğuk geçen bir ülkede 315 °C'yle sınırlıyken tropikal yerlerde

bu sıcaklık 379 °C'ye kadar yükselmektedir. (Ejder, 2006)

2.2.1.8. Düşük Sıcaklıkta Davranışı

Dizel yakıtların çoğu önemli oranda parafinli bileşene sahiptir. Düşük sıcaklıklarda parafin kristallerinin oluşturduğu çökelti yakıt filtresinin tıkanmasına ve yakıt beslemesinin kesilmesine yol açabilir. Yakıtın özelliklerine bağlı olarak parafin çökmesi 0 °C'de gerçekleşebileceği gibi çok erken başlayabilir. Bu nedenle kışın kullanılacak dizel yakıtların sorun çıkarmaması için özel olarak seçilmesi ya da işlem görmesi gerekir.

Düşük sıcaklık direnci parafin kristallerinin çökmesini önleyici katkı maddeleriyle daha da yükseltilebilir. Bugün mevcut olan kışlık dizel yakıtlar -22 °C'den başlayan düşük sıcaklık direncini garanti edebilecek düzeydedir. Başka iki yol da filtreyi ısıtmak ve dizel yakıtta petrol ürünleri eklemektir. Düzenli benzin ilavesi de çökmeyi geciktirebilir. Ancak, benzinin setan sayısı çok düşük olduğundan tutuşma kalitesi azalır ve parlama noktası önemli oranda düşer. (Ejder, 2006)

2.2.2. Kimyasal Özellikler

1. Ateşleme noktası
2. Kükürt miktarı
3. Kül miktarı
4. Karbon artığı
5. Setan sayısı
6. Aromatik yüzdesi

2.2.2.1. Ateşleme Noktası

Dizel yakıtların silindir içerisindeki şartlarda kendi kendine ateş alma kabiliyetine ateşleme noktası denir. Ateşleme noktası iyi olan yakıt düşük sıcaklıklarda yanar. Böylece motor çabuk çalışır, az duman yapar ve vuruntu azalır.

Ateşleme noktası yakıtlarda setan sayısı ve dizel endeksi ile ifade edilir.

Setan sayısı, dizel yakıtının, kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Setan sayısı ile oktan sayısının özellikleri tamamen birbirine zıttır. Şöyleki; oktan sayısı yükseldikçe benzinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti azalır. Buna karşın setan sayısı yükseldikçe

motorinin kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar.

Yakıtın setan sayısı düşük olursa, motorun ilk hareketi zorlaşır ve motorda vuruntu oluşur. Setan sayısı fazla olursa da gecikme süreci çok kısılacığından püskürtülen yakıt fazla uzağı gidemeden yani tamamen buharlaşmadan tutuşur.

Enjektör memesi fazla ısınarak yakıtta kraking yapar ve bu nedenle yanma odasında karbonlaşma oluşur. Yanma kötüleşir ve emisyonlar artar. Bu nedenlerden dolayı setan sayısı 45-60 arasında olmalıdır.

2.2.2.2. Kükürt Miktarı

Yakıtın önemli özelliklerinden biriside içindeki kükürt miktarıdır. Ham petrolün damıtılması anında motorin içine karışan kükürt, yanma zamanında oksijenle birleşerek kükürtdioksit veya biraz daha oksijen bulmak suretiyle kükürttrioksit oluşturur. Bu gazlardan kükürtdioksit pek tehlikeli değılsede kükürttrioksit yanma artıklarından olan su buharı ile birleşerek sülfürikasit oluşur. Çok şiddetli bir aşındırıcı olan sülfürikasit, motor parçalarının kısa zamanda aşınmasına neden olur. Bu gibi aşınmaları önlemek amacı ile yakıtlardan kükürt temizlenebilir. Fakat maliyeti artacağından %1'e kadar kükürte müsaade edilir.

2.2.2.3. Kül Miktarı

Bu özellik yanma sonunda yakıtın bıraktığı artıkları (külleri) ifade eder. Karbon ve hidrojen bileşiklerinden oluşan yakıtlar aslında hiç kül bırakmamalıdır.

Yanma sonunda motorda zımpara tozu gibi aşındırıcı etki yapan külleri yakıt içinde yabancı madde olarak bulunan madeni tuzlardan oluşur. Yakıtın kül bırakma oranı %0,01'den fazla olmamalıdır. (Ejder, 2006)

2.2.2.4. Karbon Artıkları

Yakıtın havasız bir ortamda ısıtılması sonucunda arta kalan karbon miktarına verilen isimdir. Karbon artığı, yakıtın eksik yanma şartları altında karbon-is oluşturma özelliğini belirtir. Yakıtın karbon artığı yüzdesi fazla ise, yanma sırasında tamamı yanmaya iştirak etmez ve iş yapar. Bu da enjektör memelerinin karbon bağlamasına ve meme deliklerinin tıkanmasına neden olur. (Ejder, 2006)

2.2.2.5. Setan Sayısı

Dizel motorunda aynı şartlarla aynı vuruntu şiddetini veren metil naftalin + setan

karişımındaki setan yüzdesi setan sayısı demektir. Setan sayısı dizel yakıtının ateşleme kalitesini yani tutuşmaya gösterdiği meyli ifade eder.

Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısalması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karişımın sağlanabilmesi için daha az süre olması ve yakıtın yanma odası içerisinde iyi dağılamaması nedeniyle yanma hızı da azalır.

Setan sayısı, dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerine etki eder. Setan sayısının yüksek olması motorun sessiz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Setan sayısının gereğinden fazla yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından, yakıt yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir.

Setan sayısı, yüksek hızlı dizel motorlarında 45-50'dir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti, Alman DIN 51601 standart değerine göre, dizel yakıtı için setan sayısı 45'den daha aşağı değildir. (Ejder, 2006)

2.2.2.6. Aromatik Yüzdesi

Hidrokarbonlar içerisinde yoğunluğu en fazla olan aromatilerdir. Dolayısıyla birim hacim başına en yüksek ısı değere sahip olduklarından isli yanarlar. Yanma odasına püskürtülen yakıtın aromatik yüzdesinin fazla olması durumunda yanma sonucu oluşan karbon birikintilerinin çokluğu sebebiyle özellikle subap sapı ve tablalarında ve enjektör meme uçlarında kurum oluşarak yanma odası hacminin azalmasına sebep olmaktadır. Yanma odası içerisinde çok fazla miktarda biriken artıklar yüzünden yanma verimi azalarak performans değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Bu yüzden özellikle jet yakıtlarında aromatik ağırlığının %25'den fazla bulunmaları arzu edilmez.

Dizel yakıtı içerisindeki aromatik bileşenin oranının düşürülmesi, HC emisyonunun düşmesini sağlamaktadır. (Ejder, 2006)

2.3. Biyodizelin Özellikleri

Mevcut dizel yakıtına benzer özellik gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, direk olarak motorin yerine kullanılabilmesi gibi, mevcut motorin yakıtıyla belli oranlarda karişım oluşturarak da kullanılabilir. Biyodizel yakıtı, petrol kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretir, kükürt

içermez.

Dizel motorlarında hava-yakıt karışımı yanma odası içinde gerçekleştirilmekte, dolayısıyla karışım oluşturma yanma verimini ve motor performans parametrelerini etkileyen bir işlem olmaktadır. Biyodizelin içerdiği oksijen miktarı, motorinle karşılaştırıldığında %11 oranında daha fazla olduğu için biyodizel kullanımında karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda egzoz emisyonlarında azalma görülmektedir. (*Schumacher, 1997*)

Standartlara uygun biyodizelin diğer özellikleri aşağıdaki gibidir;

2.3.1. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu genellikle yağ çeşidine göre değişmesine rağmen 15 °C'de 880-920 kg/m³ gelmektedir. Bu belirleme DIN EN ISO 3675 veya DIN EN ISO 12185 standartlarına göre yapılmaktadır. Elde edilen biyodizelin yoğunluğu ise düşmekte ve motorin seviyesine inebilmektedir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar. Elde edilen biyodizel yoğunluğu fazla çıkması ortamdan gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Biyodizel, motorine oranla %10-15 daha az ısı değerine sahiptir, fakat %5-7 oranında daha fazla yoğundur. Düşük ısı değer sonucunda, motor gücü ve torkunda düşüş olmaktadır. Ancak yüksek yoğunluk nedeniyle güç kaybı azalmaktadır. (*Akyarlı, 2004*)

2.3.2. Parlama Noktası

Parlama noktası yakıtların risk sınıflamasında çok önemlidir. Taşıma ve depolama için parlama noktasının yüksek olması istenir. Dizel yakıtının parlama noktası 74 °C olmasına rağmen bitkisel yağların parlama noktası 300 °C'den yukarıda, biyodizelin parlama noktası ise 220 °C civarındadır. Parlama noktasının tespitinde DIN EN 22719 standardı uygulanmaktadır. (*Akyarlı, 2004*)

2.3.3. Kalori Değeri

Kalori değeri motorun optimum çalışması için önemlidir ve yakıt için kriterdir. Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 mj/kg'dan daha büyüktür. Kalori değeri DIN 51900-3 test metoduna göre belirlenmektedir. (*Akyarlı, 2004*)

2.3.4. Kinematik Viskozite

Kinematik viskozite biyodizelin karakteristik özelliğidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir

atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Yüksek viskozite pompalanabilmeyi ve enjektörlerin püskürtmesini azaltır. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40 °C'de 3,5-6 mm²/s arasında değişmektedir. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çifte bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Yüksek viskozite çıkması transesterifikasyon işleminin başarı ile tamamlanamadığının göstergesidir.

Test metodu olarak DIN EN ISO 3104 uygulanmaktadır. Yüksek viskozite sorununu çözmek için iki temel strateji vardır;

Motorun yakıtta uyarlanması: Bitkisel yağlı motorlar- stasyon motorlar

Yakıtın motora uyarlanması: Biyodizel (viskozite düşürülmesi)

2.3.5. Soğukta Akış Özelliği

Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında problem çıkarmaktadır. Doymuş hidrokarbonların CP, CFPP, PP değerleri yüksektir. Yüksek sıcaklıkta kristalize olurlar.

Hayvansal ve kızartma yağların doymuş hidrokarbon sayısı fazladır.

Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı motorun yakıt besleme elemanlarına hasar verir. Ayrıca motorda ilk hareket problemleri oluşur. (Akyarlı, 2004)

2.3.6. Setan Sayısı

Dizel yakıtlarının tutuşma özelliğini belirtir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayısı yüksektir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlar dizel vuruntusuna daha fazla eğilimlidir. Setan sayısı hidrokarbonların uzunluğu arttıkça artar, çift bağ sayısı arttıkça azalır. Orta veya uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir (palm ve don yağı). Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olup setan sayıları düşüktür. Oksidasyon sonucu oluşan peroksitler setan sayısını artırır. EN 14214 standardında minimum setan sayısı 51'dir. (Karahana, 2006)

2.3.7. Isıl Değer

Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Ağırlık sınırlaması olan araçlar için bu değer çok önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değer artar (palm yağı). Doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değer azalır.

Biyodizelin ısıl değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür (Kanola %13 kütleli,%8 hacimsel-biyodizelin yoğunluğu yüksek). Aynı motor şartları altında biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak yakıt sarfiyatı artar. (Karahana, 2006)

2.3.8. Yağlayıcılık

Motor elemanlarının (piston- segman bölgeleri, yakıt pompaları, enjektörler vb.) sürtünme ve aşınma problemlerinin giderilmesi için yağlamaya ihtiyacı vardır.

Günümüz fosil dizel yakıtlarındaki kükürt miktarı oldukça düşürülmüştür.

Kükürt miktarı düşürülmüş dizel yakıtları için yağlama özelliğini arttıran katkıları kullanılmaktadır. Ancak katkı miktarı arttığında yakıt besleme elemanlarında tortular oluşmaktadır.

Biyodizelin yağlayıcılık özelliği çok iyidir.

Bazı çalışmalarda %0,15-0,5 (hac/hac) biyodizel eklenmesi ile kükürtsüz fosil dizel yakıtı için aşınma izi standartta belirtilen 460 mikrometre değerinin altında kalmıştır. (Karahana, 2006)

2.3.9. Karbon Artığı

Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı belirlenmektedir. Karbon artığı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Denemeler, biyodizelin pratikte yok denecek kadar az karbon artığı bıraktığı ve maksimum değerin kütleli %0,4'ü kadar olduğunu göstermiştir. (Akyarlı, 2004)

2.3.10. İyot Sayısı

İyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır. (Akyarlı, 2004)

2.3.11. Kükürt İçeriği

Bitkisel yağların kullanılması durumunda dizel yakıtıyla karşılaştırıldığı zaman kükürt miktarlarında azalma olduğu görülür. (Altınsoy, 2006)

2.3.12. Su İçeriği

Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermesi motor için dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve Nox emisyonları azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde çürümelere sebep olabilir. (Altınsoy, 2006)

2.3.13. Oksidasyon Kararlılığı

Biyodizelin kimyasal yapısı itibari ile oksidasyon kararlılığı fosil dizel yakıtına göre çok daha düşüktür (ayçiçeği yağında linoleik ve linolenik asit fazla). Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksektir (palm yağı). Oksidasyon kararlılığı ham yağın tokoferol ve karoten (antioksidan) içeriğine de bağlıdır. Antioksidan katkıları kullanılır. (Altınsoy, 2006)

2.3.14. Yağlama Yağının Seyrelmesi

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında artaya çıkan olumsuzluklardan biri, yağlama yağının seyrelmesidir. Motor yağı ve biyodizelin motor içindeki direkt ilişkisi, yakıt enjeksiyon pompasında ve silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonu yanma işlemi sürecince olmaktadır. Araştırmalar yağlama yağı seyrelmesinin %4-5 oranında olduğunu göstermiştir. (Karabektaş, 2002)

Yağ seyrelmesi motor yaşının büyüklüğü ile veya motorun çalışma süresinin fazlalığı ile artış gösterir. Piston-silindir arasındaki aşınma ve yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama yağına karışır ve sonuçta yağı bozar. Motorin kullanımında yağlama yağına karışan yakıtın büyük kısmı kısa sürede buharlaşırken, biyodizel kullanımında, yakıtı oluşturan ester moleküllerinin kaynama noktaları birbirine yakın olduğu için buharlaşma olmaz ve motor yağı kısa sürede bozulur. (Altınsoy, 2006)

2.3.15. Toksik Etki

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir. /2/

2.3.16. Biyobozunabilirlik

Biyodizelin oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca hızla parçalanarak bozunur. 10000 mg/l't'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir. /2/

2.4. Biyodizel Özelliklerinin Dizel Yakıt ile Karşılaştırılması

Çizelge 2.1. Biyodizel ile dizel yakıtı özelliklerinin karşılaştırılması (*Altınsoy,2006*)

	FOSİL DİZEL (EN 590)	BİYODİZEL (EN 14214)
Yoğunluk (kg/m ³) 15 °C	820-845	860-900
Viskozite (mm ² /s) 40 °C	2,0-4,5	3,5-5,0
Parlama Noktası	>55	>=120
Yağlayıcılık	<=460	-
Su İçeriği	<=200	<=500
Setan Sayısı	>=51	>=51
Oksidasyon Stabilitesi	-	>=6
İyot Sayısı	-	<=120

2.4.1. Biyodizelin Üstünlükleri ve Sakıncaları

Yukarıda anlatılan özelliklerin yanında, biyodizelin elde edilmesinde, temel madde olarak zirai ürünler kullanıldığı için, birçok ülke tarafından yerli kaynaklarla üretilir. Anlatılanlar ışığında, aşağıda sıralanan sebepler nedeni ile biyodizel önem kazanmaktadır;

- Fosil yakıtların tükeniyor olması ve bu nedenle petrol fiyatlarının giderek yükselmesi,
- Fosil yakıtların kullanımından doğan büyük çevre zararları ve bunların telafisi için ülkelerin enerji kaynakları çeşitlendirme ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme strateji ve çabaları,
- Savaş ve zorunlu hallerde stratejik yakıt olma özelliği,
- Tarım ürünlerinin sanayiye entegrasyonunu sağlayarak ülkelerin tarımsal kalkınmasının çarpan etkisiyle hızlandırması,
- Motorlar üzerinde sağladığı avantajlar; setan sayısının petrol dizeline göre yüksek oluşu, yağlayıcılık özelliği nedeniyle motorlara yanma ve kullanım açısından sağladığı faydalar,
- Küçük (evsel) ve sanayi tipi üretiminin ekonomik uygulanabilirliği,
- Parlama noktası petrodizele göre daha yüksektir. Bu sebeple taşıma ve depolanması itibarıyla dünya standartlarında "Tehlikeli Madde" kapsamında yer almaması, güvenli

yakıt kabul edilmesi,

- Biyodizelin motorda kullanımında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç olmaması,
- Petrodizele yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerlerine sahip olması,
- Motor ömrünü uzatan, kurum oluşturmeyen bir yakıt olması,
- Biyolojik olarak kolay ve hızlı bozunabilir olması,
- Kanserojen madde ve kükürt oranının az olması,
- Ulaşım dışında ısıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygun olması,

biyodizelin üstünlükleridir.

Bu üstünlüklere rağmen biyodizelin sakıncalı yönleri de vardır. Bunlar;

- Isıl değeri petrodizele göre düşüktür. Bu durum motordaki yanma sonucunda bir miktar güç düşmesine yol açar.
- Soğuk hava şartlarından petrodizele göre daha çabuk etkilenir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırır. Bunu aşabilmek için B20 kullanım formu tercih edilmektedir.
- Azot oksit emisyonu petrodizele göre biraz daha yüksektir. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak aşılabılır. (*Öğüt, 2005*)
- Yağlama yağının seyrelmesine neden olmaktadır.

