

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ .....	viii
Yüksek Lisans Tez Özeti .....	ix
Yüksek Lisans Abstract .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtlar .....	3
2.1 Dizel Motorlarında Kullanılan Yakıtların Özellikleri .....	3
2.1.1 Viskozite .....	5
2.1.2 Isıl Değer .....	6
2.1.3 Setan Sayısı .....	7
2.1.4 Setan İndeksi .....	7
2.1.5 Akma Noktası .....	7
2.1.6 Yoğunluk ve API .....	7
2.1.7 Parlama ve Alevlenme Noktası .....	8
2.1.8 Uçuculuk .....	8
2.1.9 Korozyon Etkisi .....	8
3. Biyokütle Enerjisi .....	8
3.1 Türkiye’ de Biyokütle Kullanımı .....	10
3.2 Bitkisel Yağlar .....	12
3.2.1 Bitkisel Yağların Yapısı .....	12
3.2.2 Bitkisel Yağların Isıl Değeri .....	13
3.2.3 Bitkisel Yağların Viskozitesi .....	14
3.2.4 Bitkisel Yağların Setan Sayısı .....	14
3.2.5 Bitkisel Yağların Yoğunluğu .....	14
3.3 Bitkisel Yağların Doğrudan Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı .....	15
3.3.1 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesinin Dezavantajları .....	16
3.3.1.1 Viskozite .....	16
3.3.1.2 Doymamış Yapı .....	17

3.3.1.3	Katılaşma Eğilimi .....	17
3.3.2	Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri .....	17
3.3.3	Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi .....	18
3.4	Yakıt Üreteçleri .....	20
3.4.1	Ev Tipi Biyodizel Üreteci .....	20
3.4.2	Köy Ölçeğinde (Orta Ölçekte) Biyodizel Üretim Tesisi .....	21
3.4.3	Sanayi Tipi Ticari Amaçlı Biyodizel Üretimi .....	23
3.5	Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılması....	27
3.6	Biyodizel.....	29
3.6.1	Biyodizelin Tanımı .....	29
3.6.2	Biyodizelin Özellikleri .....	29
3.7	Biyodizel Standartları .....	32
4.	Biyodizelin egzoz emisyonları ve motor performansı üzerine etkisi .....	35
5.	DeneySEL Çalışma .....	41
5.1	Deney Setinin özellikleri .....	41
5.2	Silindir içi basınç analizleri .....	44
5.3	Egzoz emisyonlarının ölçümü .....	45
5.4	Deneylerin uygulanışı.....	45
5.5	Deneylerin gerçekleştirileceği yük şartının belirlenmesi .....	45
5.6	Deney Sonuçları .....	47
KAYNAKLAR.....		51
ÖZGEÇMİŞ.....		55

## SİMGE LİSTESİ

Be	Özgül Yakıt Tüketim (g/kWh)
CSt	Centi Stoke (Kinematik Viskozite) (mm <sup>2</sup> /s)
Pe	Efektif Motor Gücü (kW)
Pme	Ortalama Efektif Basınç (kPa)
$\eta_{th}$	Efektif Verim (%)
K	Işık Absorbsiyon Katsayısı(K) (m <sup>-1</sup> )
N	Duman Koyuluğu (%)
$\lambda$	Hava fazlalık katsayısı

## KISALTIMA LİSTESİ

ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
DI	Direk Enjeksiyon
D.İ.E	Devlet İstatistik Enstitüsü
IDI	İndirek Enjeksiyon
KMA	Krank Mili Açısı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
BY	Bitkisel yağ
BYME	Bitkisel yağ metil esteri
FÖYS	Fren özgül yakıt sarfiyatı
YAME	Yağ asidi metil esteri
YAMAE	Yağ asidi mono alkil esteri
SME	Soya Yağı Metil Esteri
RME-KME	Rapseed Metil Ester (Kanola Metil Esteri)
D	Dizel yakıt
ID	İyot değer
KA	Karbon atığı
KV	Kinematik viskozite
S	Kükürt içeriği
SD	Sabunlaşma değer
SS	Setan sayısı
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbon
TED	Tespit edilemeyen değer
D	%100 motorin
B10	%10 biyodizel, %90 motorin karışımı
B20	%20 biyodizel, %80 motorin karışımı
B50	%50 biyodizel, %50 motorin karışımı
B100	%100 biyodizel

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi.....	13
Şekil 3.2 Basit ve karışık trigliseritin yapısı.....	13
Şekil 3.3 Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler .....	18
Şekil 3.4 Ev tipi biyodizel üretici [15].....	21
Şekil 3.5 Çiftçi ölçeğinde bir biyodizel tesisinin şematik görünüşü [15].....	22
Şekil 3.6 Ticari amaçlı biyodizel üretim projesi[16].....	24
Şekil 3.7 Biyodizelin üretim akış şeması [17].....	26
Şekil 3.8 Transesterifikasyon tepkimesi.....	27
Şekil 5.1 Deney setinin detaylandırılmış resmi.....	42
Şekil 5.2 Sıkıştırma oranı değişim aparatı.....	43
Şekil 5.3 1999/96/EC direktifi test çevrimi yük noktaları.....	46
Şekil 5.4 Yük şartının belirlenmesinde kullanılan performans deneyi sonucu .....	47
Şekil 5.5 Özgül yakıt sarfiyatının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi ...	47
Şekil 5.6 NO <sub>x</sub> emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.....	48
Şekil 5.7 CO emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.....	49
Şekil 5.8 CO <sub>2</sub> emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.....	49
Şekil 5.9 HC emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.....	50

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Dünya fosil yakıt rezervleri [2] .....	1
Çizelge 2.1 Dizel yakıt standardı EN590 .....	4
Çizelge 3.1 Türkiye’de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerji üretimi (Btep) [7].....	11
Çizelge 3.2 Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri .....	28
Çizelge 3.3 Çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları .....	30
Çizelge 3.4 Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri [14] .....	31
Çizelge 3.5 Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları [5] .....	32
Çizelge 4.1 Çeşitli sıkıştırma oranları için FÖYS değişim oranları .....	40
Çizelge 5.1 Motor Teknik Özellikleri.....	43

## ÖNSÖZ

Dünyada artan ihtiyaçlara karşın fosil yakıt rezervlerinin buna cevap veremeyeceği bir gerçektir. Bu sebeple son yıllarda önemi daha da artan alternatif yakıtlar arasında yer alan ve elde edilebilmesi ülkemizdeki verimli topraklar da göz önüne alındığında daha kolay ve ucuz olan biyodizel yakıtı , bu yakıtın dizel motorları performansı ve emisyonlarına etkisi konusu ile ilgili yaptığım bu tez çalışmasının, sağlam bir zemin oluşturacağına ve gelecekte yapılacak deneylere ışık tutacağına inanıyorum.

Bu çalışmanın başından itibaren bana yol gösteren başta tez danışmanım Prof. Dr. Orhan DENİZ olmak üzere tüm hocalarıma; deneysel çalışmalarım esnasında bana büyük yardımlarda bulunan Arş. Gör. Levent YÜKSEK, Arş. Gör. Orkun ÖZENER , Arş. Gör. Berk ÖZOĞUZ, Arş. Gör. Alp Tekin ERGENÇ'e ve eğitim sürecim boyunca bana destek olan ailem ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

## Yüksek Lisans Tez Özeti

# DEĞİŞTİRİLEBİLİR SIKIŞTIRMA ORANINA SAHİP BİR SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ MOTORDA DIESEL-BIODIESEL KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer ILGAZLI

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Artan enerji gereksinimi ve çevre kirliliği, doğa ile dost alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Fosil enerji kaynaklarının sonlu olması, yeni ve yenilenebilir kaynakların araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. İçten yanmalı motorlar günümüzde halihazırda birincil enerji dönüşüm makineleridir. Bu kapsamda içten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif enerji kaynaklarının araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada dört zamanlı, su soğutmalı, doğal emişli, tek silindirli bir dizel motorda sıkıştırma oranı ve yakıt karışım oranları değiştirilerek motor performansının ve egzoz emisyonlarının değişimi araştırılmıştır. Yakıt olarak sırasıyla %100 motorin (D), %20 biyodizel – %80 motorin (B20) ve %50 biyodizel – %50 motorin (B50) karışımları ve %100 biyodizel kullanılmıştır. Deney seti üzerindeki aparat vasıtasıyla sıkıştırma oranı 13:1 ile 22:1 değiştirilebilmektedir.

Her yakıt ve sıkıştırma oranı için öncelikle motorun performans davranışı araştırılmış daha sonrasında ise belirlenen yük şartı altında rejim halinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında motorun ürettiği güç, yakıt tüketimi, gaz emisyonları (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), duman koyuluğu ve silindir içi basınç değişimi kaydedilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Biyodizel, Sıkıştırma oranı, Dizel Motoru.

JÜRİ:

Kabul tarihi: 26.01.2010

- 1- Prof. Dr. Orhan DENİZ
- 2- Prof. Dr. E. Hakan KALELİ
- 3- Prof. Dr. Metin ERGENEMAN

Sayfa sayısı: 55



## Yüksek Lisans Abstract

# RESEARCH of the EFFECT of DIESEL-BIODIESEL BLEND RATIO on PERFORMANCE AND TAIL PIPE EMISSIONS of a VARIABLE COMPRESSION RATIO COMPRESSION IGNITION ENGINE

Ömer ILGAZLI

Mechanical Engineering M.S. Thesis

Increasing energy demand and environmental concerns focused to the attention for renewable energy sources instead of fossil fuels. Research of alternative and renewable energy sources increased due to limited sources of fossil fuels. Internal combustion engines are already the primary energy conversion machines. From this perspective it's very important to search about alternative energy sources which can be effectively used in internal combustion engines.

A four stroke, water cooled, single cylinder, naturally aspirated, variable compression ratio engine was used as test engine and different fuel blends investigated at several compression ratio values. Neat diesel fuel, 20% biodiesel-80% diesel fuel blend, 50% biodiesel-50% diesel fuel blend and neat biodiesel was used as fuel. Compression ratio of the engine was varied from 13:1 to 22:1 values.

Performance of internal combustion engine for different fuels and compression ratios was investigated initially for determining long-term experiment load condition than experiments were carried out at steady-state operating conditions. Brake power, fuel consumption, gaseous emissions (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), smoke intensity and in cylinder pressure signals were noticed.

KEYWORDS: Biodiesel, Compression ratio, Diesel engine.

JÜRİ:

- 1- Prof. Dr. Orhan DENİZ
- 2- Prof. Dr. E. Hakan KALELİ
- 3- Prof. Dr. Metin ERGENEMAN

Kabul tarihi: 26.01.2010

Sayfa sayısı: 55

## 1. GİRİŞ

Enerji olgusu , insan yaşamının vazgeçilmez öğelerinden bir tanesidir. Ayrıca kişi başına tüketilen enerji miktarı bir ülkenin gelişmişlik göstergeleri arasında yer almaktadır.

Enerji kaynaklarının sınırlı olması ile birlikte sürekli artan enerji gereksinimi, şu anda ve gelecekte gerek ülkemizi gerekse tüm dünyayı sıkıntıya sokabilecek, çözümlenmesi gereken bir problemdir. Özellikle enerji ihtiyacını fosil yakıt olarak ülke dışından karşılayan ülkemiz için bu problem, acil çözülmesi gereken bir meseledir.

Gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerin hızla artan nüfusları ve bununla paralel olarak artan tüketimlerini karşılamak için hemen bütün ülkelerin yeni tür enerji kaynağı arayışları sürmektedir.

Ülkemizde, 2000 yılında 3527 PJ olarak gerçekleşen yıllık enerji tüketim talebinin, 2010 yılında 7558,66 PJ, 2023 yılında ise 15683 PJ olarak gerçekleşmesi beklenmektedir [1].

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının geliştirilmek istenmesinin bir başka nedeni de, dünyada sınırlı olan fosil yakıt rezervlerinin tükeniyor olmasıdır. Petrol ve doğal gaz rezervlerine insan ömrüne sığacak kadar ömür biçilmesi, insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür. Bu gerçeğin geniş kesimlerce anlaşılması, ülkeleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye, enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu, bilimsel çevreleri de harekete geçirerek enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanmak için yeni yöntemler geliştirmeye sevk etmiştir [1]. Çizelge 1.1'de dünyadaki enerji kaynaklarının bilinen rezervleri görülmektedir .