(*Altınsoy, 2006*)

2.4.2. Biyodizel Emisyonları

Biyodizel, emisyon sonuçları ve insan sağlığına olası etkileri eksiksiz olarak yayınlanmış ve Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı'na (U.S Environmental Protection Agency-EPA) gönderilmiş ilk ve tek alternatif yakıttır. EPA'nın yakıt ya da yakıt katkı maddelerine sertifika verdiği bu program çok sıkı emisyon programları içermektedir. Sonuçlar şu şekildedir.

Çizelge 2.2. Biyodizel emisyonları /4/

EMİSYON TİPİ	B100	B20
REGÜLE EDİLMİŞ		
Toplam Yanmamış Hidrokarbonlar	- % 67	- % 20
CO	- % 48	- % 12
Partikül Madde	- % 47	- % 12
NO	+ % 10	+ % 2
REGÜLE EDİLMEMİŞ		
Sülfat	- % 100	- % 20
PAH	- % 80	- % 13
NPAH	- % 90	- % 50

Bu tablodaki sonuçlara göre;

- Biyodizel kullanımı ile toplam hidrokarbon (yerel olarak sis ve ozon oluşumuna katkı yapan faktörlerden biri) miktarı, dizel kullanılması ile ortaya çıkan miktardan %50 daha düşüktür.
- Kükürt emisyonları, saf biyodizel kullanımıyla neredeyse tamamen yok edilmektedir. Kükürt oksitlerin ve sülfatların (asit yağmurlarının ana bileşeni) egzoz emisyonları, standart dizele kıyasla, biyodizel kullanımı ile önemli miktarda yok edilmektedirler.
- Testler göstermiştir ki, biyodizelin, dizel motorlarda kullanımı ile yanmamış hidrokarbon, karbonmonoksit ve partikül madde miktarında önemli düşüşler elde edilmiştir. Azotoksitlerin emisyonları aynı veya biraz artmıştır.
- Karbonmonoksitin (zehirli bir gaz) egzoz emisyonları, biyodizel kullanımı ile dizel kullanımına kıyasla %48 oranında azalmıştır.
- Partikül maddeleri solunak insan sağlığı için son derece zararlıdır. Biyodizel kullanımı ile dizel kullanımına kıyasla, partikül madde miktarında %47 oranında bir azalma görülmüştür.
- Biyodizel kullanımı ile toplam hidrokarbon (yerel olarak sis ve ozon oluşumuna katkı yapan faktörlerden biri) miktarı, dizel kullanılması ile ortaya çıkan miktardan %67 daha düşüktür.

- NOx emisyonları (yerel olarak sis ve ozon oluşumuna katkı yapan faktörlerden biri), biyodizel kullanımı ile motor tipine ve test prosedürüne bağlı olarak azalır veya artar. Fakat biyodizelin kükürt içermemesi standart dizel ile kullanılmayan NOx kontrol tekniklerinin biyodizel ile kullanılabilmesini sağlar. Bu sebeple biyodizelin Nox emisyonu efektif bir şekilde kontrol ve yok edebilir. (*Altınsoy, 2006*)

2.5. Biyodizelin Malzeme Uyumu

Biyodizel orta sınıf bir çözücüdür. Boyanmış yüzeyler ile temas ettiğinde bazı boyaları çözebilmektedir. Biyodizelin çözücü özelliğinden dolayı daha önceden dizel yakıtından kaynaklanan sediment ve tortuları çözerek yakıt filtresinin hatta enjektörlerin tıkanmasına sebep olabilir. Biyodizel yakıt deposuna konulmadan önce yakıt deposunun içi temizlenmelidir.

Biyodizelin oksidasyonu sonucu organik asitler veya polimerler oluşmaktadır.

Oluşan asitler aşağıdaki malzemelere etki eder;

Bakır, pirinç, bronz ve diğer bakır alaşımları, çinko, çinko alaşımları, çinko-fosfat yüzeyler, kurşun, bronz içinde kurşun (alaşım olarak).

Oluşan korozyonun etkileri şöyledir;

- Enjektör meme koklaşması
- Yüzeylerin zayıflaması
- Korozyon iyonlarından çözünemeyen sabunların oluşması (bu da tortu oluşumuna ve hareketli elemanların yapışmasına yol açar).

Bakır borular, pirinç regülatörler ve bakır rekorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır. Yakıt veya rekorlar renk değiştirmeye meyleder ve tortu meydana gelerek filtreye ulaşır. Zarar görmüş parça çelik veya olanı ile değiştirilmelidir. (*Tyson, 2001*)

Biyodizelin, dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılması durumunda çeşitli metal, kauçuk ve plastik parçalar üzerindeki korozif etkiside bazı araştırmacılarca incelenmiştir. ABD-Pertoria Üniversitesi'nde ayçiçeği ester ürünlerinin muhtelif maddeler üzerindeki korozif etkisinin araştırıldığı bir çalışmada çelik, pik demir, alüminyum, pirinç, bakır, galvanizli çelik ve paslanmaz çelik gibi metallerdeki korozyona bağlı kütle kaybının 1 mikrometre/yıl olduğu belirlenmiştir. Ayrıca püskürtme pompası ve kontrol bağlantıları üzerinde yapılan incelemelerde de korozyona ait hiçbir belirtiye rastlanmadığı belirtilmiştir.

Ayçiçeği yağı metil esteriyile gerçekleştirilen bir başka motor performansı çalışması sonunda metal parçalarda korozyona rastlanmadığı, ancak tüm plastik aksamın sertleşme eğilimi ve mukavemette düşme gösterdiği bildirilmektedir. Ester yakıtın tüm kauçuk parçalarda tahrip edici özellik gösterdiği, viton A kauçuğun konstrüksiyon açısından en uygun kauçuk olduğu belirtilmektedir. /13/ ester yakıtların uzun süreli temas sonucunda boyalar üzerinde çözücü etkisi yaptđđı bunun gözönünde tutularak gerekli aksama dayanıklı boya uygulamasının yararlı olacağı vurgulanmaktadır. (Karahana, 2006)

2.6. Biyodizel Standartları

Biyodizel saf ve motorin-biyodizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : %5 Biyodizel + %95 Motorin

B20 : % 20 Biyodizel + %80 Motorin

B50 : % 50 Biyodizel + %50 Motorin

B100 : %100 Biyodizel

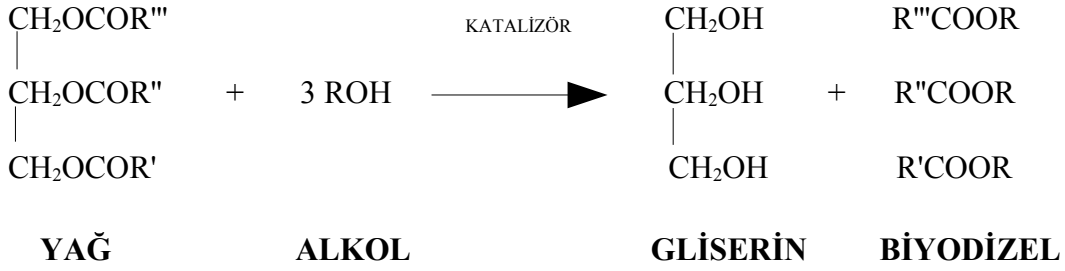
Biyodizel için EN 14214 ve EN 14213 Avrupa Birliği Standardları ile, ASTM D 6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Ülkemizde EN standartları temel alınarak hazırlanmış,

TS EN 14214 : OTOBİYODİZEL

TS EN 14213 : YAKITBİYODİZEL standartları yürürlüktedir. /1/

3. BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, mono hidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonundayan ürün olarak di ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak palm, kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Hayvansal yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir. Şekil 3.1.'de biyodizelin kimyasal üretim prosesi sunulmuştur. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel %99 değeri üzerinde saf üretilmelidir. /1/



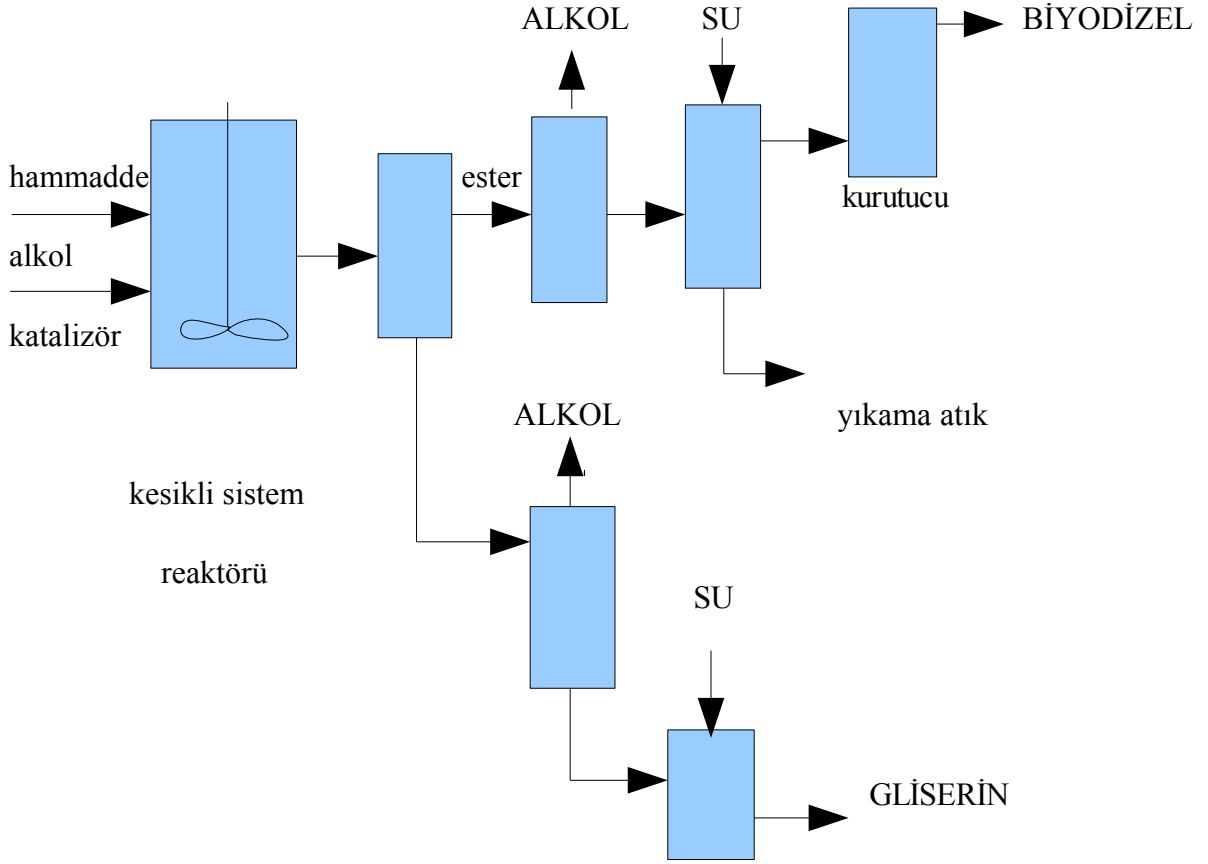
Şekil 3.1. Biyodizel Üretimi Kimyasal Reaksiyonu

3.2. Biyodizel Üretim Sistemleri

Biyodizel üretiminin çeşitli metotları olmakla birlikte günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon; yağ asitlerinin (bitkisel yağlar, evsel atık yağlar, hayvansal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile esterleşme reaksiyonudur. Üretim tekniği olarak kesikli, yarı kesikli ve sürekli üretim yöntemleri uygulanmaktadır. İlk yatırım maliyeti açısından kesikli sistem en ucuzu olmasına rağmen üretim maliyeti açısından en pahalısıdır. Çünkü üretim sırasında elde edilen gliserinin saflığı %50 mertebesinde olup, önemli bir ticari değeri bulunmamaktadır. Ayrıca EN 14214 standardına uygun biyodizel üretmek her zaman mümkün olmamaktadır.

3.2.1. Kesikli Sistem

Biyodizel üretiminin en basit ve ilk yatırım maliyeti en az olan metodu karıştırıcılı tank reaktörlerden oluşan kesikli sistemdir. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Kesikli Sistem Biyodizel Üretim Şeması

Bu sistemde alkol/trigliserid oranı 4:1 ile 20:1 (mol/mol) arasında kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan oran 6:1'dir. Proses sıcaklığı 25°C ile 85°C arasında olmakla birlikte genellikle 65°C olarak tanımlanmıştır. Bu sistemde en çok kullanılan katalizör sodyum hidroksittir. Muhakkak ki potasyum hidroksit de tercih edilebilir. Tipik katalizör oranları %0,3 ile %1,5 arasındadır. Reaksiyon başlangıcından önce alkol ve katalizörün karıştırılması ve homojen denge sağlandıktan sonra yağ ile reaksiyona girmesi ana prosedürdür. (*Garpen, Clements, Knothe, 2004*)

Bazı sistem dizaynlarında, oluşan ester içeriğini %94-%96 mertebelerine çıkarmak için çift reaksiyon tasarlanabilmektedir. Reaksiyon sıcaklıkları ve alkol/yağ oranı artırıldıkça reaksiyon verimliliği artmaktadır. Kesikli sistemlerde reaksiyon zamanları 20 dakika ile 60 dakika arasında seçilebilmektedir. Sistemde öncelikle yağ reaktöre alınır. Bu esnada susuz alkol ve katalizör karışımı hazırlanır. Karışım reaktöre alınır ve belirlenen reaksiyon süresince karıştırıcılı ve ısıtıcılı tankta belirlenen reaksiyon sıcaklığında ve süresinde reaksiyon gerçekleştirilir. Reaksiyon sonucunda karıştırma işlemi durdurulur. Ester ve gliserin ayrışma işlemi hemen reaksiyon sonunda başlamaktadır. Tam bir ayrışma için yeterli miktarda bekleldikten sonra, alt faz olan gliserin, sistemden ayrılarak başka bir toplama ünitesine

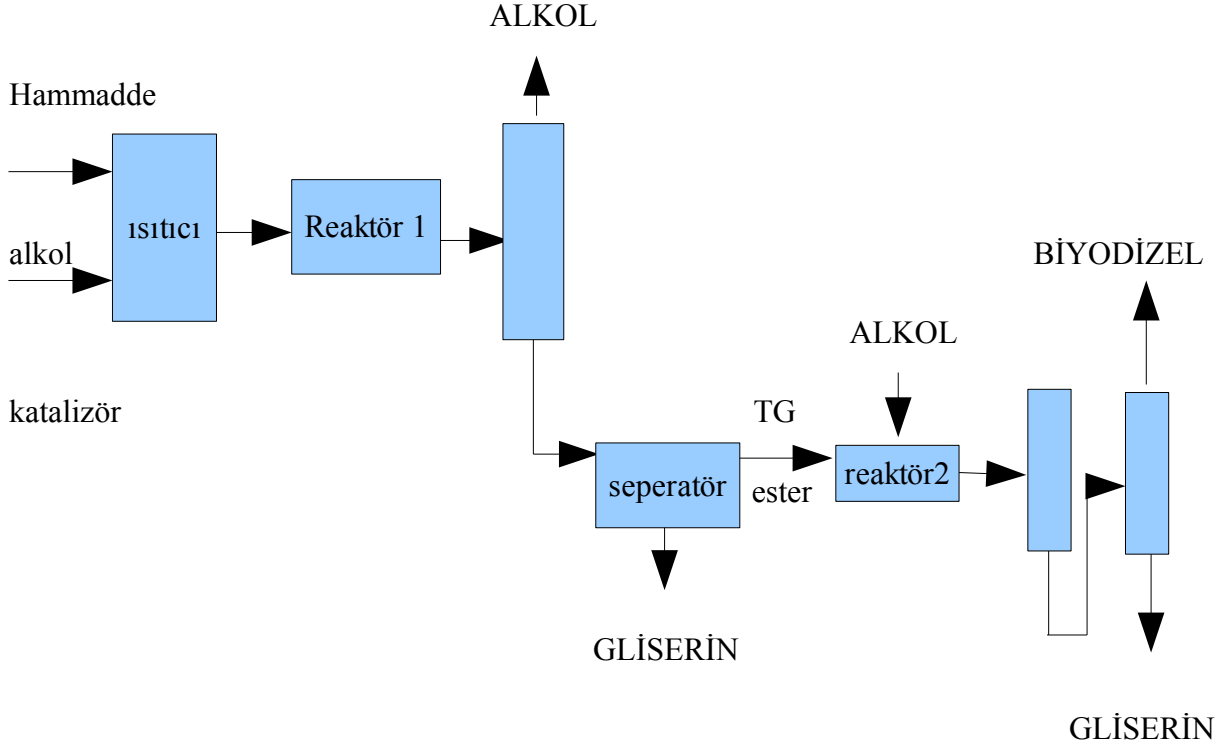
ayrılır. İsteğe bağlı olarak bu ünite de gliserin içerisindeki alkol geri kazanılarak tekrar işletme kullanımına verilir. Reaksiyona girmemiş alkol bazı işletmelerde hemen reaksiyon sonunda kazanılabilmektedir. Alkol, buharlaştırma ya da flaş ünitesiyle geri kazanılır. Reaksiyon sırasında alkolün susuz olması önemli olduğu için geri kazanılan alkoldeki su moleküler elekler vasıtasıyla alınmalıdır. Gliserin ayrıldıktan sonra, nötralizasyon işlemleri için ester pompalar vasıtasıyla yıkama ünitesine alınır. Yumuşak ılık su ile yıkama işlemi yapılır. Sistem içerisinde kalan atık alkol ve tuz, yıkama işlemi ile sistemden alınır. Kesikli sistemlerde bazı zamanlar asitli yıkama tercih edilmektedir. Bu işlem ortamda bulunan alkol ve tuzların daha etkin bir şekilde dışarı atılmasını sağlar. Aksi takdirde 2 hatta 3 yıkama işlemi mevcut tesislerde uygulanmaktadır. Yıkama sonrası ester kurutma tankına alınır ve burada ester içerisinde kalan su, buharlaştırma yoluyla sistemden atılır. Ülkemizdeki tesislerde kurutma işlemi 120 °C- 30 °C civarlarında gerçekleştirilmekte bu da biyodizel kalitesini düşürmektedir. Kurutma işlemi vakum altında yapılarak 80 °C- 90 °C'de süreç tamamlanmalıdır. Kurutma işlemi sonucunda elde edilen biyodizel stok tanklarına sevk edilir. *(Biyoyakıt Dünyası Dergisi, Kasım 2006)*

3.2.2. Yarı Kesikli Sistem

Yarı kesikli sistem kesikli sistemin modernleştirilmiş halidir. İlk yatırım maliyeti, kullanılan seperatörler nedeniyle kesikli sisteme nazaran daha yüksektir. Üretilen biyodizel kalitesi EN 14214 standardını karşılamakla birlikte üretilen gliserinin saflığı %60 - %70 mertebesindedir. Gliserin saflaştırma ünitesi ilavesi ile saflığı %85 mertebesine çıkarmak mümkündür. Yarı kesikli sistem günlük biyodizel kapasitesi en fazla 50-60 ton olan tesisler için uygun olmakla birlikte, özellikle günlük üretim kapasitesi 100 tonun üzerindeki tesisler için önerilmemektedir. Yarı kesikli biyodizel üretim prosesinde, reaktörde esterleştirilen yağ ve metoksik karışımı seperatöre gönderilir. Seperatörde yoğunluk farkından dolayı gliserin ve biyodizel fazları ayrılır. Seperatörden ayrılan biyodizel, içerisinde kalan alkolden arındırılmak üzere bir geri kazanım tankından geçirilir. Daha önce bahsedildiği gibi alkol geri kazanımı isteğe bağlı olarak gliserinden de kazanılabilir. Ya da yine reaksiyon işlemi gerçekleştirildikten sonra reaktörden alkol kazanımı yapılabilir. Böylelikle seperatöre giren gliserin ester fazlarında alkol bulunmaz. Alkolden arınmış olan biyodizel sırasıyla yıkama ve kurutma işlemlerine tabii tutulur. Kurutma işleminde de biyodizelin içerisindeki suyu uzaklaştırmak için ikinci bir seperatör de bazı sistemlerde tercih edilmektedir. Son ürün olarak çıkan biyodizel kullanıma hazırdır. *(Biyoyakıt Dünyası Dergisi, Kasım 2006)*

3.2.3. Sürekli Sistem

Biyodizel üretim teknikleri arasında en popüler sistemdir. Sürekli karıştırıcılı tank reaktörlerin seri bağlanmasıyla oluşan prosestir.



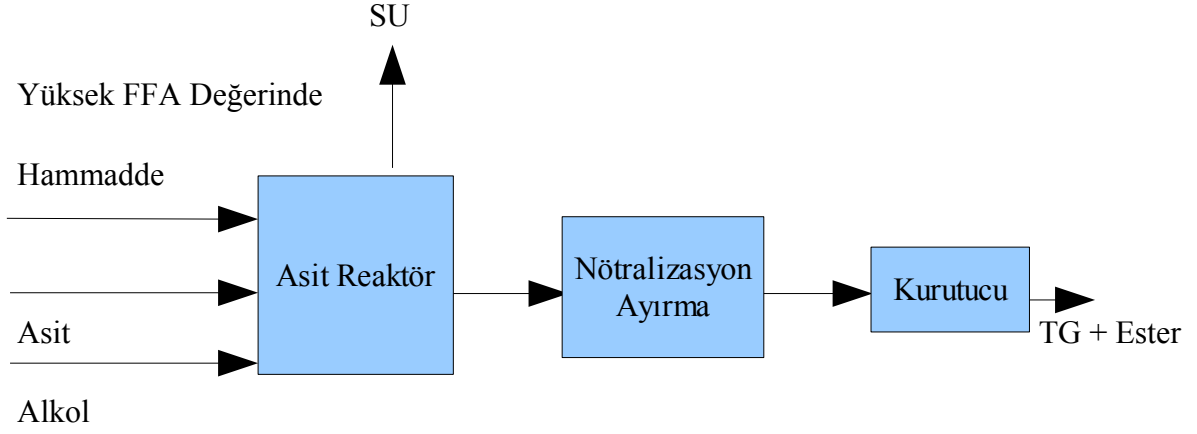
Şekil 3.3. Sürekli Sistem Biyodizel Üretim Şeması

İşlenecek olan hammadde önce ilk reaktöre gelir burada işlendikten sonra seperatörden geçer ve ikinci reaktöre girer. Burada reaksiyon daha hızlı gerçekleşir ve %98 dolaylarında esterleşme meydana gelir. Biyodizel üretim aşamalarında birkaç çeşit karıştırma yöntemi kullanılmaktadır. Hareketsiz mikserler, pompalar vasıtasıyla da karıştırma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu tip karıştırıcıların yerine, reaktörün tank şeklinde değil de, tüp şeklinde olması sürekli sistemin özelliğidir. (Harvey, Macley, Seliger, 2003) Reaksiyon karışımı, tüp şeklindeki kanallardan geçerken aynı zamanda karışım gerçekleşir. Böylelikle seri bağlanmış tank reaktör görevi görür. Sürekli sistemde reaksiyon zamanı normal karıştırıcılı sisteme göre oldukça kısadır. Reaksiyon oranının yüksek olması için bu tarz sistemlerde yüksek sıcaklık ve basınç uygulaması tercih edilmektedir. Reaksiyon sonrasında ürün yıkama ve kurutma işlemlerine tabi tutulmaktadır.

3.2.4. Yüksek Serbest Yağ Asit Sistemi

Normal katalizörlü sistemlerde, yüksek serbest yağ asidi değerine sahip hammaddeler, katalizör eşliğinde reaksiyona girdiğinde sabun oluşumu meydana gelir. Kabul edilebilir

serbest yağ asidi (FFA) değeri %2'den az olması gerekmektedir. Özellikle tercih edilen değer ise %1'in altındaki değerlerdir. Bazı durumlarda ön esterleştirme olarak adlandırılan asit esterifikasyonu uygulanmaktadır. (şekil 3.4)



Şekil 3.4. Yüksek Serbest Yağ Asit Biyodizel Üretim Yöntemi

Bazı düşüncelere göre yüksek serbest yağ asitli mamüllerde serbest yağ asitlerini yok etme ya da asit esterifikasyon ünitesinde ayırma işlemi ile arıtmada bu sistem tercih edilmektedir. Mamule kostik eklenir ve sonuç olarak oluşan sabun merkezkaç etkisi kullanılarak atılır. Buna kostik ayrışma da denmektedir.

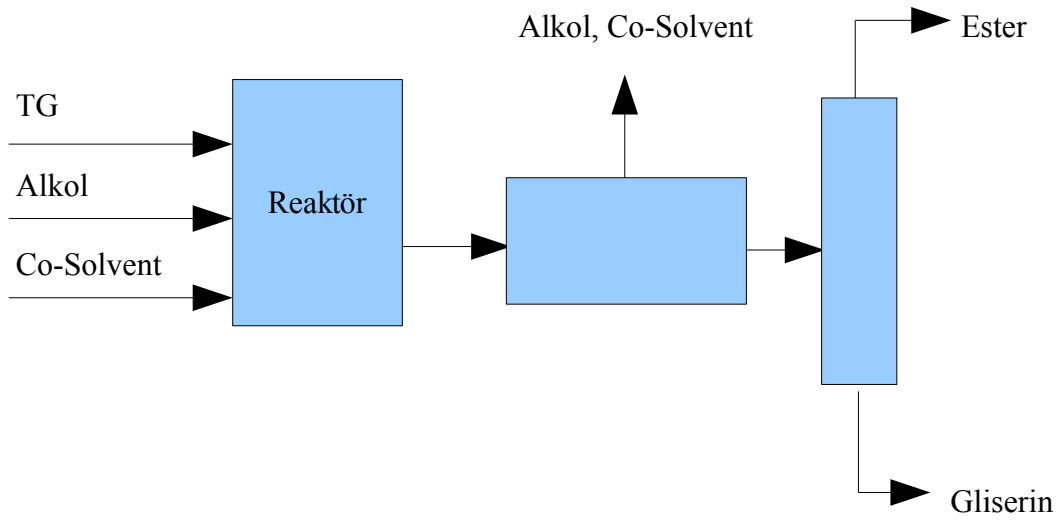
Bazı trigliseridler kostik ayrışma esnasında sabunla beraber kaybedilir. Sabun karışımı asitle etkileştirilerek yağ asitleri ve ayırma tankında kaybedilen yağlar geri kazanılır. Arıtılmış yağlar kurutulur ve transesterifikasyon için gerekli prosese gönderilir. Bu durumda atılan serbest yağ asitlerini boşa harcamaktansa, asit esterifikasyon prosesiyle metil esterine dönüştürülebilir.

Daha önce belirtildiği gibi asit kataliz prosesi FFA değeri yüksek olan yağların direk esterifikasyonunda kullanılır. Özellikle donyağı ve içyağı yüksek FFA değerlerine sahip hammaddelerdir. Muhakkak suretle daha ucuza temin edilebilmektedir. FFA değerleri %15 civarlarında ya da daha azdır. Bu tarz hammaddelerin direk asit esterifikasyonunda, reaksiyon esnasında su ortamdan atılmalıdır. Bunun yanında serbest yağ asidi oranı 20:1 ile 40:1 oranları arasında alkol kullanımı gerektirmektedir. Proses uygulamasına uygun olarak bu sistemin oldukça fazla asit katalizör tüketeceği de unutulmamalıdır. (Garpen, Clements, Knothe, 2004)

3.2.5. Katalizörsüz Sistem

3.2.5.1. Biox Sistem

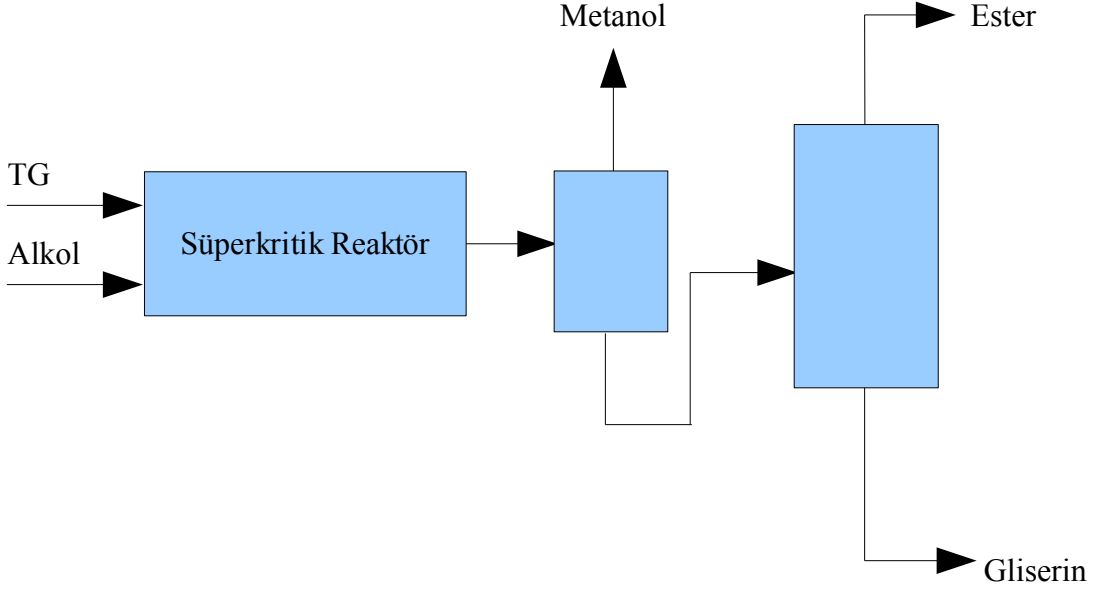
Biox sistemi, alkolün yağ fazı içinde çok yavaş çözünmesinden kaynaklanan yavaş reaksiyon zamanını düzenlemek için tasarlanmıştır(şekil 3.5). bu sistemde alkolü çözmeye co-solvent olarak tetrahydrofuran kullanılmaktadır. Reaksiyon zamanı 5-10 dakikadır. Ester ve gliserin fazlarında atık katalizör bulunmaz. Tetrahydrofuranın toksik özelliği nedeniyle bu sistemlerde kullanımı sırasında çok dikkatli olunması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 3.5. Biox Yöntemi ile Biyodizel Üretim Sistemi

3.2.5.2. Süper Kritik Sistem

Bir sıvı yahut gaz, kritik noktalarını aşan sıcaklık ve basınç altında kalırsa, orada alışılmamış özelliklere rastlanır. Sıvı ve gaz fazları yerine, sadece tek bir akış fazı bulunur. Hidroksil gurubu içeren su veya başlıca alkoller süper asit görevi görürler. Süperkritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi şematik olarak şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Süperkritik Yöntem ile Biyodizel Üretim Sistemi

Bu tür katalizörsüz yaklaşımda alkol yağ oranı 42:1 olarak tespit edilmiştir. Süperkritik şartlar altında (350 °C- 400 °C aralığında sıcaklık ve 80 atm'den daha yüksek basınçta) reaksiyon zamanı 4 dakikadır. Bu sistemin yatırım ve işletme maliyetleri son derece yüksektir. Bunun yanında enerji tüketimi oldukça fazladır. Bu sistemi şaşırtıcı bir modeli Japonya'da yapılmıştır. Sonuç olarak 3 ila 5 dakikada reaksiyon tamamlanmış, ester ve gliserin fazları hızlı bir şekilde oluşmuştur. (Warabi, Kusdiana, Saka, 2003)

4. DİZEL MOTORLARINDA GÜÇ VERİM VE KARAKTERİSTİK EĞRİLER

4.1. İş ve Güç

Tatbik edilen bir kuvvet etkisi ile cisimlerin yer değiştirmelerine iş denir. İş kaldırma, itme çekme şeklinde olur.

$$\text{İş} = \text{kuvvet.yol (Nm)}$$

Güç söz konusu olduğunda zaman dikkate alınır; diğer bir ifade ile birim zamanda yapılan işe güç denir.

$$\text{Güç} = \text{iş / zaman}$$

Motorun iş yapma hızı beygir gücü ile ölçülür.

Beygir gücü (BG) : Bir saniyede yapılan 75 Nm'lik işe denir.

$$1 \text{ BG} = 0,736 \text{ kW}$$

4.2. Faydalı Güç

Motorun krank mili ucundaki kasnak veya volandan bir fren düzeneği ile ölçülen güce fren gücü denir. Bu güç, iş gücünden %25 kadar daha küçüktür. İkisi arasındaki bu fark sürtünmelere ve su pompası, yağ pompası, yakıt pompası, şarj dinamosu vb. Motorun çalışması için gerekli olan parçalara harcanan enerjiden ileri gelmektedir. Güç ölçümünde kullanılan cihazlara genellikle dinamometre denir. Ancak dinamometre direkt olarak gücü değil gücün hesaplanmasına yarayan kuvveti veya momenti ölçer.

Faydalı gücün hesaplanmasında kullanılan dinamometreler; prony freni, hidrolik dinamometre, elektrikli dinamometredir.

4.2.1. Elektrikli Dinamometre ile Faydalı Gücün Ölçülmesi

Birçok laboratuarda motor gücünün ölçülmesinde elektrikli dinamometreler kullanılır. Bu cihazın güç ölçümü sırasında motor tarafından döndürülen bir dinamosu veya jeneratör vardır. Dinamonun ürettiği akım miktarı dinamoyu döndüren motorun gücünün ölçülmesini sağlar.

4.3. Motor Momenti

$$M_d = F \cdot l$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada;

M_d : motor momenti

F : kuvvet

l : kuvvet kolu

ve kullanılan deney düzeneğinde $l=0,35$ m'dir.

4.4. Dizel Motorlarında Karakteristik Eğriler

Taşıt motorları geniş bir devir sayısı aralığında çalıştırılabilirler. En az devir sayısı, motorun kararlı çalışması için gerekli şartlar (dizel motorlarında tutuşma sıcaklığına ulaşmak için gerekli hız ve yüksek kompresyon), maksimum devir sayısı ise, emme ve egzoz işlemlerinin verimi, dizelde tutuşma gecikmesi, parçaların ısıl gerilimleri, artan atalet yükleri, mekanik verimdeki düşme vb. tarafından sınırlandırılmaktadır.

Bir motorun en avantajlı çalışma durumları; maksimum güç (P_{max}), maksimum tork (M_{max}), veya en az özgül yakıt tüketimini (b_{emin})'i sağladığı durumlardır. Bu çalışma durumları motorun kullanım amacı ve yaptığı işin özellikleri tarafından belirlenir.

Bir taşıt motorunun fonksiyonu motor efektif gücünün hareket direncine (tüketilen ve genellikle yolun özelliklerine ve hıza bağlı olarak değişmekte olan güç) eşitlik şartları tarafından belirlenir. Tüketilen güç yalnız taşıt hızına değil aynı zamanda yolun durumu, yük, ivme gibi faktörlere de gelen yük sürekli değişmektedir. Hareket direncinin kısa süreli artışları, hızla giden taşıtın kinetik enerjisinin bir kısmı tarafından, uzun süreli yüksek dirençler ise, motor torkunun bir kısmı tarafından karşılanır. Motor torku, gaz pedalının motora daha fazla yakıt gönderecek yönde hareket ettirilmesiyle artırılır. Bu nedenle motorun çalışma analizi sadece birkaç çalışma durumunun değil değişik çalışma durumlarının araştırmasına yönelik olmalıdır.

Motorun değişik çalışma durumlarındaki güç ve ekonomisi "motor karakteristikleri" veya diğer bir deyimle "performans eğrileri" ile değerlendirilir.