Çizelge 1.1 Dünya fosil yakıt rezervleri [2]

Bölge	Petrol [Milyar Ton]	D. Gaz [Trilyon m <sup>3</sup> ]	Kömür [Milyar Ton]	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8,3	7,6	120,2	137,6
Orta ve Güney Amerika	13,7	7,2	7,8	14,0

Avrupa	2,6	4,9	47,5	77,9
Eski SSCB Ülkeleri	9,1	56,1	97,4	132,6
Ortadoğu	93,3	55,9	1,7	-
Afrika	10	11,2	55,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	12,3	189,3	103,1
TOPLAM DÜNYA	142,9	155,1	519,1	465,4

Tablodan da anlaşıldığı gibi Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından gayet iyi durumdadır. Ayrıca Türkiye linyit kömürü ve hidrolik enerji potansiyeli açısından da önemli kaynaklara sahiptir.[3].

Dünya Enerji Konseyi raporlarında yeni ve yenilenebilir kaynaklarıyla enerji talebinin, maksimum % 8-12'sinin 2020 yılında karşılanabileceği belirtilmektedir. Bu senaryoya göre modern biokütle ile sağlanacak enerji, jeotermal enerjinin 6,4 katı, rüzgâr enerjisinin 2,6–3 katı, güneş enerjisinin 1,6–2,2 katı olabilecektir. Görüleceği gibi en büyük pay modern biokütle ye ayrılmıştır. 2020 yılında modern biokütle enerji üretiminin ABD'de 235–410 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol), Almanya'da 11–21 MTEP, Japonya'da 9–12 MTEP olması planlanmıştır. Kısacası, modern biokütlenin güneş, rüzgâr, jeotermal ve deniz enerjilerinden daha büyük paya sahip olacağı öngörülebilir [3].

Yeni, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar için çalışmalar yapıldığında bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Bu çerçevede ülkemizin ekili alanları dikkate alındığında bitkisel yağlar milli kaynaklar kullanılarak üretilebilecek ve kullanılacak yakıtlardır. Bitkisel yağlar tohumlardan ve meyve çekirdeklerinden elde edilmektedir. Bu nedenle enerji bitkileri ülkemizde ve dünyada araştırma konusu olmaktadır. Ülkemizde meyvesinden yağ üretmek için zeytin, fındık, tohum ve çekirdeğinden yağ üretmek için ise keten, aspir, kolza (kanola), ayçiçeği,

soya, susam, yer fıstığı, pamuk mısır, kenevir gibi bitkiler yetiştirilmektedir [4].

Biyodizel üretmek ve kullanmak için ülkemiz yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Ülkemizde kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohumlu bitkilerin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Alınan son tasarruf önlemleri kapsamında tarımda sadece kanola, soya ve ayçiçeği ekimine destek verilme kararı alınmıştır. Bu durum, çiftçiye bir yön vermektedir [5].

Bu çalışmada, atık kızartma yağlarından elde edilmiş biyodizelin dizel motor performansı ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## **2. Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtlar**

İçten yanmalı motorlarda mekanik enerjiyi sağlayacak olan ısı enerjisi, silindir içerisine belirli oranlarda alınmış olan yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşur. Kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri silindirlerde oluşan yanma olayını ve neticede elde edilecek olan enerjiyi doğrudan etkiler.

İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar ve yaygın olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmıştır. Elde edildikleri yerlerde değerlendirilmek üzere hava gazı, metan, biyogaz ve özellikle hava kirlenmesinin sorun olduğu şehir içi taşımacılığında sıvı petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Ayrıca ekonomik üretim ve emniyetli olarak depolama sorunlarının çözülerek hidrojenin de yakıt olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır [3].

### **2.1 Dizel Motorlarında Kullanılan Yakıtların Özellikleri**

Ham petrolün damıtımı 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 [3].

Dizel yakıtların Sınıflandırılması;

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir.

- a) No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.
- b) No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden , No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.
- c) No.4-D: Damıtık ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır [3].
- d) Düşük sülfürlü dizel: ASTM D975 standartlarına göre D2622 testi sonucunda izin verilen maximum kükürt miktarı kütleli olarak %0.05'tir.

Çizelge 2.1 Dizel yakıt standardı EN590

Testler	Birim	Test Metodu	Limit
Yoğunluk, 15°C	kg/m <sup>3</sup>	TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185	820-860
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	% ağırlık	TS EN 12916	≤11
Alevlenme Noktası	°C	TS 1273 EN 22719	≥55
Su Miktarı	mg/kg	TS 6147EN ISO 12937	≤200
Kükürt Miktarı	mg/kg	TS 6838 EN ISO 8754 EN ISO 20846 , EN ISO 20847, EN ISO 20884 EN ISO 20846,EN ISO 20884	≤7000 350 (31.12.2004) -50 10.0 (01.01.2009)
Setan İndisi	Hesaplanan	TS 2883 EN ISO 4264	≥46
Viskozite, 40°C	cst	TS 1451 EN ISO 3104	2,0-4,5

SFTN	°C	TS EN 116	≥-15 (kış)
Karbon Kalıntısı (%10 Damıtmada)	% ağırlık	TS 6148EN ISO 10370	≤0,30
Kül	% ağırlık	TS 1327 EN ISO 6245	≤0,01
Toplam Kirlilik	mg/kg	TS EN 12662	≤24
Oksidasyon Kararlılığı	g/m <sup>3</sup>	TS EN ISO 12205	≤25
KorozyonBakır Şerit	50°C, 3 saat	TS 2741 EN ISO 2160	En çok No:1

### 2.1.1 Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite kinematik ve dinamik viskozite olmak üzere ikiye ayrılır. Tanım olarak dinamik viskozite; birbirlerinden  $\Delta z$  uzaklıktaki iki düzlem arasında  $\Delta z$  alanındaki sıvı tabakasının  $\Delta z / s^2$  hızla kayması için gerekli olan Newton kuvvetine denir.

Kinematik viskozite; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Kinematik viskozite birimi santistok (cSt) olup,  $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{saniye}$  ve ASTM D-88'e göre viskozite 40 °C de ölçülmelidir.

Viskozite değerleri, Engler (DIN 51560), Redwood (Institute of Petroleum, Standart Medhods IP 70/57), Saybold Universal ve Saybold –Furol viskozimetreleri ile belirlenmektedir [3].

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak ta 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 yanmanın sağlanması 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 bir 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 [3].

### 2.1.2 Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlelerine bölünmesiyle elde edilen değere ısıl değeri denir.

Yakıtın ısıl değeri genellikle birim kütlelerinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg) . Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğundan, ısıl değer, alt ısıl değer olarak verilmelidir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısıl değerini hidrojen miktarına, diğer bir deyişle özgül kütleyle aşağıdaki ampirik ifade ile bağlamak mümkündür [3].

$$H_u = 9822,2 + 36,6 \text{ API (Kcal/kg)} \quad (2.1)$$

Dizel yakıtı için,

$$H_u = 42000 - 44000 \text{ kJ/kg} \quad (2.2)$$

$$H_u = 10200 - 10500 \text{ kcal/kg olarak verilebilir} \quad (2.3)$$

### 2.1.3 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 gecikmesi (TG)'nin 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 (dizel vuruntusu) [3].

### 2.1.4 Setan İndeksi

Setan indeksi yakıt yoğunluğu ve ASTM D86 standartına göre elde edilen distilasyon aralığından elde edilen bir büyüklüktür. 2 metotla elde edilebilir, bunlar; ASTM D976 ve ASTM D4737'dir. D976 eski bir metottur. D4737 ise kullanılan son metottur. Ve aynı zamanda 4 değişkenli denklem olarak ta adlandırılmaktadır. ISO 4264 ile D 4737 standardı benzerdirler.

### 2.1.5 Akma Noktası

Dizel yakıtının özellikle soğuk havalarda akıcılık özelliğini kaybetmemesi gerekir. Akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçemeyerek motorun çalışmasını engelleyebilir.

Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır.

### 2.1.6 Yoğunluk ve API

Özgül ağırlık veya yoğunluk; birim hacmin ağırlığı olarak tanımlanır. Yanmaya doğrudan bağlı değildir fakat yoğunluğu büyük olan yakıtlar fazla miktarda karbon atomu içerdikleri için ısı değerleri yüksektir. Ayrıca özgül ağırlığı ne kadar küçük ise yakıt o kadar kolay tutuşur. Genel olarak dizel yakıtlarının özgül ağırlıkları 0,815–0,934 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır [3].



### **2.1.7 Parlama ve Alevlenme Noktası**

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklık olarak tarif edilir.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığında biraz yüksektir. Dizel yakıtının alevlenme sıcaklığı ASTM-93'e göre 55 °C'nin altında olmamalıdır.

### **2.1.8 Uçuculuk**

Motorun özellikle soğuk havalarda kolay çalışmasında kullanılan yakıtın uçuculuk özelliği çok etkilidir. Uçuculuk özelliğinin yüksek olması yanmanın daha verimli ve dumansız olmasını sağlamaktadır.

Düşük uçuculuk özelliğine sahip yakıtlar en iyi gücü temin edebilmek ve dumanı azaltmak amacıyla yüksek hızlı motorlar için uygundur [3].

### **2.1.9 Korozyon Etkisi**

Dizel yakıtında bulunan kükürt oranı hem korozyon hem de partikül oluşumunu artırıcı yönde etki ederek zararlı bir özellik olarak karsımıza çıkmaktadır. Özellikle düşük çalışma sıcaklıklarında motor parçalarında şiddetli korozyona sebep olmaktadır. Copper strip korozyon standart numarası +dizel olması gereken değeri.

Kükürt miktarı ASTM0 129' da ve IP 3362 ye göre motor hızına bağlı olarak yüksek hızlı motorlarda %1'in altında olmalıdır [3].

## **3. Biyokütle Enerjisi**

Biyokütle biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm organik maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütle enerjisi üretimi için kullanılacak başlıca kaynaklar, tarımsal ve hayvansal atıklar, organik içerikli evsel, kentsel ve endüstriyel atık/atık sular, biyolojik arıtma çamurları,

enerji bitkileri, klasik ormanlar, enerji ormanları, sucul ekosistemlerde yetişen alg ve yosun gibi canlılardır.

Ayrıca biyokütlenin oluştuğu alanları su şekilde özetlemek mümkündür.

Kültür bitkileri, çayır, mera ve enerji bitkilerinin yetiştirildiği tarımsal alanlar,

Klasik orman alanları ile enerji elde etmek amacıyla yetiştirilen ormanlık alanlar,

Bitki kalıntıları ve hayvan atıkları,

Belediyeye ait katı atıklar, biyolojik arıtma çamurları, endüstri atık ve artıkları,

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Canlı kütle ve dikili ürün deyimiyle es anlama gelen biyokütle, çoğu kez phytomass ve zoomass olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru kütledir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır [6].

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak karbonhidrat şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji oluşturan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO<sub>2</sub> emisyonu açısından korunmuş olacaktır. Görüldüğü gibi bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır [5].

Bitkilerin toprak altında milyonlarca yıl kalmasıyla oluşan fosil yakıtlar, biyokütle ile aynı özellikleri taşımalarına karşın yeraltındaki sıcaklık ve basınçla değişime uğradıklarından, yanmaları sonucunda atmosfere zararlı birçok madde açığa çıkarmaktadırlar. Ayrıca, bu yakıtların kısa süre içinde yakılması, havadaki karbon dioksit dengesinin bozulmasına yol açmaktadır ki, bunun sonucu olarak da tüm dünyayı tehdit eden çevresel bir sorun olarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Fosil yakıtların diğer zararları arasında asit yağmurları ile

ormanların yanı sıra canlı varlıkların ve hatta binaların dış yüzeylerinin bozulmasını da saymak mümkündür.

Enerji kaynakları arasında en çok bilinen ve ilk kullanılan odundur. Biyokütle enerjisi olarak odun, yetişmesi uzun yıllar alan ağaçların kesilmesi ile elde edildiğinden, ormanların yok olmasına ve büyük çevre felaketlerine yol açmaktadır. Günümüzde biyokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfa ayırmak olanaklıdır. Ağaç kesiminden elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit şekilde yakılması klasik biyokütle enerjisi olarak tanımlanırken, enerji bitkileri, enerji ormanları ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen biyodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır[6].