Dizel motorlarında motor performansını yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını belirlemekte kullanılan motor devrine ve yüke bağlı olarak çizilen pratik anlam taşıyan karakteristik eğriler birlik çeşitli verim değerlerinin (volumetrik, mekanik, efektif, termik, yanma vb.) de bilinmesi motordaki yanma ve enerji dengesi hakkında bilgi verir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Ana Bilim Dalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılan deneysel çalışma hakkında bilgi verilecektir.

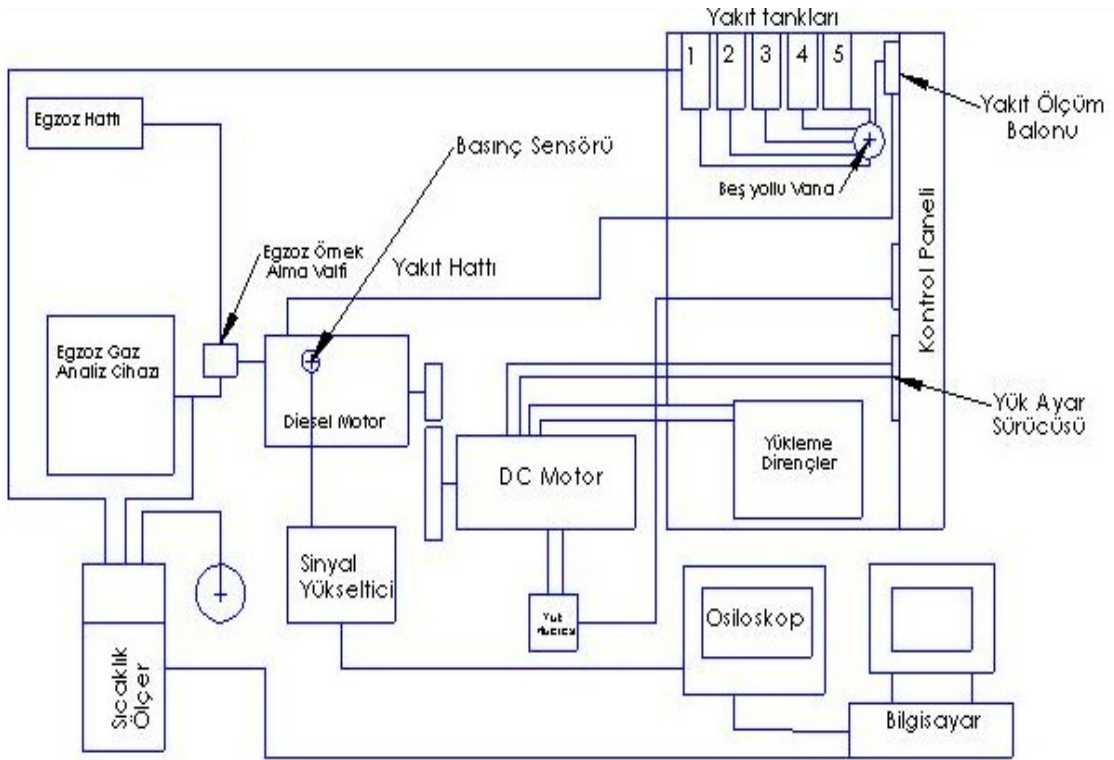
5.1. Deneyin Amacı

Bu çalışmada %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel ile yapılan deneylerden, dizel motorun motorine göre performansı, egzoz emisyonları ve silindir içi basınç değişimleri elde edilmiştir.

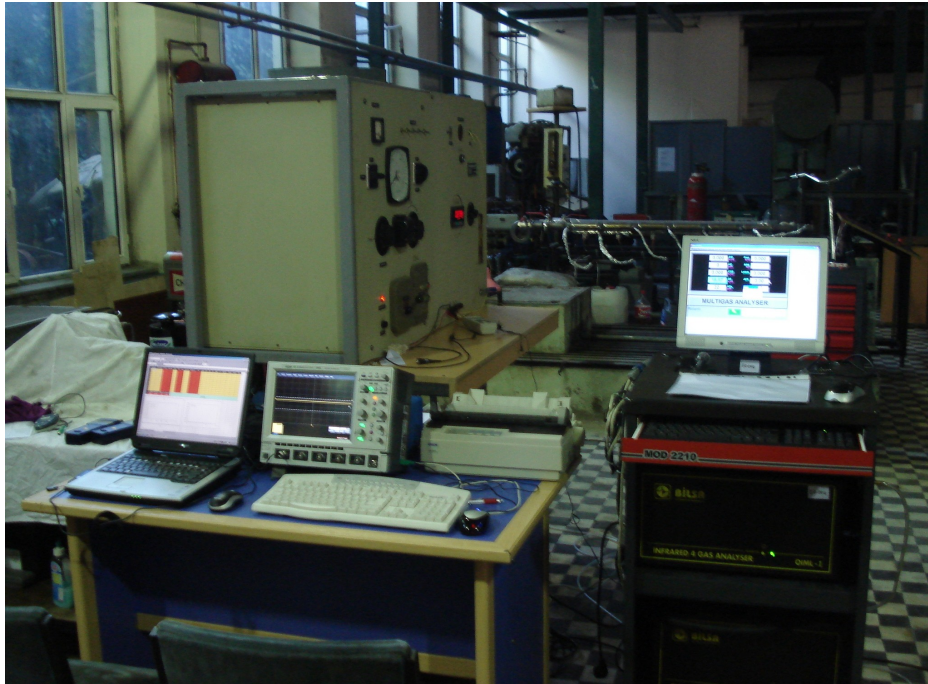
5.2. Deney Düzenegi

Deneyde kullanılan düzenek iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; stasyonier dizel motoru ve bu motorun tahrik ettiği bir DC motordur. Bunların yanında yükleme dirençler, sinyal yükseltici, basınç sensörü, osiloskop, sıcaklık ölçer, yakıt tankları, egzoz gaz analiz cihazı ve kontrol paneli mevcuttur.

Deneyde kullanılan deney ünitesinin şematik yapısı Şekil 5.1'de, genel görünümü ise Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Deney Düzeneği Şematik Yapısı



Şekil 5.2. Deney düzeneği genel görünümü

5.2.1. Deney Motoru

Bu çalışmada Lombardini marka, hava soğutmalı, tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır. Motorun genel görünümü Şekil 5.3'da, teknik özellikleri ise Çizelge 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.3. Deney Motoru Genel Görünümü.

Çizelge 5.1. Deney Motoru Teknik Özellikleri

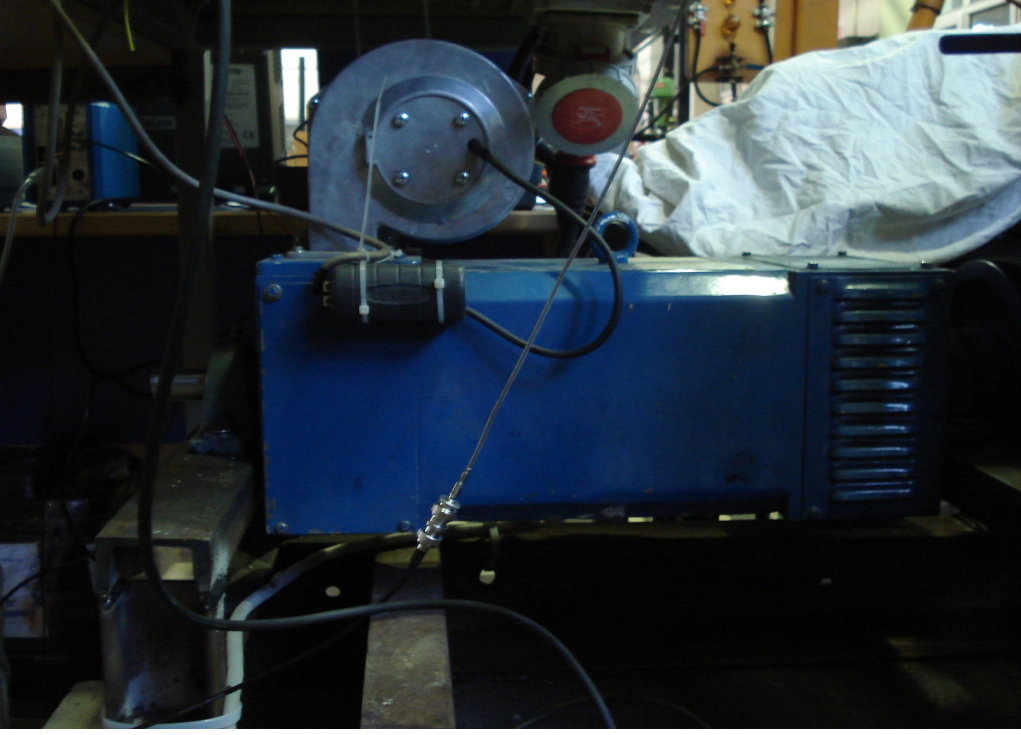
Markası	ANTOR-LOMBARDINI
Modeli	LDA 450
Silindir sayısı (adet)	1
Silindir çapı (mm)	85
Stroku (mm)	80
Strok hacmi (cm³)	454
Kompresyon oranı	17,5:1
Devir (d/d)	3000
Güç (N DIN70020) (kW)	7,5
Maksimum tork (Nm)	28,5
Yakıt tüketimi (lt/h)	1,7
Yağ tüketimi (kg/h)	0,007
Boş ağırlık (kg)	57
Yanma havası ihtiyacı (3000 d/d) (lt/1')	560
Soğutma havası ihtiyacı (3000 d/d) (lt/1')	9000
Krank mili maksimum eksenel yük (kg)	250

5.2.2. DC Motor ve Load Cell

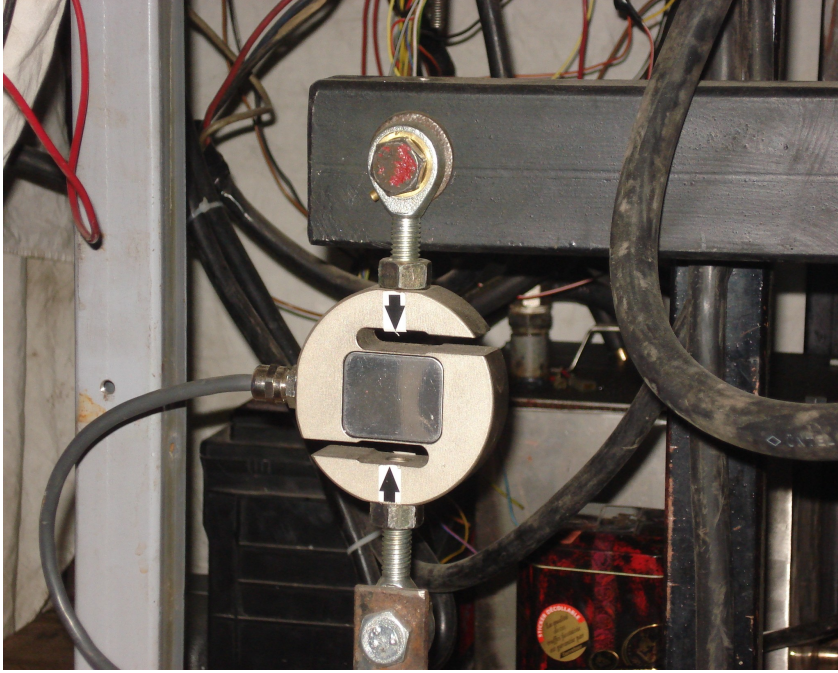
DC motor bu sistemde dinamometre olarak görev almaktadır. Bu sistemle motorun belli devir ve yük şartlarında yüklenmesi sağlanarak rotora karşı bir direnç oluşturulup motorun gücü ölçülmektedir. Deneyde dinamo gövdesi ve ona bağlı olan stator sarkaç sehpa olduğu gibi iki yatak üzerinde sallandırılır. Dinamonun üzerinde bir kol mevcut olup, ucunda yükü tespit etmemizi sağlayan 300 kg kapasiteli load cell bulunmaktadır. Statorun doğurduğu manyetik alanda dönen rotor statoru ve gövdeyi yatırır. Gövdenin dönmesine karşı koymak ve kolu yatay durumda için gerekli ağırlık load cell vasıtasıyla kontrol panelindeki yük göstergesinden okunur. Dirençler yüklenerek rotor ile stator arasında oluşan manyetik alanın değişmesiyle motordan alınan yük, dolayısıyla moment ve tork ile olan bağlantısı kurulur.

DC motor, dizel motoruna kayış – kaskak sistemiyle bağlanmış olup, yük miktarı kontrol panelindeki kumanda kolu vasıtasıyla ayarlanmaktadır.

Şekil 10'da DC motor ve şekil 11'de de load cell görülmektedir.



Şekil 5.4. DC Motor Genel Görünümü



Şekil 5.5. Load Cell Genel Görünümü

5.2.3. Transdüser, Sinyal Yükseltici, Bilgisayar ve Osiloskop

Transdüser basıncı elektrik sinyallerine dönüştürür. Bunlar sinyal yükseltici ile bilgisayarın ölçebileceği seviyeye gelir. Bilgisayarın ses girişine gelen bu sinyaller aynı zamanda osiloskop vasıtası ile elektriksel elektriksel dalga şeklinde gözlemlenir. Transdüser silindir kafasına delik açılmak sureti ile yerleştirilmiştir.

Osiloskobun genel görünümü Şekil 5.6'de görülmektedir.

Transdüserin özellikleri:

M5 * 0,5 Kistler , Type 6052B , SN 1480865

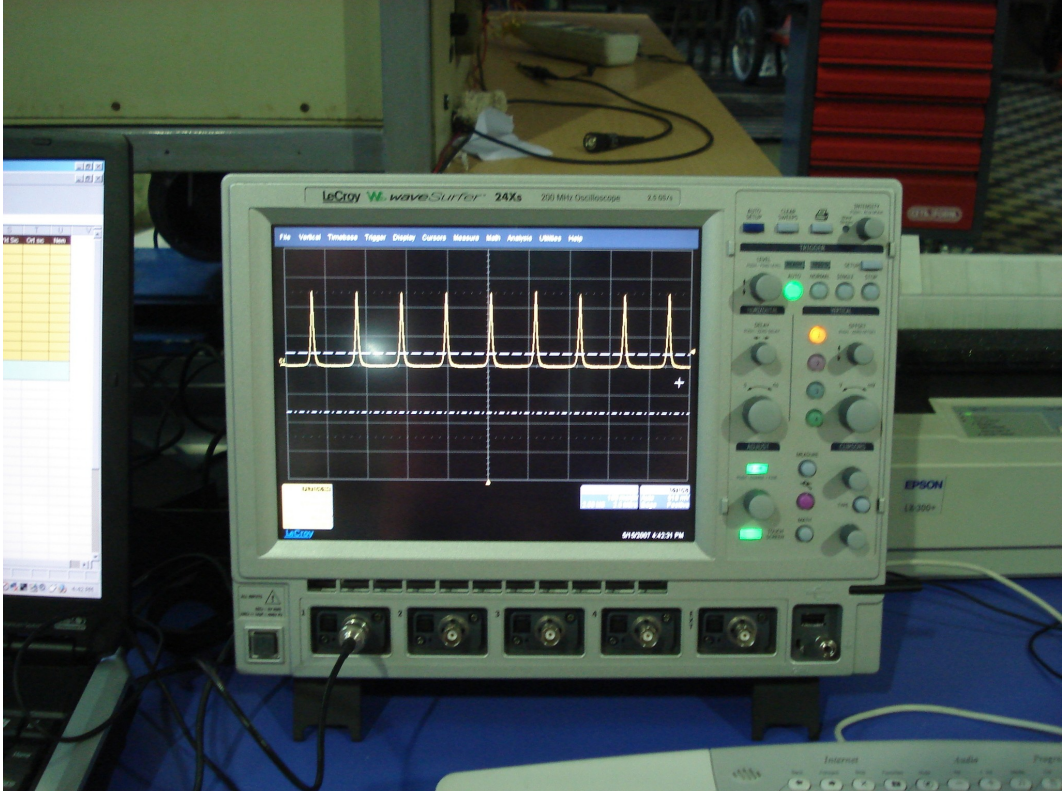
Ölçüm Aralığı : 1) 0-150 bar

2) 0-100 bar

Hassasiyet : 1) – 19,92 pC/bar

200°C'de kalibre edilmiştir.