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Ayrıca, biyokütle içinde fosil yakıtlarda bulunan kanserojen maddeler ve kükürt olmadığı için, çevreye zararı son derece azdır. Bütün bunların ötesinde, bitki yetiştiriciliği, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır[6].

### **3.1 Türkiye’ de Biyokütle Kullanımı**

Türkiye’de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz, kömür gibi ithal ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele, ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır.[6].

Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye’nin enerji bütçesine bakıldığında, son on yıldır hemen hemen sabitleşmiş verilerle yılda 18 milyon ton odunun üretilip tüketildiği görülmektedir. Kesin istatistik veriler olmamakla birlikte hayvan ve bitki artığının üretim ve tüketimi son on yıldır 11 milyon tondan 6,6 milyon tona düşürülmüş bulunmaktadır. Söz konusu tüketim için ormanlar üretim kapasitesinin iki katı zorlanarak, önemli bir tarımsal girdi olan hayvan gübresi de yakılarak yok edilmektedir. Geçmişten bu yana süren klasik

biyokütle kullanımı, dünya ortalaması altında enerji tüketen Türkiye'nin enerji sektörünün yeterince gelişmediğinin ve yetersizliğinin bir başka kanıtıdır. 1997 yılı verilerine göre yerli enerji üretiminin %25,5'i odun ve tezekten sağlanmış, toplam birincil enerji tüketiminin ise %9,8'i odun ve tezekle karşılanmıştır [7].

Türkiye'de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerjisi üretimi Çizelge 3.1'de görülmektedir. Dikkat edilecek olursa 1999 yılında toplam biyokütle enerji üretiminin %0,07'si modern biyokütle üretimi olarak gerçekleşirken, bu oran 2030 yılında %60 olması öngörülmektedir.

Çizelge 3.1 Türkiye'de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerji üretimi (Btep) [7].

Yıllar	Klasik biyokütle	Modern biyokütle	Toplam
1999	7012	5	7017
2000	6965	17	6982
2010	5754	1660	7414
2020	4000	3520	7520
2030	3310	4895	8205

Günümüzde Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin %2-3'ü biyokütleden karşılanmakta olup, bazı AB ülkelerinde biyokütlenin payı %10-16 düzeyinde bulunmaktadır. Ancak, ilkel tezek kullanımı hiç yoktur. 2020 yılında modern biyokütle enerji üretiminin ABD'de 235-410 Mtep, Almanya'da 11-21 Mtep, Japonya'da 9-12 Mtep olması planlanmıştır. Buna rağmen, Türkiye için 2020 yılına kadar uzanan planlama ve projeksiyonlarında modern biyokütle ye hiç yer verilmemektedir [5].

## 3.2 Bitkisel Yağlar

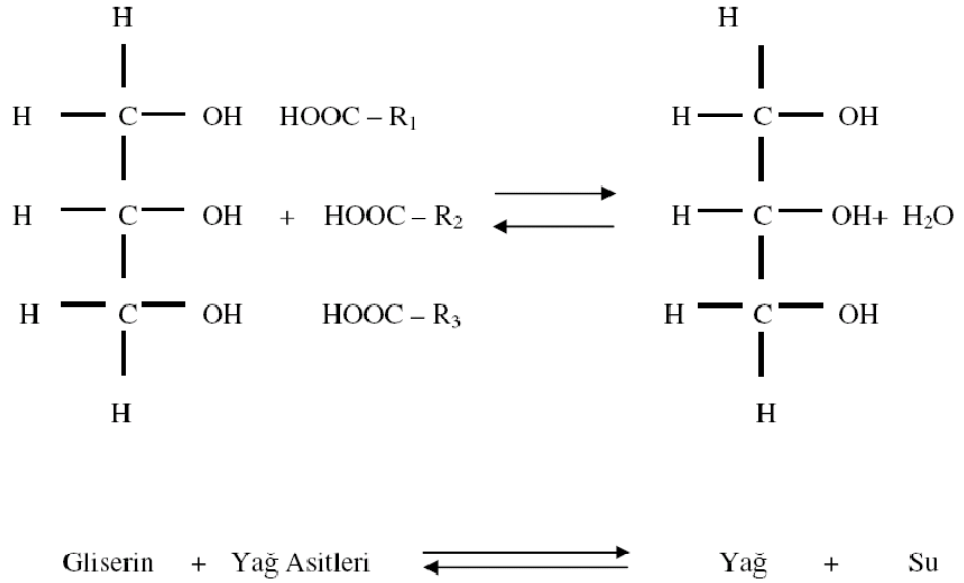
### 3.2.1 Bitkisel Yağların Yapısı

Yağlar organik bileşiklerin bir grubunu teşkil ederler. Karbonhidratlarda olduğu gibi yağların kimyasal yapılarına karbon, hidrojen, oksijen elementleri katılmaktadır. Katı ve sıvı yağlar, yağ asitleri ve gliserolün hakim olduğu triesterlerdir. Bu bileşikler suda çözünmediği halde pek çok organik çözücüde çözünürler ve sudan daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Normal oda sıcaklığında sıvıdan katıya kadar değişen bir erime aralığında bulunabilirler. Oda sıcaklığında katı formda iseler katı yağlar (fats), sıvı formda iseler sıvı yağlar (oils) olarak tanımlanırlar. Yağların katılık veya sıvılık durumu yağların fiziksel özelliğiyle ilgilidir [8].

Lipit terimi kimyasal maddelerin farklı gruplarını kapsamaktadır. Lipitler, trigliseritlere ilaveten mono ve digliseritler, fosfatidler, serebrosidler, steroller, terpenler, yağ alkoller, yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler (A, D, E ve K) ve diğer bazı bileşenleri de içeren bileşikler topluluğudur [3].

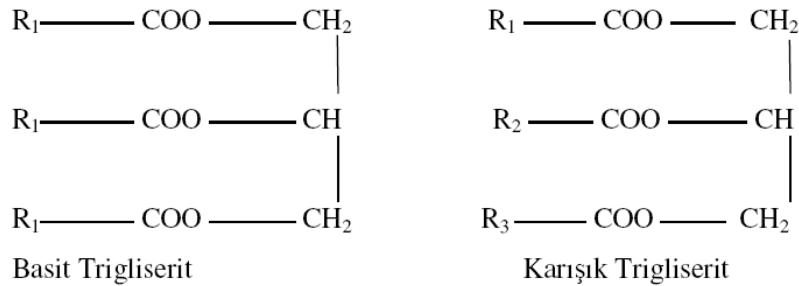
Lipitler, yüksek yağ asitlerini, bunların oluşturduğu doğal bileşikleri ve bunlarla kimyasal olarak bağlanan maddeleri kapsayan doğal bir madde grubudur. Suda çözünmezler. Ancak eter, benzen, kloroform gibi organik çözücülerde çözünürler. Yağ asitlerinin esteridirler veya esterleşebilirler. Canlı organizmalar tarafından kullanılabilirler. Lipitler önemli depo yakıt maddeleridir. Isıl değeri 9 kcal/g'dır. Karbonhidratlar için bu değer 4.5 kcal/g'dır [9].

Yağlar, yüksek moleküllü yağ asitlerinin, üç değerli alkol olan gliserinle meydana getirdikleri esterlerdir, yani trigliseritlerdir. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi Sekil 3.1'de görülmektedir.



Sekil 3.1 Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi

Trigliseritler normal yağların %95'lik kısmını oluşturmaktadırlar. %5'lik kısmı ise mono ve digliseritlerden oluşur. Bir trigliserit 3 yağ asiti ve gliserolden oluşmaktadır. Bu trigliseritteki yağ asitlerinin tamamı aynı ise basit trigliserit olarak adlandırılır. Ayrıca iki yada üç ayrı yağ asidinden oluşan trigliseritlere, karışık trigliserit denmektedir. Sekil 3.2'de basit ve karışık trigliseritin yapısı görülmektedir.



Sekil 3.2 Basit ve karışık trigliseritin yapısı

### 3.2.2 Bitkisel Yağların Isıl Değeri

Bitkisel yağların ısı değerleri, hidrokarbonlarının çift bağ sayısı ve zincir uzunluğuna da bağlıdır. Aralarındaki bağıntı; çift bağ sayısı arttıkça ısı değeri azalmakta, zincir uzunluğu arttıkça ısı değeri artmaktadır. Burada ısı değerinin artışı karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayılarına oranına bağlıdır [10].

Dizel yakıtının ısı değeri 39.500-45000 KJ/kg arasındadır. Bitkisel yağların ısı değerleri ise 37000-42000 KJ/kg civarındadır.

### 3.2.3 Bitkisel Yağların Viskozitesi

Bitkisel yağlarda viskozite, ısı değeri tersi olacak şekilde çift bağ sayısı arttıkça viskozite düşmektedir. Bununla birlikte zincir uzunluğu arttıkça viskozite artmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesi motor üzerinde oldukça önemli bir konudur. Çünkü bitkisel yağların viskoziteleri genelde yüksek olduğu için püskürtme ile birlikte iri tanecikler silindirin içine gönderilir. İri zerrecikler nedeni ile yakıtın parçalanması zorlaşır. Çünkü yüksek viskozite basınç artmasına ve yakıtın iyi atomize olamamasına neden olur. Benzer şekilde viskozitenin düşük olması kaçaklara sebep olmaktadır [3].

### 3.2.4 Bitkisel Yağların Setan Sayısı

Setan sayısı dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerinde etkilidir. Setan sayısının yüksek olması motorun daha sessiz çalışmasını sağlar. Dizel yakıtlarının setan sayısı 45-50 arasındadır.

Bitkisel yağların setan sayısı ASTM metodlarına göre 32-42 arasında değişmektedir. Yağlar modifiye teknikleri ile dizel yakıtına dönüştürülmesi sonucunda setan sayısı artmaktadır [3].

### 3.2.5 Bitkisel Yağların Yoğunluğu

Dizel yakıtının yoğunluğu 40 °C'de 0,851 kg/l dir. Soya yağının yoğunluğu ise 20°C'de 0,885 kg/l'dir. Genel olarak bitkisel yağ yoğunluğu 15 °C'de 0,910- 0,940 kg/l'dir. Bitkisel yağların yoğunluğu doymamış yağ asitleri ve molekül ağırlığı nedeni ile artmaktadır. Bitkisel yağların yoğunluğu esterleşme ile azaltılabilmektedir.

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, sahip oldukları yakıt özellikleri daha da önemlidir. yapılan bir çok araştırma sonucunda bitkisel yağların yakıt özellikleri belirlenmiş, dizel yakıtı ile mukayeseler yapılarak verilen sınır değerlere ne ölçüde uyum sağladıkları tespit edilmiştir.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında ön yanma odalı motorlar direk püskürtmeli

motorlara göre daha etkili olmaktadır. Bunun sebebi ön yanma odalı motorların yakıt kalitesine daha az bağımlı olmasıdır.

Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksektir. Yapılan çalışmaların büyük kısmı bu yüksek viskozitenin çeşitli yöntemlerle azaltılması yönünde olmaktadır.

Bitkisel yağların metil ve etil esterlerinin, hem ön yanma odalı hem de direk püskürtmeli motorlarda kullanılması daha uygun olmaktadır. Temiz ve nitelikli bitkisel yağların ısı değerleri dizel yakıtının ısı değerine yakındır.

Bitkisel yağlar dizel motorlarında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılmaya müsaittir. Motor test çalışma sonuçları arasında bazı ayrılıklar bulunmakla beraber, ester yakıtların motorine eşdeğer veya farklı motor karakteristikleri ve egzoz emisyonları gösterebilecekleri de belirtilmiştir. Ancak genel sonuç olarak bitkisel yağların çevre dostu ve mevcut en iyi motorin alternatifi olduğu seklindedir. Dizel yakıtına göre düşük karbon içerikli ester yakıtlar, kül oluşumunu azaltarak, % 0,005'den düşük kükürt içeriği ile SO<sub>2</sub> 'den kaynaklanan kirliliği hemen ortadan kaldırmakta, fotosentez çevrimi gereği sera etkisini azaltmakta, özellikle partikül emisyonlarında olmak üzere CO, HC, NO<sub>x</sub> emisyonlarında olumlu düşüslere neden olmaktadır. Ayrıca bitkisel yağlar zehirli olmayan ve doğada biyolojik olarak kolayca ayrışabilen maddelerdir [11].