2) -19,95 pC/bar



Şekil 5.6. Osiloskobun Genel Görünümü

5.2.4. Yakıt Tankları

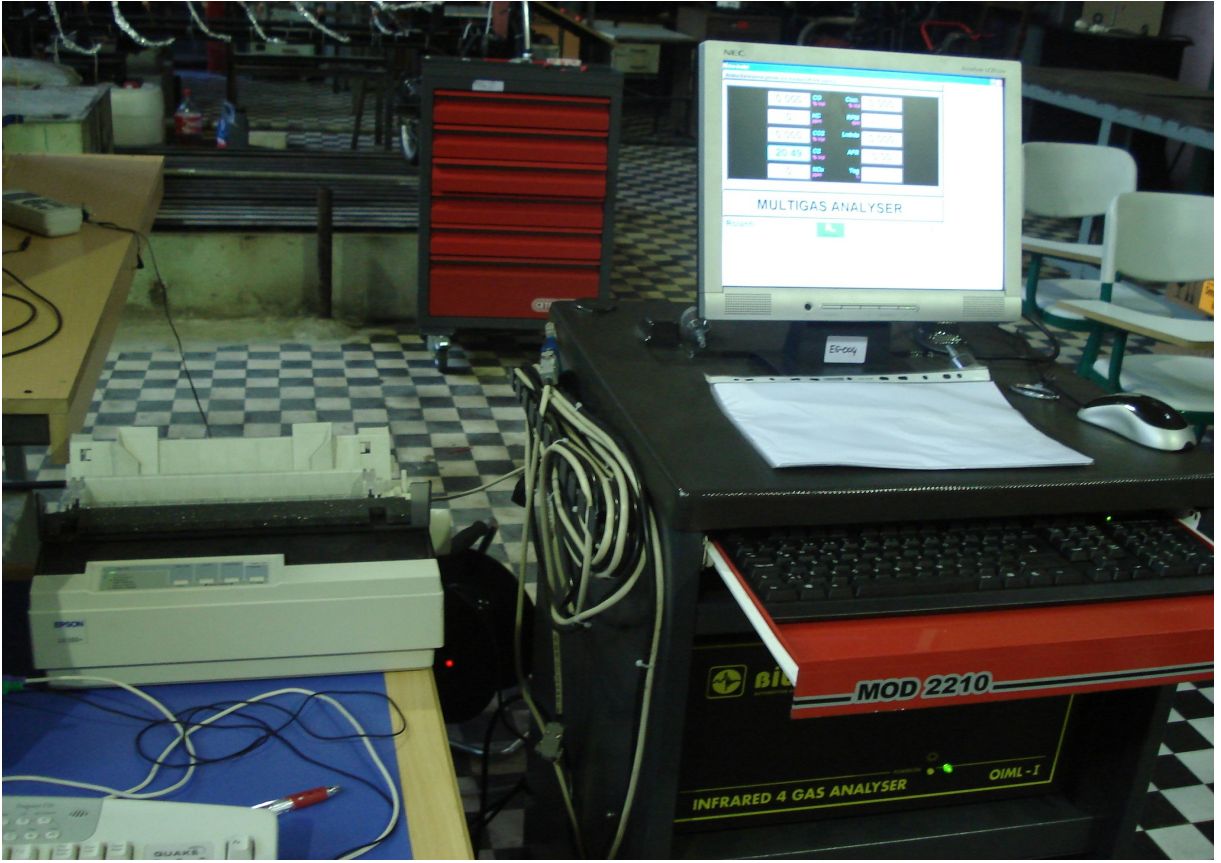
Deney düzeneğinde 5 adet yakıt tankı bulunmaktadır. Bunlar 5 yollu vana ile motora bağlanmıştır. Deney esnasında 2 adet yakıt tankı kullanılmıştır. Kontrol panelinde bulunan yakıt ölçüm balonu ile ne kadar zamanda ne kadar yakıtın tüketildiği tayin edilmiştir. Yakıt tankları ve 5 yollu vananın genel görünümü şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7. Yakıt Tankları ve 5 Yollu Vananın Genel Görünümü

5.2.5. Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Bu çalışmada Bilsa marka egzost emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz hattına egzoz gaz analiz cihazının probları sokulmak suretiyle egzoz gazlarının içerisindeki CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda miktarlarının tespiti yapılmıştır. Şekil 5.8'de egzoz gaz analiz cihazı genel görünümü görülmektedir.



Şekil 5.8. Egzoz Gaz Analiz Cihazı Genel Görünümü

5.2.6. Kontrol Paneli

Kontrol paneli elemanları;

1. Karşı yük ayar kolu
2. Yük göstergesi
3. Egzoz emisyon selenoid valfi kumanda düğmesi
4. Yakıt miktarı tayininde kullanılan balon
5. Soğutucu fan

Şekil 5.9'de kontrol paneli genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 5.9. Kontrol Paneli Genel Görünümü

5.3. Deneyde Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan yakıtlardan biri, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel karışımıdır. Bu yakıt piyasadan bu karışım oranlarında alınmıştır ve laboratuvarımızda herhangi bir ekstra karıştırma işlemi yapılmamıştır. Diğer yakıtımızı ise laboratuvarımızda, yine piyasadan temin ettiğimiz soya ve kanola ile, sırasıyla %30 , %70 oranlarında karıştırarak elde ettik. Çizelge 5.2'de %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel karışımının özellikleri yer almaktadır. Çizelge 5.3'de ise diğer yakıt karışımında kullandığımız kanolanın, çizelge 5.4'da da soyanın özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 5.2. %20 Soya+%20 Ayçiçek+%60 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Analiz Raporu

Parametre	Standart	Sonuç	TS EN 14214 Özellikleri		Birim
			min.	max.	
Ester içeriği	EN 14214	98,7	96,5	-	% (m/m)
15 °C'de yoğunluk	TS EN ISO 12185	884	860	900	kg/m ³
40 °C'de viskozite	TS EN ISO 3104	4,43	3,5	5	mm ² /s
Parlama noktası	TS EN ISO 3679	181	120	-	°C
CFPP	TS EN 116	-8	-	-	°C
Sülfür içeriği	TS EN ISO 20884	3,77	-	10	mg/kg
Karbon tortusu (%10)	TS EN ISO 10370	0,19	-	0,3	% (m/m)
Setan sayısı	ISO 5165	-	51	-	
Sülfat külü	ISO 3987	0,02	-	0,02	% (m/m)
Su içeriği	TS EN ISO 12937	368	-	500	mg/kg
Toplam kirlilik	TS EN 12662	-	-	24	mg/kg
Bakır şerit korozyonu	TS EN 14112	1A	1	1	Corr.Degree
110 °C'de oksidasyon stabilitesi	TS EN 14104	6,4	6	-	h
Asit değeri	TS EN 14111	0,43	-	0,5	mg KOH/g
İyot değeri	TS EN 14103	113,4	-	120	g Iodine/100g
Linolenik asit metilesteri	TS EN 14110	7,51	-	12	% (m/m)
Methanol içeriği	TS EN 14105	0,0126	-	0,2	% (m/m)
Serbest gliserol	TS EN 14105	0,0	-	0,02	% (m/m)
Monogliserit içeriği	TS EN 14105	0,65	-	0,8	% (m/m)
Digliserit içeriği	TS EN 14105	0,20	-	0,2	% (m/m)
Trigliserit içeriği	TS EN 14105	0,05	-	0,2	% (m/m)
Toplam gliserol	TS EN 14105	0,19	-	0,25	% (m/m)
Fosfor içeriği	TS EN 14107	-	-	10	mg/kg
Metaller I (Na+K)	TS prEN 14538	1,98	-	5	mg/kg
Metaller II (Ca+Mg)	TS prEN 14538	3,48	-	5	mg/kg

Çizelge 5.3. Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Analiz Raporu

Parametre	Standart	Sonuç	DIN EN 14214 Özellikleri		Birim
			min.	max.	
Ester içeriği	DIN EN 14103	96,9	96,5	-	% (m/m)
15 °C'de yoğunluk	DIN EN ISO 12185	883,4	860	900	kg/m ³
40 °C'de viskozite	DIN EN ISO 3104	4,512	3,5	5	mm ² /s
Parlama noktası	DIN EN ISO 3679	123	120	-	°C
CFPP	DIN EN 116	-18	-	-	°C
Sülfür içeriği	DIN EN ISO 20884	1,3	-	10	mg/kg
Karbon tortusu (%10)	DIN EN ISO 10370	0,15	-	0,3	% (m/m)
Setan sayısı	ISO 5165	54,1	51	-	
Süfat külü	ISO 3987	0,003	-	0,02	% (m/m)
Su içeriği	DIN EN ISO 12937	357	-	500	mg/kg
Toplam kirlilik	DIN EN 12662	17	-	24	mg/kg
Bakır şerit korozyonu	DIN EN ISO 2160	1	1	1	Corr.Degree
110 °C'de oksidasyon stabilitesi	DIN EN 14112	7,1	6	-	h
Asit değeri	DIN EN 14104	0,36	-	0,5	mg KOH/g
İyot değeri	DIN EN 14111	115	-	120	g Iodine/100g
Linolenik asit metilesteri	DIN EN 14103	8,2	-	12	% (m/m)
Methanol içeriği	DIN EN 14110	0,11	-	0,2	% (m/m)
Serbest gliserol	DIN EN 14111	0,01	-	0,02	% (m/m)
Monogliserit içeriği	DIN EN 14105	0,5	-	0,8	% (m/m)
Digliserit içeriği	DIN EN 14105	0,12	-	0,2	% (m/m)
Trigliserit içeriği	DIN EN 14105	0,04	-	0,2	% (m/m)
Toplam gliserol	DIN EN 14105	0,16	-	0,25	% (m/m)
Fosfor içeriği	DIN EN 14107	< 0,5	-	10	mg/kg
Metaller I (Na+K)	E DIN EN 14538	3,7	-	5	mg/kg
Metaller II (Ca+Mg)	E DIN EN 14538	< 0,5	-	5	mg/kg

Çizelge 5.4. Soyadan Elde Edilmiş Biyodizelin Analiz Raporu

Parametre	Standart	Sonuç	DIN EN 14213 Özellikleri		Birim
			min.	max.	
Ester içeriği	DIN EN 14103	98,4	96,5	-	% (m/m)
15 °C'de yoğunluk	DIN EN ISO 12185	882,1	860	900	kg/m ³
40 °C'de viskozite	DIN EN ISO 3104	4,38	3,5	5	mm ² /s
Parlama noktası	DIN EN ISO 3679	125	120	-	°C
CFPP	DIN EN 116	-15	-	-	°C
Sülfür içeriği	DIN EN ISO 20884	6,8	-	10	mg/kg
Karbon tortusu (%10)	DIN EN ISO 10370	0,26	-	0,3	% (m/m)
Sülfat külü	ISO 3987	0,014	-	0,02	% (m/m)
Su içeriği	DIN EN ISO 12937	433	-	500	mg/kg
Toplam kirlilik	DIN EN 12662	12	-	24	mg/kg
110 °C'de oksidasyon stabilitesi	DIN EN 14112	5,6	6	-	h
Asit değeri	DIN EN 14104	0,385	-	0,5	mg KOH/g
İyot değeri	DIN EN 14111	121	-	120	g Iodine/100g
Serbest gliserol	DIN EN 14111	<0,01	-	0,02	% (m/m)
Monogliserit içeriği	DIN EN 14105	0,72	-	0,8	% (m/m)
Diğliserit içeriği	DIN EN 14105	0,17	-	0,2	% (m/m)
Trigliserit içeriği	DIN EN 14105	0,14	-	0,2	% (m/m)

5.5. Deney Grafikleri Çiziminde Kullanılan Formüller

$$\text{Güç (P)} = [M_d \cdot n] / 9555,2 \quad (\text{kW})$$

M_d : Tork (Döndürme momenti)

n : Motor devri

9555,2 : katsayı

$$\text{Tork} = [[F \cdot L] / 2] \cdot \eta_k \quad (\text{Nm})$$

$$F : \text{Kuvvet} = mg = \text{Yük} \cdot 9,81$$

L : Kuvvet kolu

η_k : Kasnak verimi

$$\text{Özgül Yakıt Sarfıyatı (b_e)} = [V \cdot \rho \cdot 3600] / [T \cdot P] \quad (\text{g/kWh})$$

V : Hacim

ρ : Özgül Ağırlık

T : Sıcaklık

P : Güç

$H_u = 10000 \text{ kcal/kg}$, $L = 35 \text{ cm}$

5.6. Deneyin Yapılışı

Çalışmamızı, motorlar laboratuvarımızdaki Lombardini LDA 450, tek silindirli, direk püskürtmeli, hava soğutmalı dizel motorunda yaptık.

Dizel yakıtı kullanılarak 10 dakikalık ısıtma periyodunu takiben, tam gaz konumunda motor yüklenerek, 15 farklı noktada motorun ürettiği tork ve tükettiği yakıt miktarı ölçülmüştür. Ölçülen 15 noktadan uygun olan 10 adedi seçilip gerekli formüllerde kullanılarak motorun performans karakteristikleri elde edilmiştir. Kısaca deneyler sırasında ölçülen dizel motor hızı, DC motor hızı, tork ve ilgili devirdeki yakıt tüketim süresi değerleri ile motorun gücü ve özgül yakıt sarfiyatı hesaplanmıştır. Ayrıca, deney sırasında her devir için egzoz sıcaklığı , silindir içi basınç ölçümü ve emisyon değerleri ölçümü de yapılmıştır.

Yukarıda anlatılan adımlar her iki deney yakıtımız için tekrarlanmıştır. Belirlenen 10 nokta için tork(döndürme momenti), güç, özgül yakıt sarfiyatı, max tork ve max güç için silindir içi basınç değişimi ve egzoz emisyon grafikleri çizilmiştir.

5.7. Deney Verileri

5.7.1. Dizel Yakıtı Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

Çizelge 5.5. Dizel Yakıtı Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak kay.	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Tork Gerçek Nm	Güç kW	Güç Gerçek kW	Yakıt Tüketim Süresi sn
1	3230	1553	1615	3,84	0,96	3,8	6,52	6,78	2,21	2,29	147
2	2986	1402	1493	6,1	0,94	13,2	22,66	24,13	7,08	7,54	68
3	2737	1293	1368,5	5,52	0,94	13,7	23,52	24,89	6,74	7,13	74
4	2590	1220	1295	5,79	0,94	14	24,03	25,51	6,51	6,92	78
5	2288	1058	1144	7,52	0,92	14,35	24,64	26,64	5,90	6,38	87
6	2125	1009	1062,5	5,04	0,95	14,4	24,72	26,03	5,50	5,79	91
7	1920	896	960	6,67	0,93	14,5	24,89	26,67	5,00	5,36	97
8	1759	831	879,5	5,51	0,94	14,25	24,46	25,89	4,50	4,77	105
9	1532	722,3	766	5,7	0,94	14,1	24,21	25,67	3,88	4,12	107
10	1216	560	608	7,89	0,92	13,2	22,66	24,6	2,88	3,13	130

	b_e g/kWh	η_k	CO ₂	CO	HC	O ₂	NO _x	λ	Egzoz sıcaklığı °C	Yakıt Sıc. °C	Ortam Sıc. °C	Nem %
1	444,24	38,2	4,5	0,12	32	14	288	3,12	212	23,2	23	70
2	292,04	25,12	11,7	0,95	22	3,8	1059	1,18	491	23,2	23	70
3	283,82	24,41	11,4	1,06	23	4,2	1124	1,2	497	23,2	23	70
4	277,64	23,88	11,1	0,84	18	4,4	1180	1,23	500	23,2	23	70
5	269,87	23,21	11	1,16	24	4,2	1138	1,2	492	23,2	23	70
6	284,26	24,45	11,1	1,34	22	3,7	1114	1,16	487	23,2	23	70
7	288,08	24,78	11	1,64	27	3,4	1078	1,13	481	23,2	23	70
8	299,24	25,73	10,7	2,08	32	3,2	1041	1,1	470	23,2	23	70
9	340,05	29,24	10,3	3,58	64	2,2	848	0,99	450	23,2	23	70
10	367,92	31,64	10,1	4,1	81	1,9	770	0,96	420	23,2	23	70

5.7.2. %20 Soya + %20 Ayçiçek + %60 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

Çizelge 5.6. %20 Soya + %20 Ayçiçek + %60 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak kay.	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Tork Gerçek Nm	Güç kW	Güç Gerçek kW	Yakıt Tüketim Süresi sn
1	3044	1468	1522	3,55	0,96	5,45	9,36	9,70	2,98	3,09	131
2	2990	1439	1495	3,75	0,96	8,2	14,08	14,63	4,41	4,58	103
3	2797	1332	1398,5	4,76	0,95	13,4	23,00	24,15	6,73	7,07	70
4	2687	1280	1343,5	4,73	0,95	13,45	23,09	24,24	6,49	6,82	74
5	2581	1241	1290,5	3,84	0,96	13,75	23,61	24,55	6,38	6,63	76
6	2448	1169	1224	4,49	0,96	13,6	23,35	24,45	5,98	6,26	82
7	2313	1135	1156,5	1,86	0,98	14	24,03	24,49	5,82	5,93	84
8	2194	1048	1097	4,47	0,96	14,2	24,38	25,52	5,60	5,86	88
9	1820	872	910	4,18	0,96	14,4	24,72	25,80	4,71	4,91	98
10	1473	729	736,5	1,02	0,99	14,3	24,55	24,80	3,78	3,82	114

	b_e g/kWh	η_k	CO ₂	CO	HC	O ₂	NO _x	λ	Egzoz sıcaklığı °C	Yakıt Sıc. °C	Ortam Sıc. °C	Nem %
1	393,05	33,8	5,12	0,07	19	13	491	2,82	271	24,5	24	75
2	337,56	29,03	6,93	0,06	17	11	731	2,09	289	24,5	24	75
3	321,51	27,65	10,8	0,48	17	5,2	1173	1,31	464	24,5	24	75
4	315,50	27,13	10,7	0,58	16	5,3	1150	1,31	487	24,5	24	75
5	315,76	27,16	10,7	0,51	16	5,3	1236	1,31	487	24,5	24	75
6	309,83	26,65	10,6	0,53	19	5,4	1281	1,32	483	24,5	24	75
7	319,53	27,48	10,6	0,57	17	5,4	1280	1,32	474	24,5	24	75
8	308,60	26,54	10,7	0,68	20	5,1	1261	1,29	470	24,5	24	75
9	330,42	28,42	11,2	1,29	32	3,9	1172	1,17	463	24,5	24	75
10	365,06	31,39	11,1	1,83	48	3,3	1120	1,12	443	24,5	24	75

5.7.3. %30 Soya + 70 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

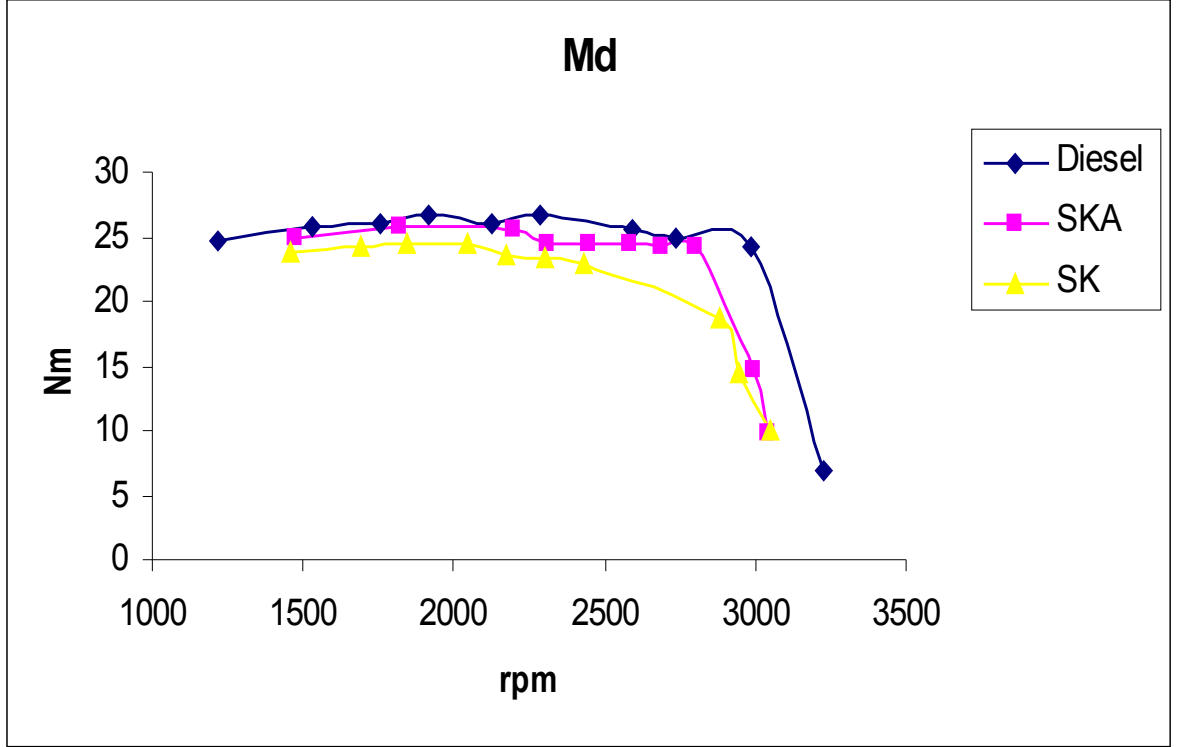
Çizelge 5.7. %30 Soya + %70 Kanoladan Elde Edilmiş Biyodizelin Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak kay.	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Tork Gerçek Nm	Güç kW	Güç Gerçek kW	Yakıt Tüketim Süresi sn
1	3050	1490	1525	2,30	0,98	5,7	9,79	10,02	3,12	3,20	137
2	2948	1436	1474	2,58	0,97	8,2	14,08	14,45	4,34	4,46	106
3	2884	1426	1442	1,11	0,99	10,8	18,54	18,75	5,60	5,66	85
4	2431	1163	1215,5	4,32	0,96	12,7	21,80	22,79	5,55	5,80	87
5	2306	1104	1153	4,25	0,96	13	22,32	23,31	5,39	5,63	91
6	2173	1047	1086,5	3,64	0,96	13,2	22,66	23,52	5,15	5,35	96
7	2044	976	1022	4,50	0,95	13,6	23,35	24,45	4,99	5,23	98
8	1844	871	922	5,53	0,94	13,5	23,18	24,53	4,47	4,73	105
9	1693	811	846,5	4,19	0,96	13,5	23,18	24,19	4,11	4,29	112
10	1458	702	729	3,70	0,96	13,3	22,83	23,71	3,48	3,62	123

	b_e g/kWh	η_k	CO ₂	CO	HC	O ₂	NO _x	λ	Egzoz sıcaklığı °C	Yakıt Sıc. °C	Ortam Sıc. °C	Nem %
1	362,77	31,20	4,93	0,07	7	13	598	2,89	355	24,3	24	75
2	336,22	28,91	6,41	0,06	7	11	805	2,24	319	24,3	24	75
3	330,31	28,41	8,34	0,07	14	8,7	1033	1,73	360	24,3	24	75
4	315,01	27,09	9,29	0,53	13	7	1102	1,48	433	24,3	24	75
5	310,39	26,69	9,30	0,59	14	6,9	1130	1,47	435	24,3	24	75
6	309,47	26,61	9,32	0,66	17	6,8	1127	1,45	431	24,3	24	75
7	310,00	26,66	9,61	0,94	19	6,2	1117	1,37	429	24,3	24	75
8	319,60	27,49	9,91	1,30	24	5,5	1071	1,29	426	24,3	24	75
9	330,97	28,46	9,89	1,48	30	5,3	1053	1,27	422	24,3	24	75
10	357,03	30,70	9,76	2,05	43	4,9	978	1,21	410	24,3	24	75

5.8. Deneyler Sonucu Elde Edilen Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Maksimum Tork ve Maksimum Güç İçin Silindir İçi Basınç Değişimi Grafikleri

5.8.1. Motor Momenti Değişimi

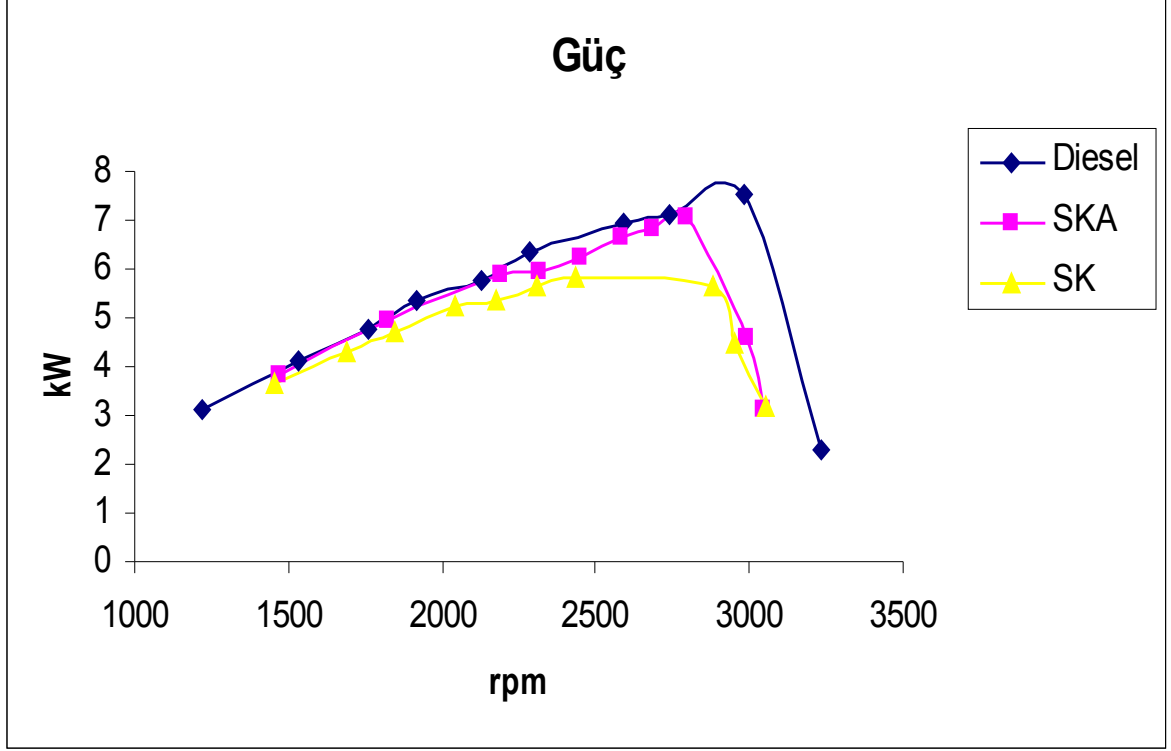


Şekil 5.10. Motor Momentinin Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.10'da motor momentinin, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

Soya, kanola ve ayçiçeğinden elde edilen yakıtın (SKA'nın) motor momentini değişimi, soya ve kanola karışımına oranla (SK'ya) dizele daha yakındır. Hatta bazı noktalarda çakışmaktadır. SK dizele göre çok düşük performans göstermiştir. Ayrıca her iki yakıtla da, dizel yakıtındaki devirlere çıkılamamıştır.

5.8.2. Motor Gücü Değişimi

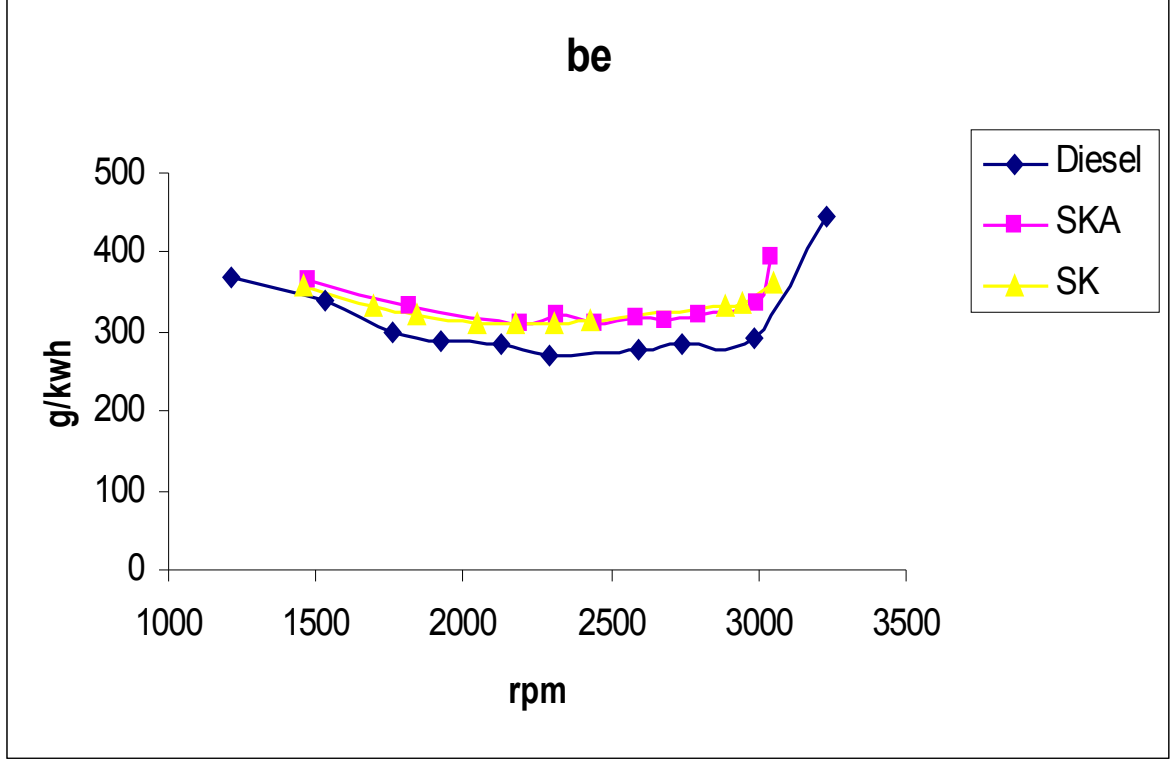


Şekil 5.11. Motor Gücünün Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.11'de motor gücünün, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA'dan ve dizelden 2900 rpm'e kadar bazı noktalarda aynı güçler alınmıştır. Fakat max güç noktası dizelden düşüktür. SK'da 2500-3000 rpm aralığında güç sabit kalmıştır.

5.8.3. Özgül Yakıt Sarfiyatı Değişimi

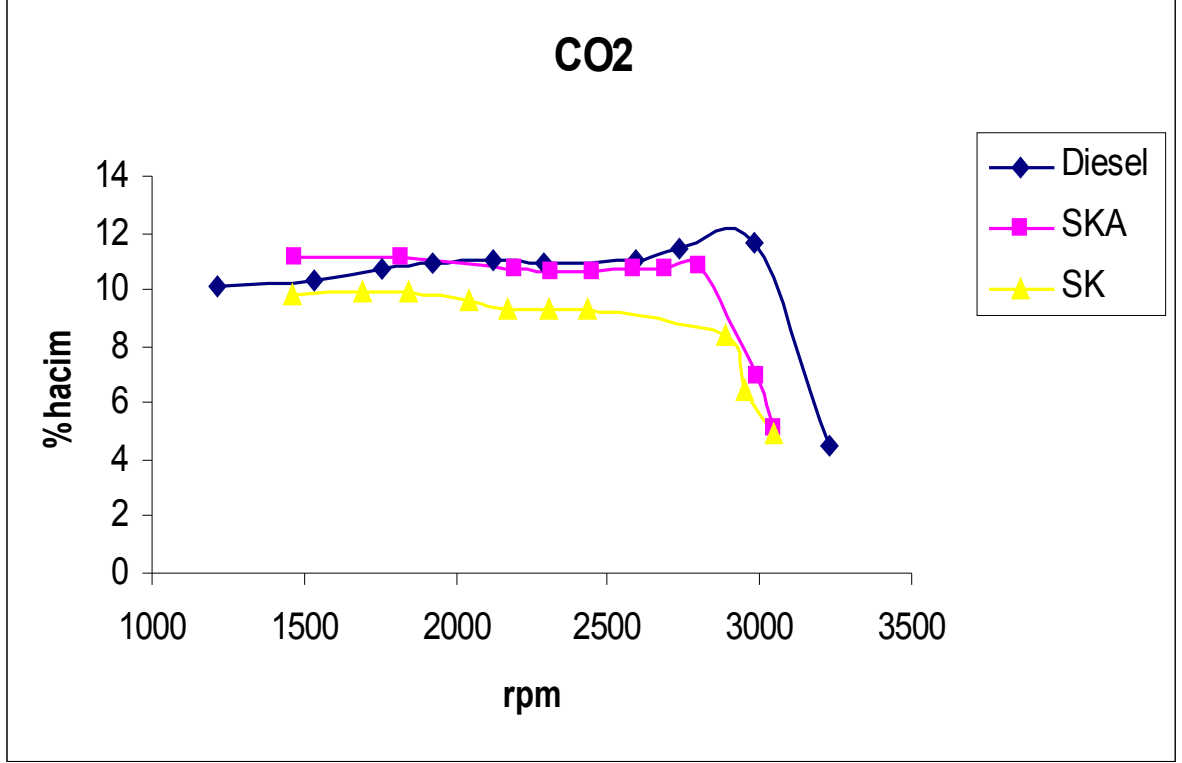


Şekil 5.12. Özgül Yakıt Sarfiyatının Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.12'de özgül yakıt sarfiyatının, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA ve SK'nın özgül yakıt tüketimleri yaklaşık olarak aynı seyretmiştir. Fakat aynı devir sayısında dizelden daha fazla SKA ve SK tüketilmiştir.

5.8.4. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu Değişimi

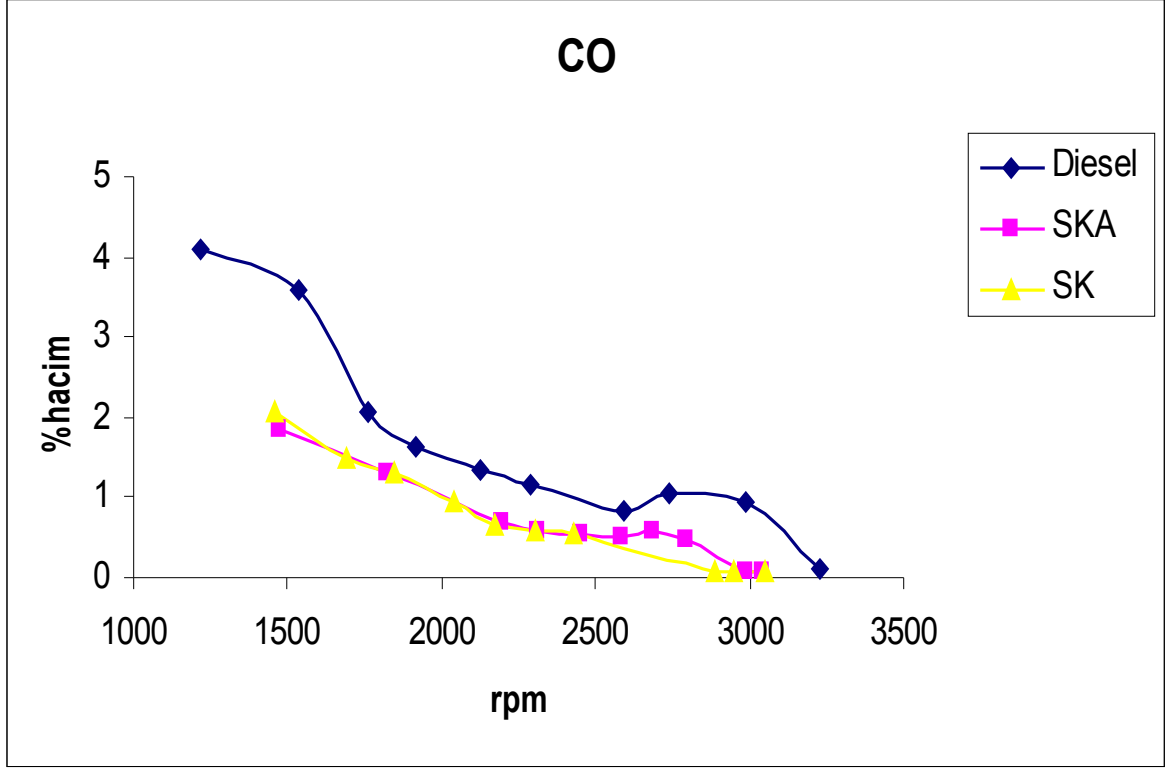


Şekil 5.13. Karbondioksit (CO₂) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.13'da karbondioksit (CO₂) emisyonunun, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA'nın CO₂ oranı başlangıçta dizelden daha fazladır. 1900 rpm'den sonra azalmaktadır. SK'da dizelden daha düşüktür.