### **3.3 Bitkisel Yağların Doğrudan Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı**

Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıt alternatifi olarak kullanımı üzerine yapılan kısa süreli testlerde, yağların iyi bir seçenek olduğu görülmüştür. Ham yağların herhangi bir işlem yapılmadan kullanılması ile çalıştırılan motorların yağlama yağlarında kısa bir süre sonra katı partiküller belirlenmiş ve yağ bozulmuştur. Motor kısa süreli bir çalışma sonucunda durdurulmak zorunda kalmıştır. Yakıtın alçak basınç borularının ısıtılması ile yanma odasındaki karbon birikiminde azalmalara neden olduğu görülmüştür. Doğrudan bitkisel yağların kullanımı ile yapılan çalışmalarda, bitkisel yağları ısıtmanın, püskürtme özelliklerini olumlu etkilediği ve setan sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak kısa süreli testlerde elde edilen olumlu sonuçlara karşın, uzun süreli motor testlerinde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Bu sorunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Enjektörlerde karbon birikintisi, delik çapında küçülme, püskürtme karakteristiğinde bozulma,



atomizasyon sorunu, enjeksiyon başlangıç ve bitiş sürelerinin belirsizliği, yağın yapışkanlaşma oluşturması.

Yağlama yağının, seyrelmesi, asitlik artışı, viskozite artması, bozunması, yanma artıkları, yanmamış yakıt karışması ile kirlenmesi, katı madde içeriğinin artışı, temas yüzeylerinde birikinti oluşturması.

Motorda aşınma, yanma odası, supap, piston ve manifoldda karbon birikimi, segman bölgesindeki karbon birikimi nedeni ile hareketliliğin azalması, segmanlarda yapışkanlaşma, vuruntu, ilk hareket zorlukları, yağ filtrelerinde tıkanma.

Motor karakteristik değerlerinde ve egzoz gazı bileşiminde olumsuz değişiklikler [12]

Araştırmalardan çıkan ortak sonuç; yüksek viskozitenin yanma ve malzeme sorunlarına, özellikle karbon birikimlerine ve yağlama yağı özellikleri değişimine neden olduğu (seyrelme, kalınlaşma, asitlik artışı vb.) seklindedir.

Yüksek viskoziteyi azaltmak için bitkisel yağlar ısıtılabilir. Isıtma işlemi ön ısıtma ve son ısıtma olarak yapılabilmektedir. Ön ısıtmada filtre girişinden önce motorun soğutma suyu (80 – 95 °C) veya ayrı bir ısıtıcı ile ısıtma yapılır. Bu, filtrelerin tıkanmasını azaltıcı bir etki göstermektedir. Ayrıca akıcılığı da artırıp viskoziteyi düşürür. Benzer şekilde, filtre çıkısında egzoz gazı (100 °C üzerinde) ile ısıtma yapılabilir [13].

Bahsedilen bu sorunların giderilmesi için sadece ısıtma tekniği yeterli olmamaktadır. Sorunların giderilmesi amacı ile bitkisel yağlarda çeşitli modifikasyon teknikleri kullanılarak özellikle bitkisel yağların viskozitelerinin düşürülmesi sağlanmıştır. Bu modifikasyon teknikleri ise, seyreltme, piroliz, mikro emülsiyon ve transesterifikasyondur.

### **3.3.1 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesinin Dezavantajları**

#### **3.3.1.1 Viskozite**

Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıtı olarak kullanımların olumsuz yönde etkileyen başlıca faktör yüksek viskoziteleridir. Bu değer dizel yakıtının yaklaşık 10 katı kadardır. Modern dizel motorlarının enjeksiyon sistemleri viskozite değişimlerine karşı hassasiyet gösterirler.. Yüksek viskozite yakıtının yanma odasındaki atomizasyonunu bozmakta, damlacık boyutundaki büyümeyle tam yanmayı önlemektedir. Tamamlanmayan yanma ise yanma

odasında birikmelere. Enjektörlerde koklaşma ve tıkanmalara ayrıca yağlama yağına bulaşmaya neden olmakla ve yağlama yağında kalınlaşma ile jelleşme görülmektedir.

### **3.3.1.2 Doymamış Yapı**

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında bir diğer sorun içerdikleri doymamış bağlardan kaynaklanır. Doymamış yapıların yağlama yağına karışması ve bu ortamda polimirezasyonu, motoru tahrip edecek viskozite artışlarına neden olmaktadır.

### **3.3.1.3 Katılaşma Eğilimi**

Ayrıca bitkisel yağların düşük sıcaklıklarda söz konusu olan katılaşma eğilimi de yakıt olarak kullanılmasında sorun yaratır. Bu durum dizel yakıtla karışım oluşturularak veya ön ısıtma ile giderilebilir.

## **3.3.2 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri**

Bitkisel yağlar doğrudan motor yakıtı olarak kullanılabilir. Ancak bu durum motorda çeşitli olumsuzluklara neden olmaktadır.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitesinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemler; seyreltme, mikroemülsiyon, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleri olmak üzere dörde ayrılmaktadır [14].

Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler Şekil 3.3'te şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.3 Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler

### 3.3.3 Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi

Bitkisel yağların enerji içerikleri, fosil kökenli dizel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak dizel yakıtına göre viskozite değerleri 10-20 kat daha fazladır. Bu yüksek viskozite; enjektörlerde tıkanma, soğuk havalarda motorun ilk çalıştırılmasında problem ve motor ömrünün kısalması gibi pek çok olumsuzluklara sebep olabilmektedir.

Bitkisel yağların motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesinde; motorun bitkisel yağa uygun hale getirilmesi yada, yakıtın motora uygun hale getirilmesi seçenekleri söz konusudur.

Direkt püskürtmeli dizel motorlarda, yarı rafine edilmiş yağlar, motorinle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Bitkisel yağların dizel motorlarda doğrudan kullanılabilmesi, ancak; bu amaç için tasarlanmış, türbülans prensibiyle çalışan, özel yanma odalı motorlarla mümkün olabilmektedir. Nitekim; Deutz firması tarafından geliştirilmiş olan ön yanma odalı püskürtmeli ve türbülans prensibiyle çalışan motorlarda, saf bitkisel motorlar, normal dizel motorlardan %6 daha fazla yakıt tüketmekle beraber güçlü ve güvenilir motorlardır. Girdap odacıklı tip ön yanma odalı dizel motorlarda ise yakıt tüketimi direkt püskürtmeli motorlara göre, %10 – 20 kadar daha yüksektir. Bu alandaki diğer bir seçenekte John Deere firmasına

ait, bitkisel yağlarında kapsamda olduğu çeşitli yakıtlarla çalışabilen wankel motorudur.

Bitkisel yağlar saf olarak, giderek yaygınlaşan direkt püskürtmeli motorlarda kullanılmamaktadır. Çünkü kısa bir çalışma süresini müteakip, yağ bozulmakta ve uzun sürede de motorun ilgili kısımlarında kalıntılar oluşmaktadır.

Direkt püskürtmeli motorlarda, bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanılmasında ana sorun; enjektörler, yanma odası, piston ve supaplarda meydana gelen kalıntılardır. Bu kalıntılar, zamanla motorda güç kaybına ve arızalara sebep olmaktadır. Kalıntıların oluşmasının ana sebebi, bitkisel yağın viskozitesinin ve karbon içeriğinin petrodizel ve bitkisel yağ esterine (biyodizel) göre yüksek olmasındadır. Petrodizelde % 0.15 olan karbon artığı miktarı kolza yağında %0.25 iken kolza biyodizelinde bu değer %0.02'ye kadar inmektedir. Yine kolza yağı, kimyasal işlemler sonucunda Kolza Yağ Metil Esterine dönüştürüldüğünde, viskozite yaklaşık 10 kat azalmaktadır.

Uygulamada direkt püskürtmeli motorların yaygın olduğu düşünülürse, bitkisel yağların gerekli kimyasal işlemler uygulanmadan, bu tip motorlarda yakıt olarak kullanılmasının uygun olmayacağı anlaşılır. Kolza biyodizelinin, yakıt olarak kullanıldığı tarım traktörü motorlarında yağlama yağının seyrelmesi sorunuyla karşılaşabilmektedir. Kolza biyodizelinin motor yağına geçmesi sonucunda, yağlama yetersiz hale gelmekte, piston üst yüzeyi, segman ve supaplarda sakızlaşma meydana gelmektedir. Bu durum kullanım süresi,, motor tipi, yanma odasının yapısı,püskürtme paterni ve zamanına bağlıdır. Biyodizelin neden olabileceği seyrelme sorununu, motor yağı değiştirme aralığı 250 saatten 150 saatte indirilerek aşılabilmektedir.

Bu nedenle; bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir.

Bu amaçla uygulanan yöntemler:

- Seyreltme,
- Mikroemülsiyon oluşturma,
- Piroliz,
- Süper kritik yöntem ve
- Transesterifikasyon'dur

Seyreltme yönteminde, bitkisel yağlar dizel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak seyreltilmekte, böylece viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi

uygulamalarında, en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kanola yağı, yer fıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlar gösterilebilir.

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi; bitkisel yağın mikroemülsiyon haline getirilmesinden ibarettir. Bu yöntemin sakıncası alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonunda setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda kaşımın ayrışma eğilim göstermesidir.

Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha düşük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte, fakat işlemler ilave masraf gerektirmektedir.

Süper Kriter Yönteminde işlem, transesterifikasyon yönteminden farklı olarak katalizör kullanmadan 350 °C gibi yüksek sıcaklıklarda, 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir.

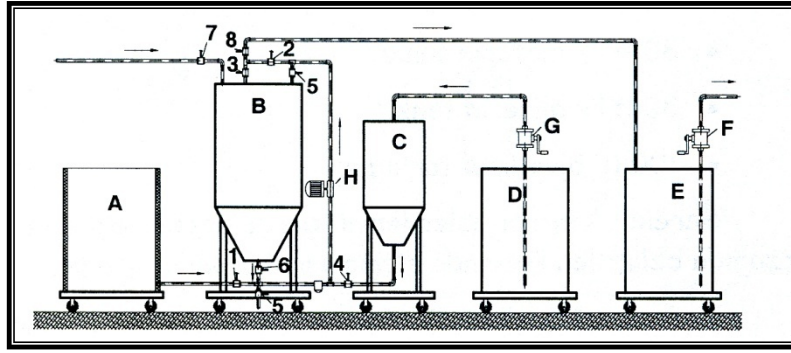
Transesterifikasyon yöntemi ise, bitkisel yağların bir katalizör vasıtasıyla alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada hâlihazırda en etkili yöntemdir.

### **3.4 Yakıt Üreteçleri**

Biyodizel üretmek için oluşturulan tesisi üretim kapasitesi ve üretim şekline göre üçe ayırmak mümkündür. Bunlar küçük (Ev tipi), orta (Köy-Kooperatif tipi) ve büyük (Sanayi tipi) biyodizel üretim tesisidir.

#### **3.4.1 Ev Tipi Biyodizel Üreteci**

Günümüzde biyodizelle ilgili olarak en çok tartışılan konular, bitkisel yemeklik yağ açığı dolayısıyla hammadde yetersizliği ve maliyettir. Maliyeti düşürebilmek ve yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırabilmek için çiftçinin kendi imkanları ile biyodizel üretebilmesi önemlidir. Aile işletmesi ölçeğinde pres ve biyodizel üretim vasıtalarının ortaya konması bu bakımdan önemlidir. Bir önceki bölümde söylendiği gibi tohumlardan yağ eldesi için küçük kapasiteli, vidalı presler amaca hizmet etmektedir. Buradan elde edilen yağdan, yakıt (biyodizel) eldesi için basitten gelişmişe birçok düzenek vardır. Bu düzenek, elektrik motoru tahrikli bir karıştırıcının ilave edildiği ve tabanı konik hale getirilmiş evde bulunabilen eski bir varilden ibarettir. Böyle bir düzeneğin maliyeti 50-500 \$ arasındadır.



Şekil 3.4 Ev tipi biyodizel üretici [15].

A. Ham yağ tankı B. Ana Reaktör C. Metoksit tankı

D. Metanol tankı E. Biyodizel tankı F, G ve H. Pompa

### 3.4.2 Köy Ölçeğinde (Orta Ölçekte) Biyodizel Üretim Tesisi

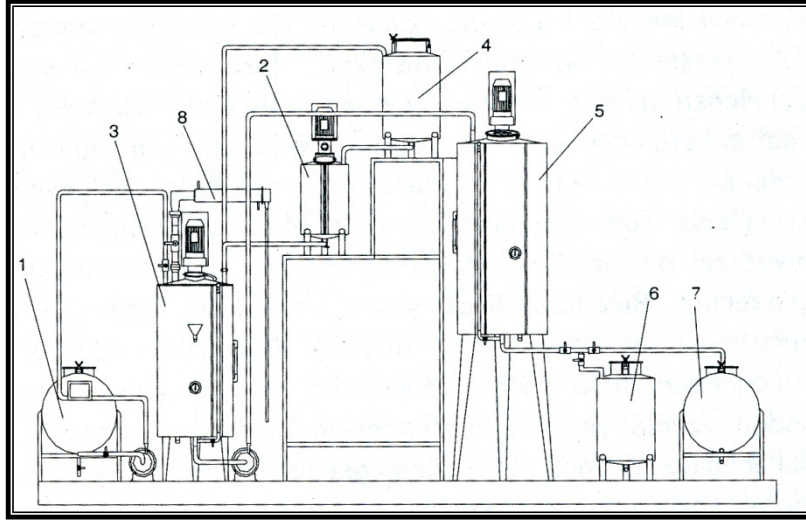
Tesis saatte 100 Litre biyodizel üretilebilecek kapasitede tasarlanmıştır. Tesis aşağıda belirtilen yedi ana tanktan oluşmaktadır. Bunlar;

- 100 litre kapasiteli ham yağ depolama tankı,
- 100 litre kapasiteli reaktör,
- 150 litre'lik yıkama tankı,
- 50 litre'lik metoksit tankı,
- 30 litre'lik metanol tankı,
- 30 litre'lik gliserin tankı,
- 100 litre biyodizel tankıdır.

Gerekli kontrol işlemlerini gerçekleştirmek içinde aşağıda belirtilen kumanda elemanları kullanılmaktadır.

- 3 adet 1 fazlı asenkron motor (mikseri çalıştırmak için)
- 2 adet 1 fazlı asenkron motor (ürün pompalamak için)
- 3 adet ısıtıcı (ön ısıtma, metoksitin ısıtılması, yıkama tankı)
- 2 adet termometre (reaktör ve yıkama tankı sıcaklık ölçümünde)
- 2 adet termostat (reaktör ve yıkama tankı sıcaklığını kontrol etmek için)

Tesis yukarıda bahsedilen ana elemanlardan ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Yapılan tesisin genel görüşünü Şekil 3.5'de verilmiştir



1. Ham yağ tankı 2. Metoksit tankı 3. Reaktör

4. Metanol tankı 5. Yıkama tankı 6. Gliserin tankı

7. Biyodizel tankı 8. Eşanjör

Şekil 3.5 Çiftçi ölçeğinde bir biyodizel tesisinin şematik görünüşü [15].

Böyle bir tesiste üretim işlemi şöyle yapılır:

Kullanılmış atık kızartma yağ kullanılacaksa titrasyon işlemi yapılır, yeni yağ kullanılacaksa, bu işleme gerek kalmaz. Belirlenen miktardaki ham yağ alınarak reaktöre pompa vasıtası ile gönderilir ve reaktör çalıştırılır. Yağ reaksiyon sıcaklığına ulaştığı zaman Metanol metoksit tankına gönderilir ve katalizör madde ile karışması sağlanır. Metoksit tankındaki karışım belirlenen oranda reaktöre gönderilir. Reaktör yaklaşık 1 saat çalıştırdıktan sonra içerisindeki karışım dinlendirme tankına sev edilir. Dinlendirme tankında bekleyen karışımın faz meydana gelerek altta gliserin tankına sevk edilir. Dinlendirme tankında bekleyen karışımın faz meydana gelerek altta gliserin üstte biyodizel birikir. Gliserin alttan alınarak gliserin tankına gönderilir. Biyodizel önce yıkama işlemine daha sonra kurutma işlemine tabi tutulur. Biyodizel motorda kullanımdan önce filtre edilmelidir. Üretim prosesi ne kadar özenle yapılmış olursa olsun biyodizelin motorda kullanılmadan önce filtreden geçirilmemesi kullanımda ciddi sorunları da beraberinde getirecektir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; filtre edilmeyen biyodizelin yakıt özellikleri istenen standart değerlerin bir çoğunu yerine getiremezken aynı biyodizel filtre edildikten sonra, standart değerlere ulaşılmaktadır. Bu amaçla standart olarak 100.50 ve 5 mikrometrik filtreler kullanılabilir.

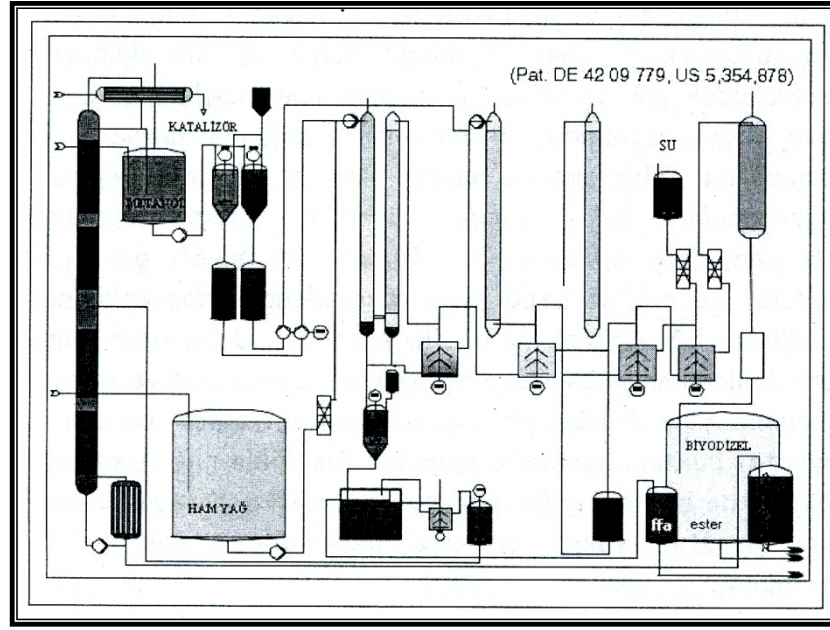
Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorunla karşılaşmaz. Biyodizel soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en az 1 yıl süreyle depolanabilir. Depolama için petro-dizelin depolandığı tanklar ve ortamlar kullanılabilir. Uzun süreli depolanmış biyodizelin, kullanımından önce pH'ı test edilmeli ve pH'nın 7-10'un sınırları arasında olmasına dikkat edilmelidir. Yine aynı şekilde uzun süre beklemiş biyodizelin kullanımından önce özgül ağırlığının 0.9'u aşp aşmadığı belirlenmelidir. Biyodizel tankları mümkünse tamamen dolu tutulmalıdır. Bunu yapmaktaki amaç, biyodizel ile havanın temasını en aza indirmektir. Eğer biyodizel nemli ve ılık iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi ilave etmek gereklidir. Biosit olarak adlandırılan ve sıvı fırında bir zehir olan bu madde, depo içerisindeki mikro organizmaları yok etmede kullanılır. Yakıt tankının içerisine ilave edilecek biosit miktarı 50-60 gr dır. Dökülen bu miktar depo 3 defa boşalana kadar etkisini sürdürür. Eğer dizel motor iki haftadan daha uzun bir süre kullanılmayacak ise depo yakıtla doldurulur ve depo içerisine yine 50-60 gr biosit veya biyostat konulur. Biyostat bakteri gelişimini mümkün mertebe engellemek için biyostat yakıt içerisine periyodik olarak ilave edilmelidir.

Küçük ölçekli düzeneklerde biyodizel 2 saatlik bir çalışma süresinde elde edilebilir. Bununun 30 dakikası hazırlık, 1 saati karıştırma ve 30 dakikası temizliktir.

### **3.4.3 Sanayi Tipi Ticari Amaçlı Biyodizel Üretimi**

Günümüzde biyodizel atık ticari olarak üretilmektedir. Bu nedenle bu amaca hizmet eden kompakt tesisler geliştirilmiştir. Doğal olarak bu tesislerin kapasiteleri saatlik, 200-1000 litre arasında değişebilmektedir. Böyle bir tesisin şematik görüşünü Şekil 3.6'de verilmiştir.





Şekil 3.6 Ticari amaçlı biyodizel üretim projesi[16].

Biyodizel üretim tesislerinde kullanılacak, reaktör hacmi şöyle hesaplanabilir:

$$V = \frac{V_t}{f} \quad V = \frac{V_t}{f}$$

V : Reaktör hacmi, m<sup>3</sup>

V<sub>t</sub> : Reaksiyon hacmi, m<sup>3</sup>/min

F : Dolma katsayısı /0.5)

Reaktörün hacmi belirlendikten sonra, çapı ve yüksekliği de belirlenebilir. Reaktörün yüksekliği, çapının 3 katı kadar olmalıdır.

Proseste gerek metil alkolün geri kazanılması, gerekse biyodizelin ve gliserinin saflaştırılmasında kolonlar kullanılır. Baz katalizörün kullanıldığı proseste kolonların sayısı genelde 5 adettir. Kolon çapı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$D_c = \sqrt{\frac{4V_w}{\pi\rho_v U_v}}$$

D<sub>c</sub> : Kolon çapı, m

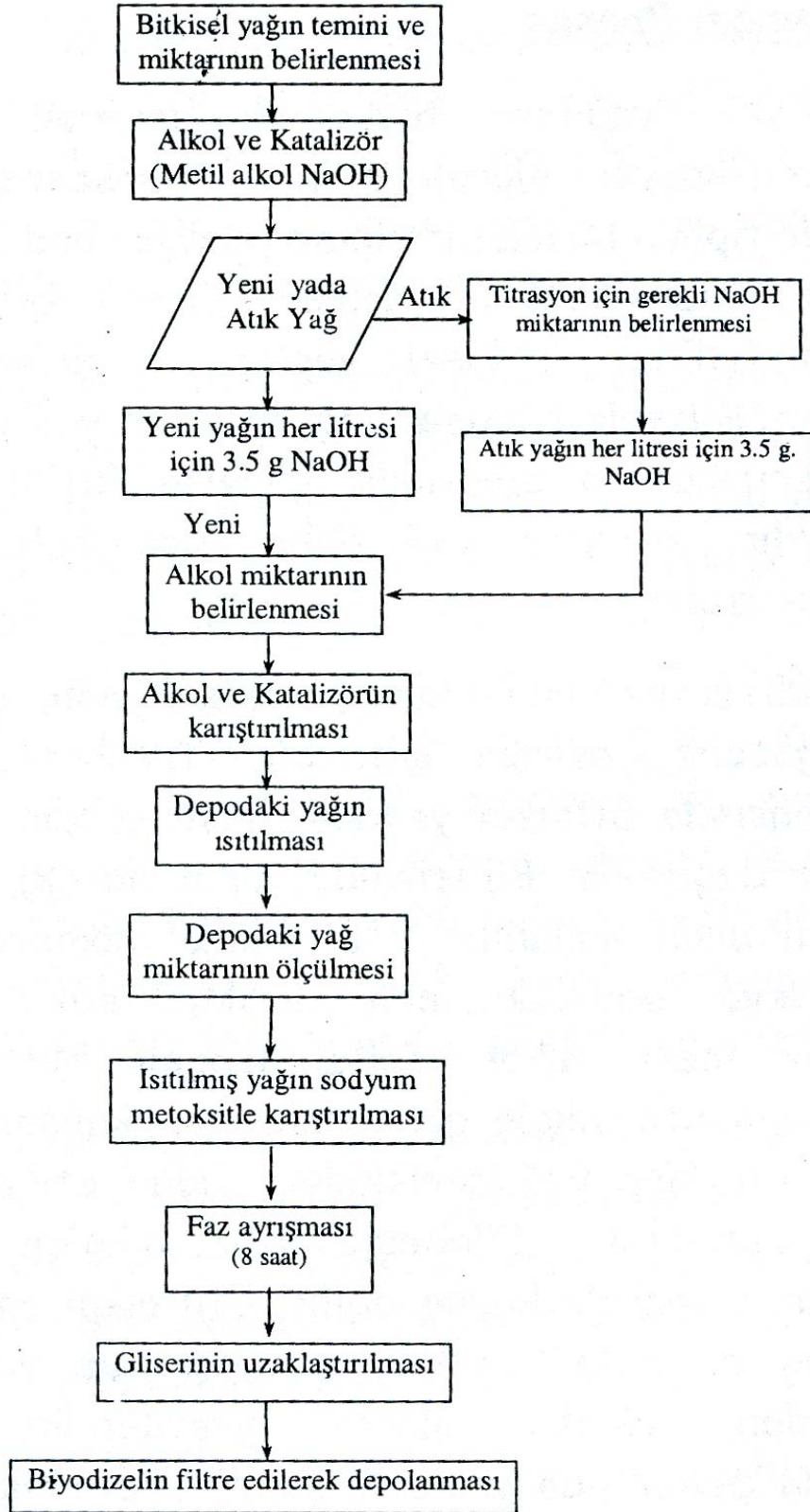
V<sub>w</sub> : Maksimum buhar miktarı , kg/s

p<sub>v</sub> : Buhar yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup>

U<sub>v</sub> : Müsaade edilen buhar hızı, m/s

Reaktörde biyodizel üretimini müteakip, biyodizelin ve gliserinin saflaştırılması gerekmektedir. Katalizör olarak NaOH kullanımında nötralizasyon tankında fosforik asit ilave edilerek, katalizör madde uzaklaştırılır. Bu işlem sonucunda  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  oluşur. Şayet katalizör madde olarak KOH kullanılmışsa Potasyum fosfat oluşur ki bu ekonomik değeri olan bir çeşit gübredir.