5.8.5. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

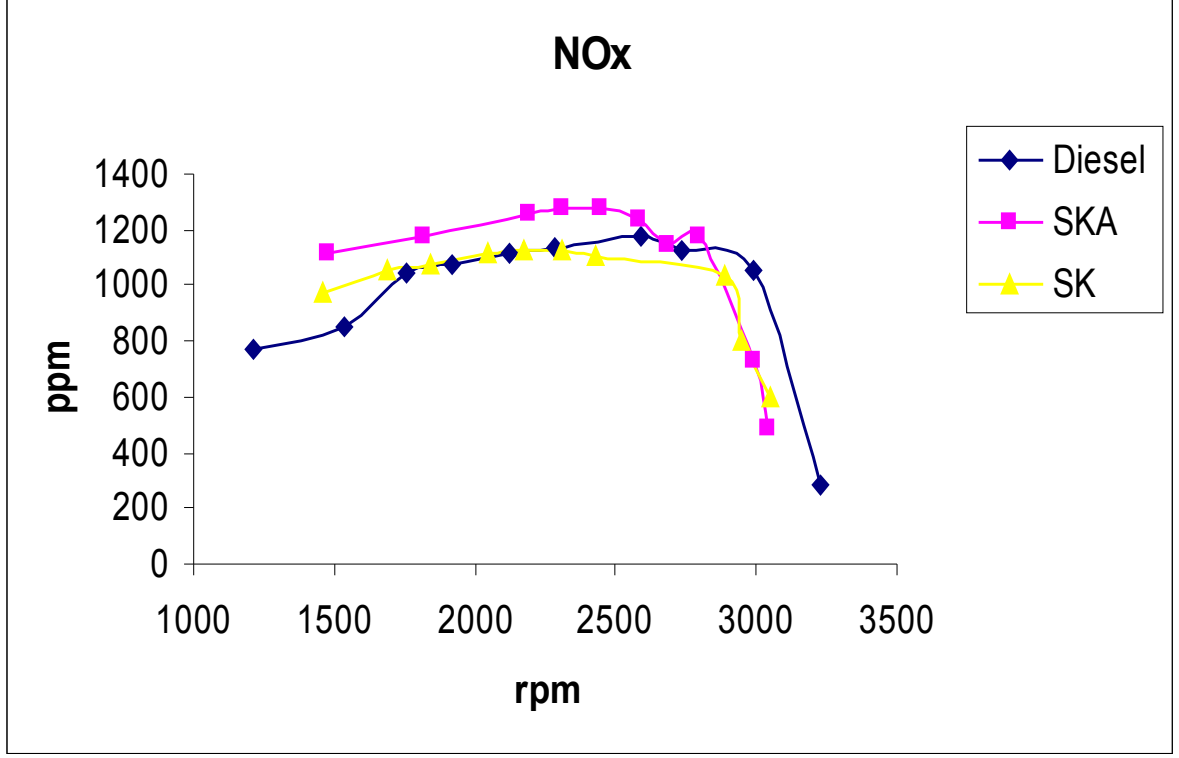


Şekil 5.14. Karbonmonoksit (CO) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.14'de karbonmonoksit (CO) emisyonunun, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

Dizele oranla iki yakıtta daha az karbonmonoksit üretmiştir.

5.8.6. Azotoksit (NO_x) Emisyonu Değişimi

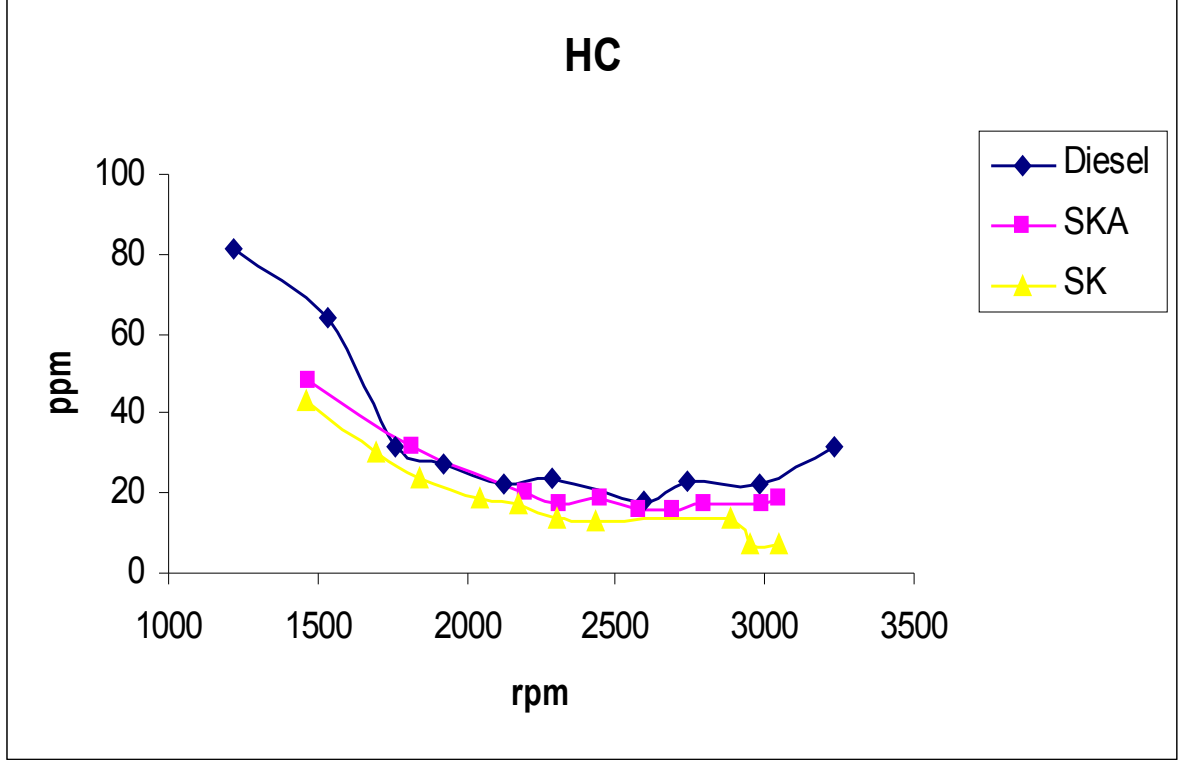


Şekil 5.15. Azotoksit (NO_x) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.15'de azotoksit (NO_x) emisyonunun, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA'nın azotoksit emisyonları yaklaşık 2800 rpm'ye kadar dizelden yüksektir. Daha sonra düşmektedir. SK'da önce dizelden fazla azotoksit üretmiş, bir aralıkta aynı seyretmiş ve daha sonra düşmüştür.

5.8.7. Hidrokarbon (HC) Emisyonu Değişimi

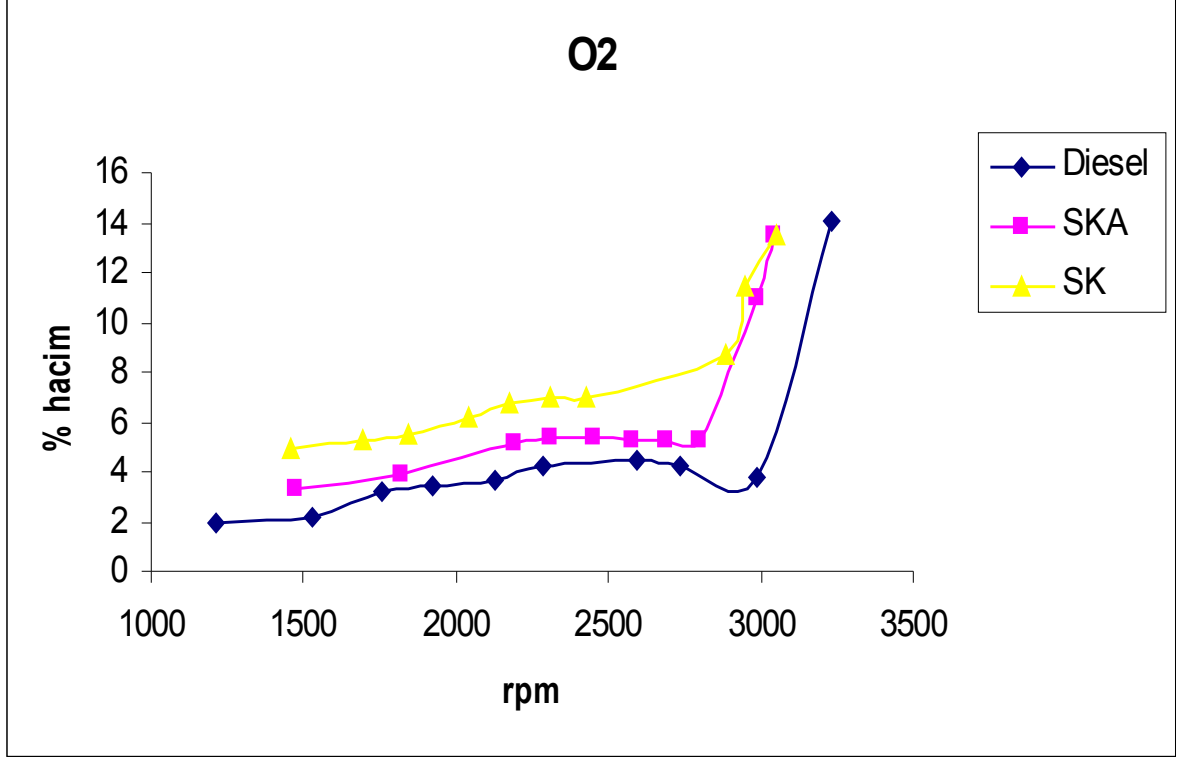


Şekil 5.16. Hidrokarbon (HC) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.16'de hidrokarbon (HC) emisyonunun, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA ve SK'da dizelden daha az hidrokarbon üretmiştir.

5.8.8. Oksijen (O₂) Emisyonu Değişimi

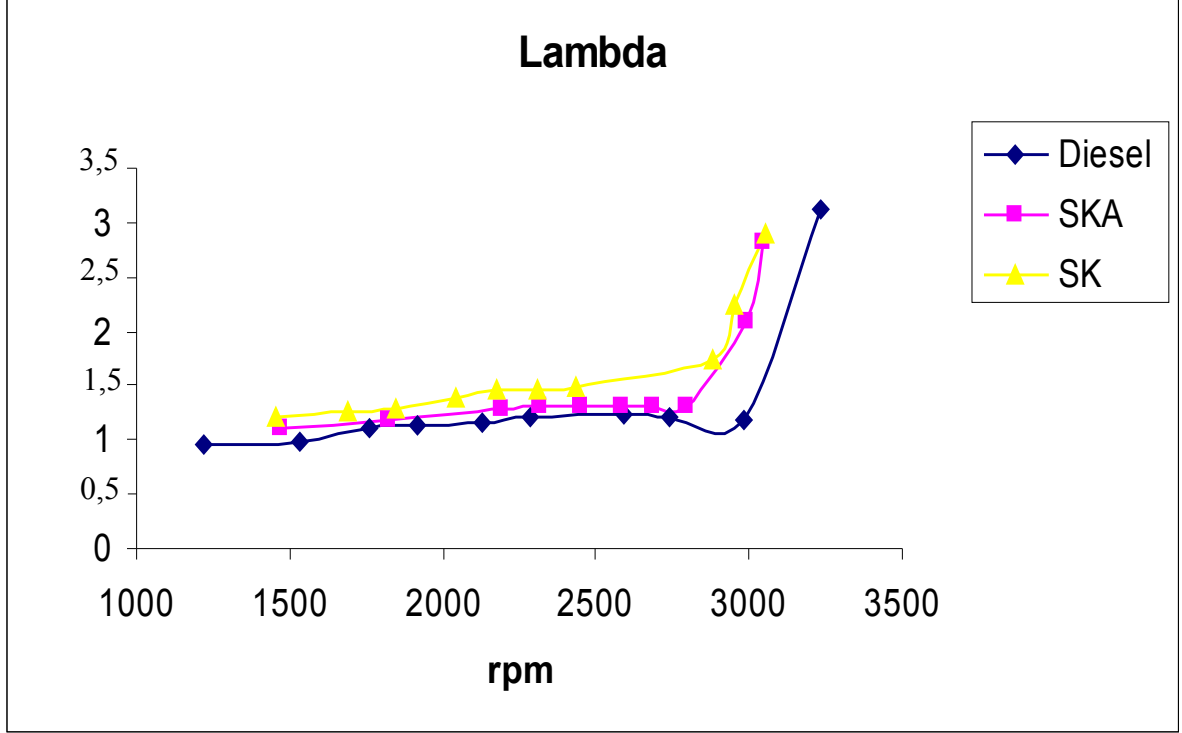


Şekil 5.17. Oksijen (O₂) Emisyonunun Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.17'de oksijen (O₂) emisyonunun, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA ve SK'nın ürettiği O₂ miktarı dizelden daha fazladır. Yakıt içerisindeki O₂ miktarının artmasıyla emisyondaki O₂ miktarı artar.

5.8.9. Hava Fazlalık Katsayısının (λ) Değişimi

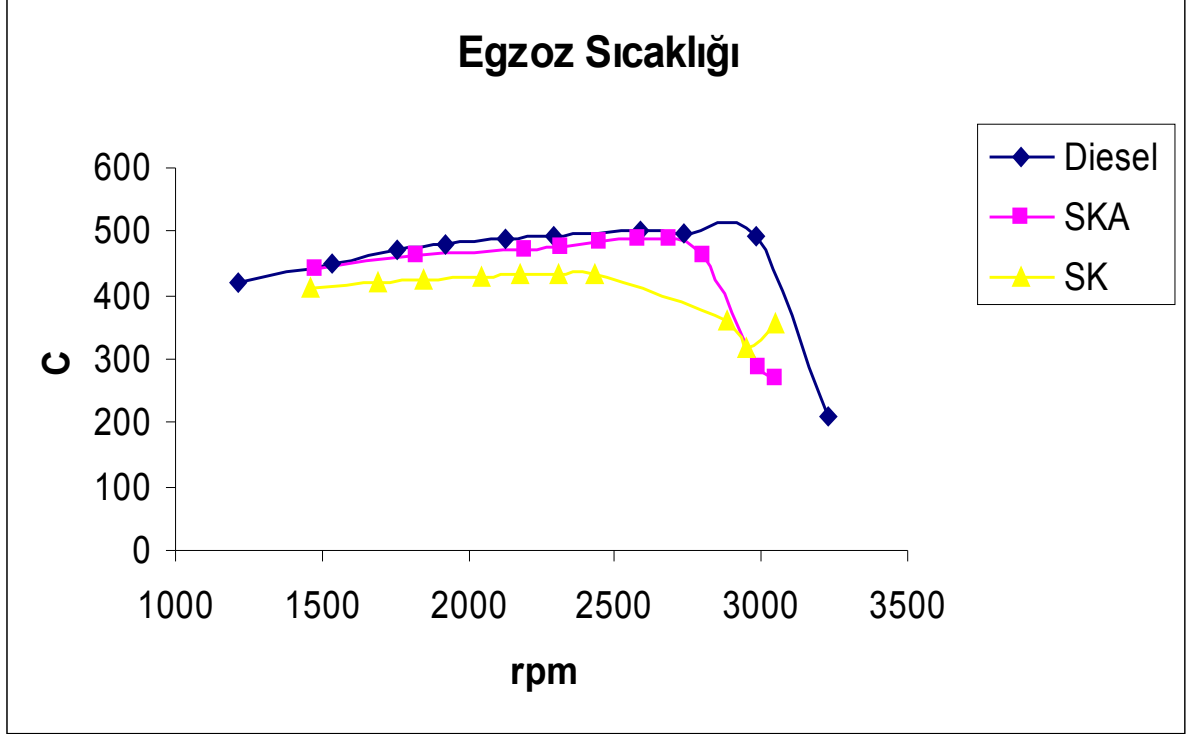


Şekil 5.18. Hava Fazlalık Katsayısının (λ) Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.18'de hava fazlalık katsayısının (λ), dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

SKA ve SK'da lambda yani hava fazlalık katsayısı dizele oranla daha yüksektir. Yani SKA ve SK'daki O_2 miktarı dizele oranla daha fazladır.

5.8.10. Egzoz Sıcaklığı Değişimi

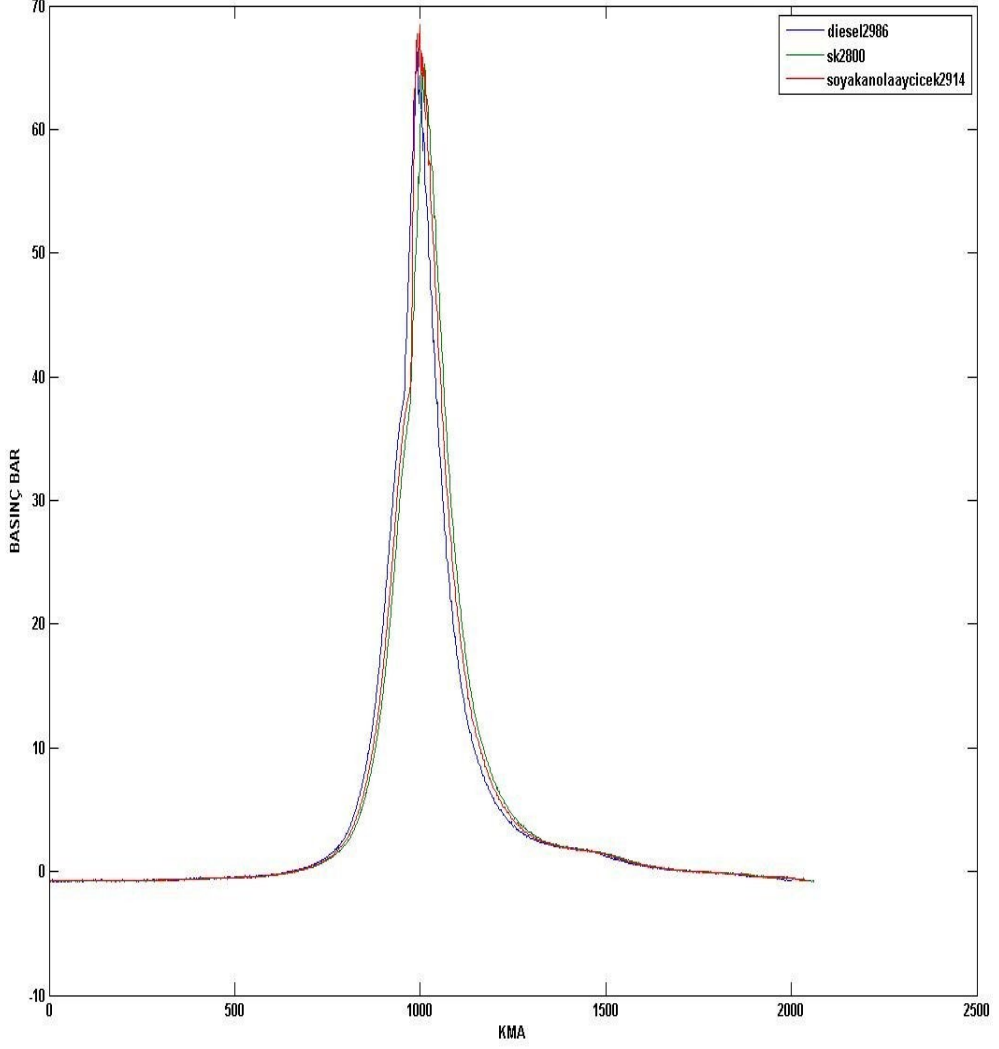


Şekil 5.19. Egzoz Sıcaklığının Devir Sayısıyla Değişim Grafiği

Şekil 5.19'de egzoz sıcaklığının, dizel, %20 soya + %20 ayçiçek + %60 kanoladan elde edilmiş biyodizel ve %30 kanola + %70 soyadan elde edilmiş biyodizel için, devir sayısı ile değişim grafiği görülmektedir.