Biyodizelin saflaştırılması ve kurutulması işlemleri de son derece önemlidir. Biyodizelin kalitesi üzerine esas etki eden bu işlemlerdir. Yıkama işlemi için kullanılacak suyun niteliği, sıcaklığı, yıkama sayısı ve basıncı önemlidir. Yıkama ve kurutma işlemi biyodizelin kalitesi yanında, tesisin verimini doğrudan etkilemektedir.



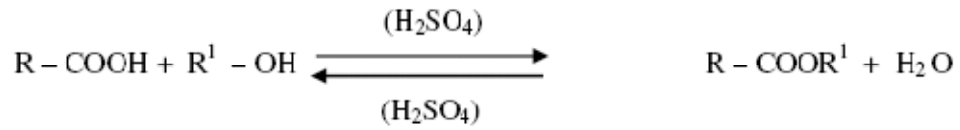
Şekil 3.7 Biyodizelin üretim akış şeması [17].

### 3.5 Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılması

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol ve katalizörle gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Karboksilik asitler, asit katalizli bir reaksiyonla alkollerle ester verirler. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di-gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşmaktadır [18].

Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Örneğin; Hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde ham Hint yağının viskozitesinin 100 F'da 1100 Redwood-saniye iken, işlem sonrası aynı sıcaklıkta 74 Redwood-saniyeye düştüğü belirlenmiştir [11].

Transesterifikasyon tepkimesi aşağıdaki reaksiyon denkleminde uygun olarak gerçekleşmektedir.



Sekil 3.8 Transesterifikasyon tepkimesi

Soldan sağa olan yön esterleşme sağdan sola olan yön ise ester hidrolizidir. Ester reaksiyonlarında eğer reaksiyona giren miktarlar eşdeğer olarak alınırsa, reaksiyon dengeye eristiğinde ortamda miktar olarak çok fazla karboksilim asit, alkol, ester ve su bulunur. Bu tip reaksiyonlarda ester verimini arttırmak için meydana gelen su ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bunun için katalist olarak kullanılan sülfürik asit fazla miktarda alınarak su çekme özelliğinden faydalanılmaktadır. Ayrıca diğer yöntem olarak alkoller fiyatları düşük olanlardan tercih edilerek fazla miktarda alınmak sureti ile ester verimi arttırılabilmektedir [3].

Çizelge 3.2' da bazı yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri verilmiştir. Çizelge 3.2 irdelendiğinde yağların metil esterlerinin dizel yakıtının özelliklerine yaklaştığı ve esterlerin yakıt özellikleri açısından dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabileceği görülmektedir.

Çizelge 3.2 Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri

Bitkisel yağlar	Viskozite [mm <sup>2</sup> /s]	Setan sayısı	Isıl değeri [kJ/kg]	Dumanlanma noktası [°C]	Alevlenme noktası [°C]	Yoğunluk [kg/l]	Karbon artıkları [% Ağırlık]	Kükürt [%Ağırlık]	Akma noktası [°C]
Hint yağı	29,7	?	37274	-	260	0,9537	0,22	0,01	-31,7
Mısır yağı	34,9	37,6	39500	-1,1	277	0,9095	0,24	0,01	-40,0
Pamuk yağı	33,5	41,8	39468	1,7	234	0,9148	0,24	0,01	-15,0
Bezir yağı	27,2	34,6	39307	1,7	241	0,9236	0,22	0,01	-15,0
Yer fıstığı yağı	39,2	41,8	39782	12,8	271	0,9026	0,24	0,01	-6,7
Kolza	37,0	37,6	39709	-3,9	246	0,9115	0,30	0,01	-31,7
Aspir	31,3	41,3	39519	18,3	260	0,9144	0,25	0,01	-6,7
Susam yağı	35,5	40,2	39349	-3,9	260	0,9133	0,25	0,01	-9,4
Soya yağı	32,6	37,9	39623	-3,9	254	0,9138	0,27	0,01	-12,2

Ayçiçek yağı	33,9	37,1	39575	7,2	274	0,9161	0,23	0,01	-15,0
2 Nolu dizel	2,7	47	45343	-15,0	52	0,8400	<0,35	<0,01	-33,0

### 3.6 Biyodizel

#### 3.6.1 Biyodizelin Tanımı

Biyodizel kavramı, Rudolf Diesel' in 1895' de dizel motorda ilk olarak fındık yağını yakıt olarak kullanmasına kadar dayanmaktadır [11].

Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kurululu tarafından telaffuz edilmiştir. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanmaktadır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda kullanılabilir [19].

Biyodizel; bitkisel (Kanola, soya, fındık, ayçiçeği, pamuk, mısır v.b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör esliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır.

#### 3.6.2 Biyodizelin Özellikleri

Biyodizelin alevlenme noktası, dizel yakıttan daha yüksektir (>110 °C). Bu özellik biyodizelin kullanım, tasınım ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt olmasını sağlar.

Biyodizel, petrol kaynaklı dizel yakıtı ile her oranda tam olarak karıştırılabilir ve bu özellik, petrol kaynaklı dizel yakıtının kalitesini yükseltmektedir. Yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini azaltır, motordaki yağlanma derecesini artırır ve motor gücünü azaltan birikintileri çözer. Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizel yakıttan ayıkmaktadır [20].

Motorlu taşıtlarda kullanılan dizel yakıtın 40 veya daha yüksek setan sayısına sahip olması gerekir. Dizel yakıtında yüksek setan sayısı yüksek maliyeti beraberinde getirir, bu yüzden çoğu rafineri dizel yakıtının setan sayısını 40 ile 45 arasında tutar.

Çizelge 3.3'de çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları görülmektedir. Biyodizelin setan sayısı, kullanılan bitkisel yağlara bağlı olarak 46-60 arasındadır. Hayvansal yağlar ve restoranlardan alınan kızarmış yağlar gibi doymuş yağlardan elde edilen biyodizelin setan sayısı, soya yağı gibi az doymuş yağlardan yapılan biyodizelin setan sayısından daha yüksektir [21].

Dizel yakıtının silindire püskürtülmesi ile ilk alev çekirdeğinin oluşması arasındaki tutuşma gecikmesi olarak tarif edilen zaman, yüksek setan sayısına sahip yakıtlarda daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtının setan sayısından daha yüksek olduğu için tutuşma gecikmesi daha da kısalmakta ve motor daha az vuruntulu çalışmaktadır. [22]

Çizelge 3.3 Çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları

	Isıl değer [MJ/kg]	Setan sayısı
Soya yağı metil esteri	39,8	46,2
Soya yağı etil esteri	40,0	48,2
Soya yağı butil esteri	40,7	51,7
Ayçiçek yağı metil esteri	39,8	47,0
Yer fıstığı metil esteri	-	54,0
Kanola yağı metil esteri	40,1	-
Kanola yağı etil esteri	41,4	-

Dizel No. 2	45,3	47,0
-------------	------	------

Biyodizel, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. 1996 yılı öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi, biyodizel ile uyumlu kullanılamamıştır. Çünkü biyodizel, doğal kauçuktan yapılan hortum ve contaları tahrip etmiştir. Ancak, bu problemler B20 (%20 biyodizel - %80 dizel) ve daha düşük oranlı biyodizel/dizel karışımlarında görülmemektedir. Bununla birlikte, biyodizelin çözücü özelliği nedeniyle dizel yakıtının depolanmasından kaynaklanan yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları, tortuları çözdüğü için filtrelerin tıkanmamasına yönelik önlemler alınmalıdır.

Çizelge 3.4’de dizel yakıtı ile biyodizelin yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge 3.4 incelendiğinde her iki yakıt arasında büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir [14].

Çizelge 3.4 Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri [14]

Yakıt özellikleri	Birim	Sınır değeri Min-Max	Biyodizel	Dizel
Kapalı formül			C <sub>19</sub> H <sub>35,2</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>12,226</sub> H <sub>23,29</sub> S <sub>0,0575</sub>
Molekül ağırlığı	g/mol		296	120–320
Alt ısııl değeri	MJ/kg		37,1	42,7
Kütlesel Hacimsel	MJ/L		32,6	35,5
Özgül ağırlığı 15°C	kg/L	0,875–0,900	0,87–0,88	0,82–0,86
Kinematik viskozite	mm <sup>2</sup> /s	2–4,5	4,3	2,5–3,5



[40°C]				
Tutuşma noktası	°C	55 - ...	00 >1	>55
Kükürt içeriği	% Kütlesel	... — 0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma katsayısı	Setan	49 - ...	>55	49-55
Kül	% Kütlesel	... - 0,01	<0,01	<0,01
Su miktarı	mg/kg	... - 200	<300	<200

### 3.7 Biyodizel Standartları

Biyodizelin için geliştirilmiş ülke standartları Çizelge 3.5’de görölmektedir. Ülkemizde EN 14214 Avrupa Standardı ile biyodizel üretimi yapılmaktadır. Biyodizel saf ve biyodizel/dizel yakıt karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel yakıtı

B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel yakıtı

B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel yakıtı

B100 : %100 Biyodizel

Çizelge 3.5 Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları [5]

Özellikler	Avrupa	Avusturya	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart	EN 14214	ONC 1191	Journal Office	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM D-6751

Tarih	2003	Tem.97	Eyl.97	Eyl.97	Kas.96	Kas.96	Oca.02
Uygulama	YAME	YAME	,BYME	YAME	BYME	BYME	YAMAE
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	0,86-0,90	0,85-0,89	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	0,87-0,90	-
Viskozite, mm <sup>2</sup> /s 40 °C	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Distilasyon, °C % 95,	-	-	≤ 360	-	≤ 360	-	360
Alevlenme Noktası, °C	≥ 120	≥ 100	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100	≥ 130
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C	Ülkesel Özellik	0/-15	-	0/-10/- 20	-	-5	-
Akma Noktası, °C	-	-	≤ -10	-	≤ 0 ≤ - 15	-	-
Bakır Korozyon, 3h, 50 °C	1	-	-	1	-	-	≤ No,3
Setan Sayısı	≥ 51	≥ 49	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 47
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,8
Alkalite, mg/kg	-	-	≤ 5	≤ 5	-	≤ 10	-
Iyod Sayısı	≤ 120	≤ 120	≤ 115	≤ 115	-	≤ 125	-
Su, mg/kg	≤ 500	-	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ 300	≤ 0,05%
Fosfor, mg/kg	≤ 10	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	< 0,001

Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg	≤24	-	-	≤20	-	≤20	-
Kükürt, Ağırlık %’si	≤10 [mg/kg]	≤0,02	-	≤0,01	≤0,01	≤0,001	≤0,05
C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %’si	-	≤15	-	-	-	-	-
Okside Kül, Ağırlık %’si	-	-	-	-	≤0,01	≤0,01	-
Sülfate Kül, Ağırlık %’si	≤0,02	≤0,02	-	≤0,03	-	-	≤0,02
Metanol, Ağırlık %’si	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Linoleik Asit Ağırlık %’si	≤12						
Monogliseritler, Ağırlık %’si	≤0,8	-	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Diğliseritler, Ağırlık %’si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,2	≤0,1	-
Trigliserit, Ağırlık %’si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,1	≤0,1	-
Serbest Gliserin, Ağırlık %’si	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,05	≤0,02	≤0,02

Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,24	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,24
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	-	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Gp I Metaller [Na,K], mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Gp II Metaller [Ca, Mg] mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Oksidasyon Kararlılığı, h ,110 °C	Minimum 6 saat	-	-	-	-	-	-

YAME: Yağ Asidi Metil Esteri

YAMAE: Yağ Asidi Mono Alkil Esteri

BYME: Bitkisel Yağ Metil Esteri

#### 4. Biyodizelin egzoz emisyonları ve motor performansı üzerine etkisi

Bitkisel ve atık kızartma yağlarının ve yağ esterlerinin dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı dünyada birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Bitkisel yağların ve atık kızartma yağlarının direk olarak, seyreltme tekniği kullanılarak ve esterleşme reaksiyonları ile yakıt üretilerek dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanakları ile ilgili yapılan araştırmalardan bazıları sıra ile aşağıda verilmiştir.