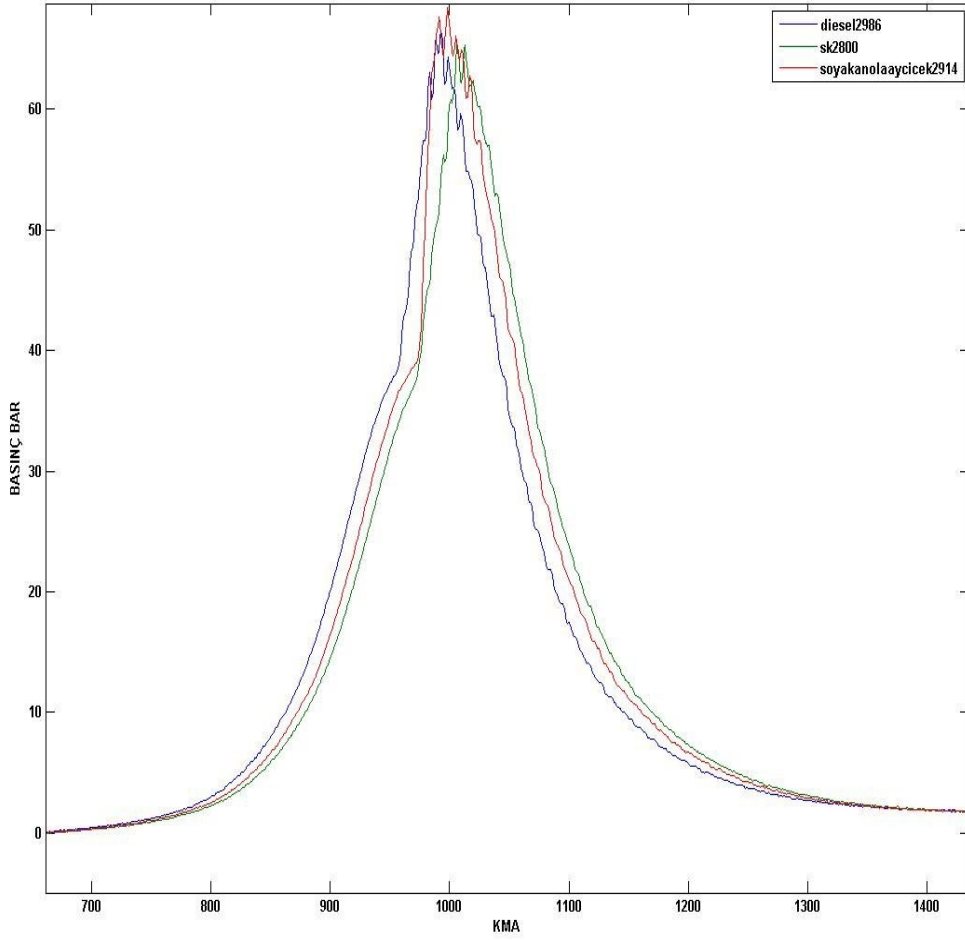
SKA'nın egzoz sıcaklığı 2750 rpm kadar dizelle yaklaşık aynı değerlerde seyretmiştir. Daha sonra düşmüştür. SK'nın daha düşüktür.

5.8.11. Üç Yakıtın Max Güç Şartında Silindir İçi Basınç Değişimi



Şekil 5.20. Üç Yakıtın Max Güç Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiği

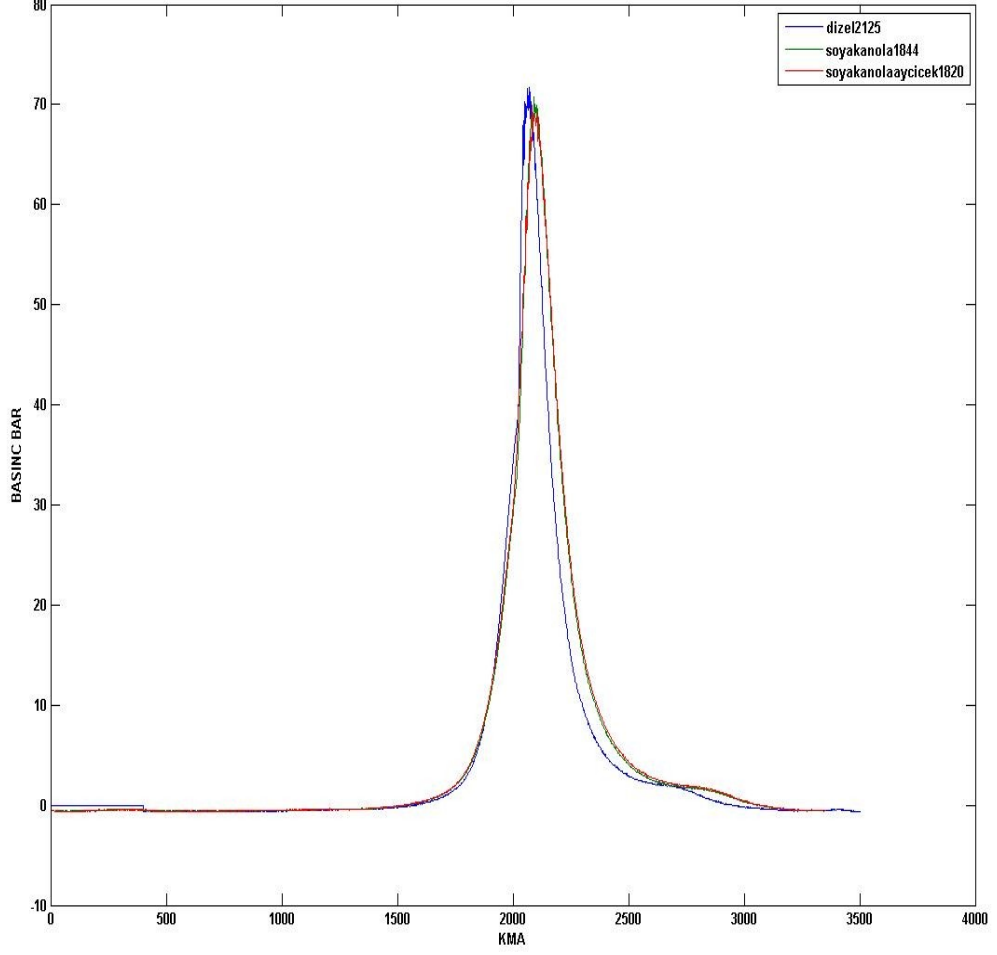
Şekil 5.20'da üç yakıtın max güç şartında silindir içi basınç değişimleri yer almaktadır. Şekil 5.21'de bu grafiğin yakınlaştırılmış hali yer almaktadır.



Şekil 5.21. Üç Yakıtın Max Güç Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiğinin Yakınlaştırılmış Hali

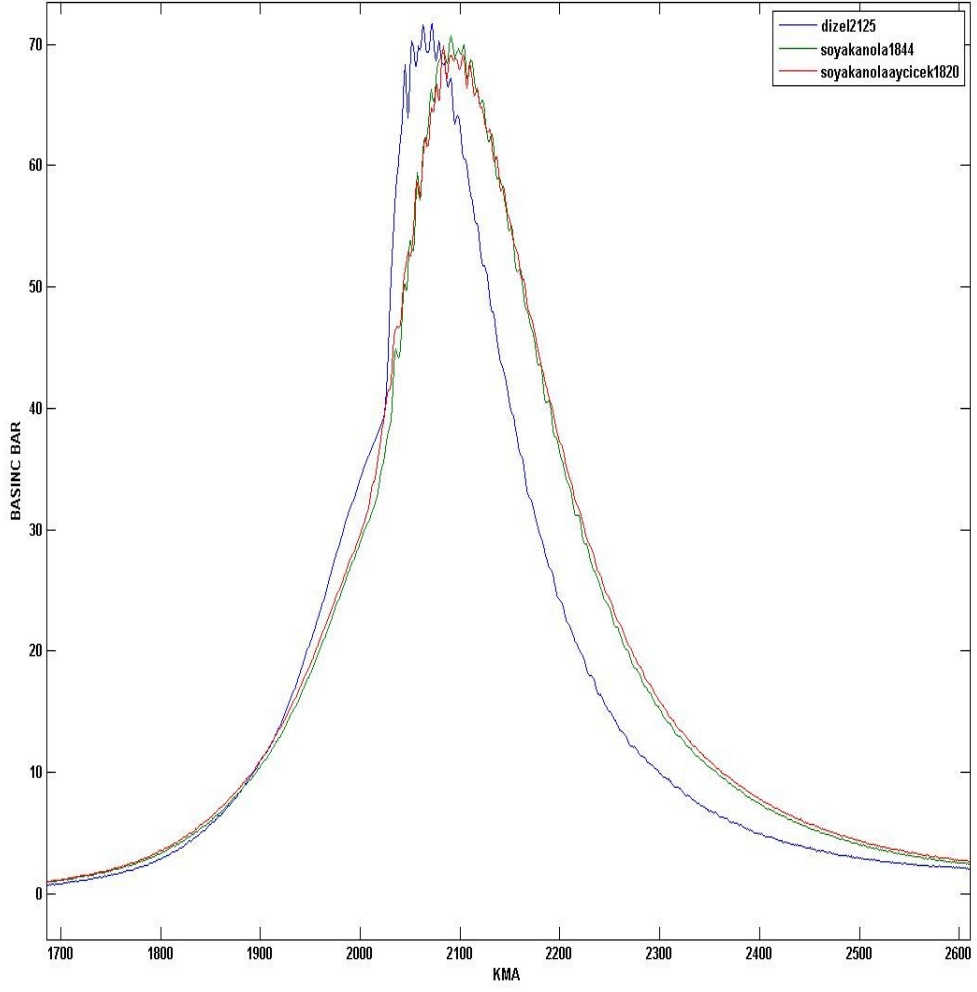
Üç yakıtın max güç şartında silindir içi basınç değişimleri yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte, en yüksek SKA'nın, sonra dizel ve en sonda SK şeklinde sıralanabilir.

5.8.12. Üç Yakıtın Max Tork Şartında Silindir İçi Basınç Değişimi



Şekil 5.22. Üç Yakıtın Max Tork Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiği

Şekil 5.22'de üç yakıtın max tork şartında silindir içi basınç değişimleri yer almaktadır. Şekil 5.23'de bu grafiğin yakınlaştırılmış hali görülmektedir.



Şekil 5.23. Üç Yakıtın Max Tork Şartında Silindir İçi Basınç Değişim Grafiği Yakınlaştırılmış Hali

Üç yakıtın max tork şartında silindir içi basınç değişimi, SK ve SKA yaklaşık olarak aynı dizelden düşüktür. Yanma ve genişleme periyodunda farklılık farklılık göstermiştir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışmada, değişik yük kademelerinde motora farklı karışım oranlarında biyodizel gönderilerek motor performans karakteristikleri, egzoz emisyon değerleri ve silindir içi basınç değişiklikleri elde edilip dizel yakıtı değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Deneyle gerçekleştirilmeden önce motorun performansında bir düşüş, emisyonlarında da bir iyileşme olacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada da öngörülenin ne ölçüde gerçekleştirilebileceği incelenmiştir. Yapılan deneylerden öngörülenin aksine bir durum gerçekleşmemiştir. Motor momenti(torku) ve motorun gücü düşmüş, özgül yakıt sarfiyatı artmıştır. Egzoz emisyonlarında ise dizele oranla azalma söz konusudur. Silindir içi basınç değişimleri yaklaşık olarak aynıdır. Fakat sıralamak gerekirse, en yüksek SKA, sonra dizel, sonrada SK gelmiştir.

Özgül yakıt sarfiyatının fazla olmasının nedeni, biyodizelin alt ısıl değeri dizele oranla daha düşük olmasıdır. Bu da motoru aynı devirde çalıştırmak için daha fazla yakıt yakmayı gerektirir. Bu nedenle özgül yakıt sarfiyatı daha yüksek çıkmaktadır.

Emisyon değerlerindeki farklılığın nedeni ise yapısındaki O₂ miktarının fazlalığıdır. O₂ fazlalığı nedeniyle açığa çıkan zehirli gazların miktarı azalır. Özellikle yüksek devirlerdeki etkisi daha fazla ortaya çıkmaktadır.

Biyodizelin egzoz sıcaklığının düşük çıkmasının muhtemel nedeni, yanma sonu sıcaklığının dizele oranla daha düşük olması olduğu düşünülmektedir.

Hava fazlalık katsayısının yüksek olmasının muhtemel nedenide, biyodizelin yapısındaki O₂ miktarının fazla olmasıdır.

Silindir içi basınç değişimlerinde ise çok büyük bir farklılık görülmemiştir.

Direk püskürtmeli dizel motorlarında egzoz kirlilik oluşumu ve miktarlarında, egzoz sıcaklıklarının değişiminde çok çeşitli etkenler bir arada rol oynamaktadır. Bu etkenler arasında; hava fazlalık katsayısı, tutuşma gecikmesi, motor dönme sayısı, yük konumu ve gücü, egzoz karşı basıncı, yanma odası cidarlarındaki birikimler, yanma odası yüzey sıcaklığı, yakıt püskürtme sistemi, püskürtme zamanı ve hızı, aşırı doldurma, max alev sıcaklığı, hava nem miktarı, kullanılan yakıtın kimyasal bileşimi sayılabilir. Çevresel bilincin arttığı şu dönemlerde bu konular araştırılarak iyileştirme çareleri aranabilir.

Sonuç olarak, alternatif enerji kaynakları içinde kolay elde edilebilirliği, kolay taşınabilirliği ve mevcut motor teknolojisinde köklü değişiklikler gerektirmemesi nedeniyle en önemli seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji kaynakları sınırlı ve dışarıya bağımlı olan ülkemizde bu çalışmaların teşvik edilmesinde yarar vardır.

İNTERNET KAYNAKLARI

/1/ Karaosmanoğlu, F., "Biyomotorin ve Türkiye", <http://www.biyomotorin-biodiesel.com>

/2/ <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>

/3/ Petrol Ofisi Anomim Őirketi, <http://www.poas.com.tr>

/4/ http://www.biodiesel.org/pdf_files/emissions.PDF

KAYNAKLAR

- Akyarlı, A., "Biyodizel Yakıtının Uluslar arası Standartlarda Üretimi", Biyoenerji Sempozyumu, İzmir, 2004
- Altınsoy, A.S., "Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların İncelenmesi", İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2006
- Biyoyakıt Dünyası Dergisi, Kasım 2006, Sayı:4, Sayfa 25
- Ejder, S.B., "Etanol-Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması", İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2006
- Garpen, J.V., Clements, D., Knothe, G., "Biodiesel Production Technology", National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36244, 2004
- Harvey, A., P., Mackley, R., M., Seliger, T., "Process Intensification of Biodiesel Production Using a Continuous Oscillatory Flow Reactor", Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 78:338-341, 2003, U.K.
- Karabektaş, M., "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkisi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002
- Karahan, Ş., "Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi", Ulusal Biyodizel Sunuştaşı, Ankara, 2006
- Knothe, G., Jurgen, K., Garpen, J.V., " The Biodiesel Handbook", AOCS Pres, 2005, ISBN 1-893997-79-0, Illinois, U.S.
- Öğüt, H., Oğuz, H., "Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel", Nobel Yayınevi Ltd. Şti.,2005
- Poulton, M.L., 1994 Alternative Fuels for Road Vehicles Computational Mechanics Publications, Southhampton
- Schumacher, L.G., 1997. 6V-92TA DDC Engine Exhaust Emission Tests Using Metyili Ester, National Soydiesel Development Board, U.S.A.
- Tyson, K.S., Biodiesel Handling and Use Guidelines, National Renewable Energy Laboratory, U.S.A., 2001
- Warabi, Y., Kusdiana, D., Saka, S., "Reactivity of Triglycerides and Fatty Acids of Rapeseed Oil in Supercritical Alcohols", Bioresource Technology, 30 June 2003, Japan

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : 20.11.1979

Doğum yeri : İstanbul

Lise : 1993-1997 Kenan Evren Süper Lisesi

Lisans : 1998-2004(Ocak) Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2004(Şubat)-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Mak. Programı