Al-Vidyan tarafından yapılan çalışmada, restoranlardan toplanan atık palmiye yağları transesterifikasyon yöntemiyle etil alkol esterine dönüştürülmüş ve dizel yakıtıyla çeşitli oranlarda karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorunda test edilmiştir. Elde edilen karışımlar, %100 dizel yakıtına göre daha iyi bir yakıt ekonomisine ve daha düşük CO, HC emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak %100 ester ve 75:25 ester/dizel [25D] karışımlarıyla en iyi performans değerleri elde edilmiştir. Egzoz emisyonları göz önüne

alınmadığında ise en iyi performans değerine 50:50 ester/dizel karışımıyla ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında bitkisel yağların alternatif bir dizel yakıtı olduğu vurgulanmıştır. [23]

Gomez ve arkadaşları (2000) kullanılmış kızartma yağı metil esterini doğal emişli, bölünmüş yanma odalı dizel motorunda kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan metil ester CO, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> ve is emisyonlarında düşüşe neden olurken, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve NO emisyonlarında motorine göre artış gözlenmiştir.[24]

Leung (2001) çalışmasında restoranların atık kızartma ve hayvansal yağlarından elde edilmiş biodiesel yakıtını motorin ile üç farklı karışım oranında karıştırarak dizel motorunda kullanmıştır. Çalışmada %15 oranında biodiesel içeren karışımın motorun performansını etkilemediği gözlenmiştir. Kirleticilerde % 1,5 ile %44 oranında azalma gözlenirken artan motor hızlarında NO emisyonlarında %16 artış gözlenmiştir.[25]

Ulusoy ve arkadaşları (2004) kullanılmış kızartma yağından elde edilmiş biodiesel yakıtını %100 oranında 4 silindirli, 4 stroklu dizel motorunda yakıt olarak kullanmış ve bu yakıtın performans ve egzoz emisyonu değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan biodiesel yakıtı ile CO, HC ve partikül emisyonlarında sırasıyla % 8,59, %30,66 ve %63,33 azalma gözlenirken, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında sırasıyla % 2,62 ve % 5,03 artış gözlenmiştir. Diğer taraftan performans yönünden karşılaştırıldığında dizel yakıtına göre teker kuvvetinde %3,35 ve teker gücünde %2,03 azalma gözlenmiştir.[26]

Çetinkaya ve arkadaşları (2005) düşük hammadde maliyetli kızartma yağından üretilmiş biodiesel yakıtını %100 oranında 4 silindirli, 4 stroklu ve direkt püskürtmeli bir dizel motor ile tahrik edilmiş taşıtta yakıt olarak kullanmışlardır. Çalışmada motor gücünde ve torkunda bir miktar düşüş gözlenmiştir. Ayrıca aynı çalışmada soğuk ortam şartında biodiesel yakıtının motorine benzer şekilde enjektörlerde karbon birikmesine neden olduğu gözlenmiştir.[27]

Sims ve arkadaşlarının, Yeni Zelanda' da yaptığı çalışma bitkisel yağların, özelliklede kanola yağının dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini göstermiştir. Kısa süreli motor testlerinde %50 bitkisel yağ karışımının motora olumsuz bir etki yapmadığını fakat uzun süreli motor testlerinde enjektörlerde ve ilk çalışmada bazı problemlerin ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Yanma odalarındaki karbon birikintilerinin %100 dizel yakıtı kullanılan motorlardakiyle yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda kanola yağının dizel yakıtına önemli bir alternatif bir yakıt olduğunu fakat daha fazla ve geliştirmeye yönelik

testlerin yapılması gerektiğini belirlemişlerdir.[3]

Bitkisel yağlarla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, dizel motorlarında hiç bir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağlarla dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ile alt ısı değeri arasında fazla fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtınınkinden yaklaşık 10–20 kat daha fazladır. Bitkisel yağların avantajı motorlarda minimum değişiklik ile kullanılabilmesidir. Bu yakıtlarının az dizel yakıtı kadar güvenilir olduğu ve dizel yakıtının yerini alacağı tahmin edilmektedir.[28]

Bitkisel yağlarla ilgili yapılan birçok araştırmada, yanma odasında özellikle enjektör memesinde karbon birikimi olduğu gözlenmiştir. Yakıt atomizasyonunun azalması sonucu, yanma veriminin düşmesi, yağlama yağının katılması, piston segman yapışması gibi problemlerin de ortaya çıktığı ve bu durumlara karşı yeni tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bunun için de farklı deneylerin yapılması tavsiye edilmiştir.[29]

Vellguth tarafından, düz yanma odalı dizel motorlarında bitkisel yağ ve esterleri dizel yakıtı olarak kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda kısa ve uzun süreli yakıt kullanımında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Uzun süreli çalışmalarda motor elemanlarında çeşitli arızalar olduğu belirlenmiştir. Deneyde, kolza yağ esterleri kullanıldığında motor piston yüzey partiküllerinin, rafine edilmiş kolza yağı kullanımına göre daha temiz olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak kolza yağ esterinin dizel motorlarında kısa süreli kullanılmasına karşın, uzun süreli kullanıldığında bazı problemler meydana geldiği tespit edilmiştir.[30]

Işığığür, deneme amaçlı aspir bitkisi yetiştirmiş, bu bitkiden elde edilen yağın viskozitesinin seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleriyle düşürülerek alternatif dizel yakıtı olabileceği belirtilmiştir. Motor denemesi yapılarak emisyon değerleri çıkarılmıştır. Motor denemeleri sonucu, motor karakteristik eğrilerinin dizel yakıtına yakın değerlerde çıkmasına karşın emisyon değerlerinde düşme olduğunu belirtmiştir.[31]

Çelik ve Cerrahoğlu, çalışmalarında, motorin ve ayçiçek yağının belirli oranlarda karıştırılarak dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında tek silindri dört zamanlı, direk püskürtmeli bir dizel motoru kullanmışlardır. Denemelerde %20, %40, %80 ayçiçeği-motorin karışımları kullanılmış, bütün denemeler 1400 d/d da yapılmıştır. %100 motorin çalışması da 1400d/d da yapılmıştır, araştırmacılara göre motor devir sayısı belirli oranlarda yağ ilave edilmesi ile bir miktar azalmaktadır. Bu azalma; 1400

d/d da motorun yüksüz çalışmasında 10- 25 d/d arasında gerçekleşmiştir. Yakıt tüketim miktarı da %100 motorine göre daha fazla olmuştur.[32]

Poliçe, bitkisel yağların motor aksamı üzerinde hiçbir değişiklik yapılmaksızın dizel yakıtları ile karşılaştırılabilir derecede önemli performanslar gösterebildiğini belirtmiştir. Bununla beraber uzun süreli kullanımlar sonunda, sert karbon birikintileri, enjektör memesi tıkanmaları ve segman yapışması olduğunu da açıklamıştır. Yağların metil, etil ve bütil esterlerinin kullanılması ile bu etkilerin azalacağını belirtmiştir. Bu yakıtların formülünde oksijen varlığı ve üretimindeki sülfür yokluğundan dolayı ester kullanımının ümit verici olduğunu vurgulamıştır.[33]

Erdoğan ve Onurbaş, küçük bir dizel motorunda bazı bitkisel yağların yakıt olarak kullanılma olanaklarını incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; %25, %50, %75 oranında bitkisel yağ karışımı [ayçiçeği, pamuk, mısır özü yağları] ile motorin karışımını ve %100 bitkisel yağ karışımını yakıt olarak kullanmışlardır. Araştırmacılara göre tüm yakıtlarda, ilk hareket zorluğu görülmemiştir. Püskürtme pompasında bir değişiklik yapılmamış ve motorlarda güç düşüklüğü görülmüştür. Karışımların özgül yakıt tüketimi, normal dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Tüm yakıtların kullanımında motor düzgün çalışmıştır. %100 yağ karışımı ile yapılan deneylerde düşük devirlerde daha sık devir sayısı değişimi, soğutma ve yağlama sistemlerinde yetersizlikler saptanmıştır.[32]

Karaosmanoğlu ve arkadaşları yaptıkları araştırmalarında, bitkisel yağların transesterifikasyon reaksiyonu neticesinde elde edilen yakıtları biyomotorin olarak adlandırmışlar, bu biyomotorinin çeşitli ülkelerdeki uygulamaları konusunda bilgi vermişlerdir. Türkiye' de her tür yağlı tohum ziraatının mümkün olduğunu, mevcut teknolojiler ile biyomotorin üretiminin yapılabileceğini ve uygulamaya geçilebileceğini belirtmişlerdir.[33]

Peterson ve ark. çalışmalarında, bitkisel yağların üstünlüklerini; yenilenebilir enerji kaynağı olması, emniyetli olması, biyolojik ayrışabilir olması ve egzoz gazı atıklarının daha az olması şeklinde sıralamışlar; fiyatlarının fazla olmasını önlemede, kızartma artığı yağlarının yakıt olarak değerlendirilmesi durumunda yüksek fiyatı azaltıcı bir yol olduğunu bildirmişlerdir. [34].

Cıgızoğlu ve ark. yaptıkları çalışmada, kullanılmış, ayçiçek yağını % 20/80 oranlarında dizel yakıt ile karıştırarak elde ettikleri yakıt ön yanma odalı dizel motorunda denemişler; kısa

sürekli testlerde bulunan motor karakteristik değerleri dizel yakıt ile elde edilen karakteristik eğrilere benzerlik gösterdiğini; ayrıca dizel yakıtından daha az duman emisyonu yaydığını bildirmişlerdir.[35]

Yücesu ve Altın, kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Tek silindri direk püskürtmeli bir dizel motorunda 900 d/d -1800 d/d aralığında 100 d/d'lık aralıklarla performans ve emisyon testleri yapmışlardır. Ticari dizel yakıtı ve kanola yağı ile yapılan testler sonucunda; motor devrine bağlı olarak dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek moment verdiği [maksimum fark 1800d/d' da %6], devir azaldıkça bu farkın azaldığı, benzer şekilde dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek güç verdiği [maksimum fark 1800d/d' da %6], özgül yakıt tüketiminin kanola yağında dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, kanola yağının termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu, CO emisyonunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu, NOX oluşumunun ise dizel yakıtı kullanımında daha yüksek çıktığı, duman koyuluğunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu ve motor momenti arttıkça her iki yakıtta da arttığı bildirilmiştir.

Araştırmacılar, kanola yağının dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olması, viskozitesinin daha yüksek olması, performans ve emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre kötü sonuçlar vermekle beraber aradaki farklılıkların çok fazla olmadığı ve kanola yağının kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtına alternatif olabileceğini belirtmişlerdir.[36]

Kavalcı, çalışmasında bazı bitkisel kökenli yakıtların [ayçiçek, soya, susam, kolza, yer fıstığı, keten, pamuk, mısır, etanol ve metanol yakıtlar] dizel motorlarda kullanılma imkanlarını incelemiştir. Methanol ve etanol yakıtlar hakkında bilgiler vermiştir. Bitkisel yağların üst ısı değeri, yoğunluk ve viskozite bakımından birbirlerine yakın değerlere sahip olduğunu ve setan sayısı bakımından da dizel yakıtına yakın olduğunu bildirmiştir.

Yağların, dizel yakıtından daha yüksek donma ve akma noktası sıcaklık değerlerine sahip olduklarını vurgulamış, yağlardaki su ve tortuların %0,05'lik ASTM sınır değerinden daha az olduğunu belirtmiştir.

Yağların alevlenme sıcaklıklarının 240°C civarında olduğunu, bunun da yangın tehlikesini azaltıcı etkisi olduğunu, yağların karbon birikintisi oluşturmasının ise önemli bir dezavantaj olduğunu rapor etmiştir.[37]



Demirel ve Şensöz, yenilenebilir enerji kaynağı olarak zeytin ve fındık küspeleri üzerinde çalışmışlardır. 500°C sıcaklıkta ve 10°C/dk ısıtma hızında proliz yöntemi ile biyoyakıt elde etmişlerdir. Bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyerek petrol türevi yakıtlarla mukayeselerini yapmışlar ve sonuçların biyoyakıt açısından oldukça ümit verici olduğunu belirtmişlerdir.[38]

Ya Fe Lin ve arkadaşları çalışmalarında restoranlardan alınan atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizel ve dizel-biyodizel karışımlarını kullanmışlar ve sonucunda egzost gazı emisyonlarını arasındaki farkları bulmayı amaçlamışlardır.

Sonucunda ise B20 bütün hızlarda en az CO emisyonlarına sahip olduğunu, B50'nin ise en yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına sahip olduğunu saptamışlardır. Ancak B20 2000 rpm'de daha yüksek CO<sub>2</sub> değeri vermiştir.

NO<sub>x</sub> emisyon değerleri için ise biyodizel kullanımları beklenildiği gibi yüksek çıkmıştır.[39]

M. Raheman ve Ghadge'nin tek silindirli doğal emişli,4 stroklu,su soğutma Ricardo EG motoru üzerinde yaptıkları çalışma incelenmiştir. Yakıt olarak mahua yağından imal edilen biodizel,motorin yakıtı ve bunların karışımları kullanılmıştır. Maksimum güç devri olan 1500d/d' da kısa süreli performans ölçümleri yapılmış ve sıkıştırma oranı değişimlerinin parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sıkıştırma oranının artırılması özgül yakıt tüketimi (FÖYS) üzerinde olumlu bir etki göstermiştir. Sonuçlar çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Çeşitli sıkıştırma oranları için FÖYS değişim oranları

Sıkıştırma oranı değişimi	Motorin için	B100 için
18:1-19:1	-10.7%	-19.3%
19:1-20:1	-8.0%	-11.5%

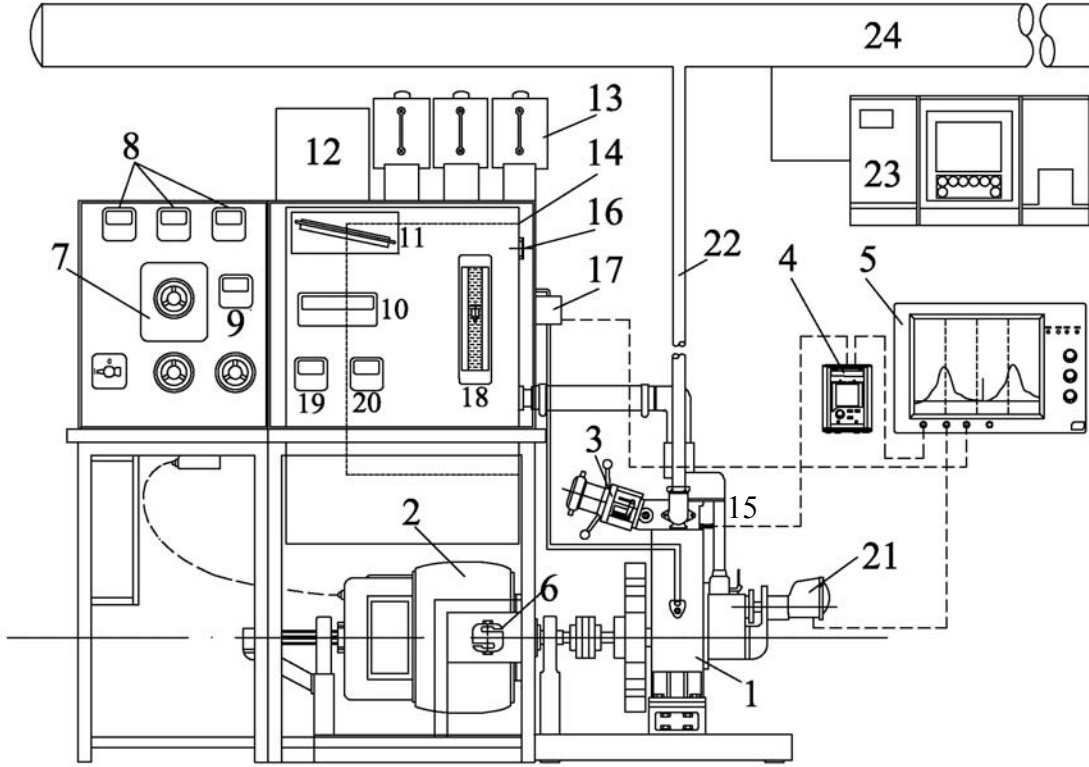
Biyodizel düşük uçuculuk ve yüksek viskoziteye bağlı olarak özgül yakıt tüketimi olarak açısından sıkıştırma oranı artışına daha olumlu cevap vermiştir.[40]

## 5. Deneysel Çalışma

### 5.1 Deney Setinin özellikleri

Deneyde kullanılan motor Tecquipment marka CFR TD2 deney setidir. İki farklı silindir kafası sayesinde istendiğinde benzin motoru olarakta kullanılabilir. Deney seti Ferryman marka bir dizel motoruna sahiptir. Tek silindirli su soğutmalı doğal emişli olan bu motor düşük hızlı bir dizel motordur. Deney seti üzerinde bulunan 9 kW gücünde DC elektrik motoru ilk hareket ve yükleme elemanı olarak kullanılmaktadır. Yük dirençleri sistemin içersine yerleştirilmiştir. Deney esnasında bu yük dirençleri kademeli olarak devreye alınarak yük artırılıp azaltılabilmektedir. DC motor üzerinden geçen elektrik gerilimi ve akımı anlık olarak hassas bir biçimde okunabilmektedir. Bu sayede dizel motorunun yüklendiği durumda ürettiği, dışarıdan tahrik edildiği durumda ise harcadığı güç kaydedilerek performans deneyleri gerçekleştirilmektedir.

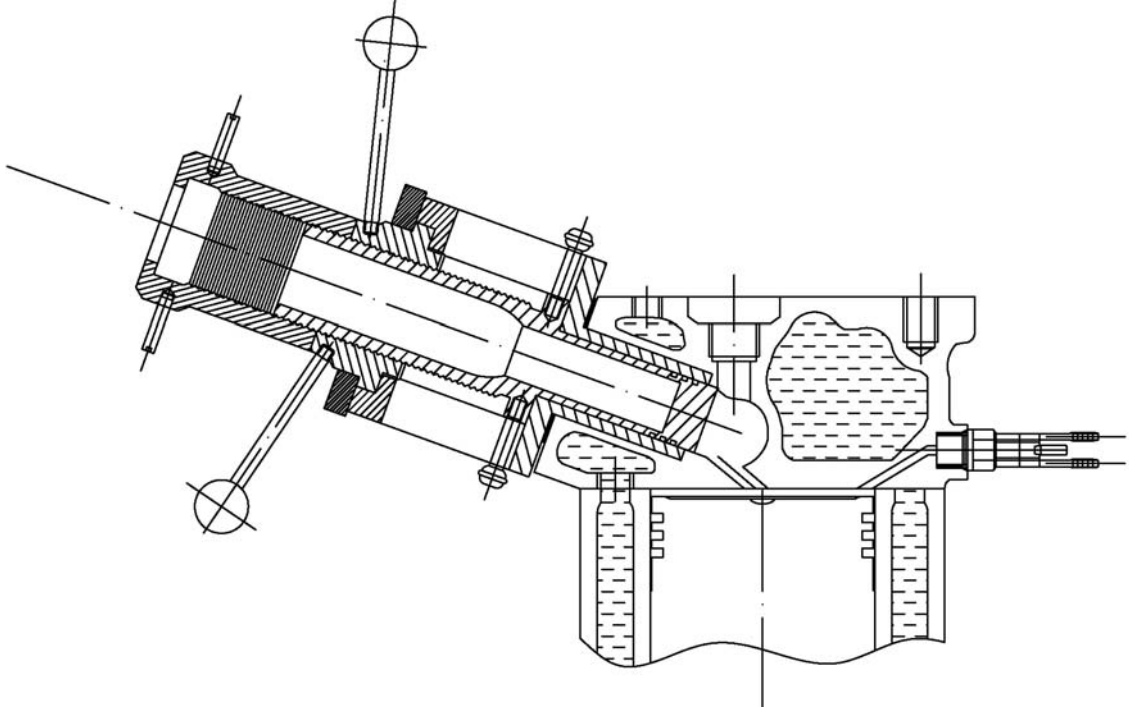
Deneyler esnasında soğutma suyunun motora giriş ve çıkış değerleri kaydedilerek rejim şartı belirlenir, bu işlem için iki adet termo-elemandan oluşan bağımsız elektronik termometreler kullanılmaktadır. Tek silindirli motorların emme havasının ölçümünde ortaya çıkan dalgalanma etkisinin minimuma indirilmesi amacıyla set üzerine standart orifise sahip bir emiş tankı konumlandırılmıştır. Orifis ağzından eğik manometre ile ölçülen vakumdan faydalanılarak yapılan hesapla emilen hava debisi belirlenmektedir. Yakıt tüketimi kütle ölçümü yöntemi ile saptanmaktadır. Motor devri elektronik takometre ile belirlenmektedir. Deney setinin detaylı resmi şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Deney setinin detaylandırılmış resmi (1-İçten yanmalı motor,2-DC motor,3-Sıkıştırma oranı değişim aparatı,4-Basınç sinyali yükselticisi,5-Osiloskop,6-Yük hücresi,7-Yük reostası,8-DC motor göstergeleri,9-Takometre,10-Yük göstergesi,11-Manometre,12-Soğutma suyu tankı,13-Yakıt tankları,14-Emiş tankı,15-Silindir içi basınç sensörü,16-Standart orifis,17-Akış ölçer(Yakıt),18- Akış ölçer(Su) ,19-Soğutma suyu giriş termometresi, 20-Soğutma suyu çıkış termometresi,21-Artımsal enkoder,22-Egzoz hattı,23-Gaz analiz cihazı,24-Laboratuvar egzoz hattı)

Deney motoru bölünmüş yanma odalı, düşük hızlı bir dizel motorudur. Enjeksiyon sistemi Bosch marka tek silindriklilik standart pompa ve açılma basıncı 200 bar olan tek delikli bir enjektörden oluşmaktadır. Supap hareketi, altta olan kam mili tahriki vasıtasıyla itici çubukların külbütörleri itmesi suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bir adet emme ve bir adet egzoz supabı bulunmaktadır. Motor yağlaması krank ağırlıkları vasıtasıyla çarpmalı olarak yapılmaktadır. Silindir kafası üzerinde özel olarak hazırlanmış iki adet boşluklu kanaldan

silindir içi basıncı ölçülebilmekte ve istenirse anlık gaz örneklemeside yapılabilir. Motor üzerindeki özel olarak üretilmiş aparat, bölünmüş yanma odası hacmini değiştirerek sıkıştırma oranının değişmesini sağlamaktadır. Sıkıştırma oranı değiştirme aparatının kesit resmi şekil 5.2’de görülmektedir. Hem dizel hemde benzinli çalışma durumlarında sıkıştırma oranları değişebilmektedir. Motorun teknik özellikleri çizelge 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.2 Sıkıştırma oranı değişim aparatı

Çizelge 5.1 Motor Teknik Özellikleri

Marka	Ferryman Diesel Engine-1977
Strok hacmi	765 cc
Motor gücü	8 kW
Maksimum motor devri	2000 d/d

Emiş sistemi	Doğal emişli
Sıkıştırma oranı aralığı	4,5:1 26:1
Strok	120 mm
Silindir çapı	90 mm
Supap sistemi	Külbütör mekanizması
Emme supap adedi	1
Egzoz supap adedi	1
Enjeksiyon sistemi	Bosch mekanik-pompa enjektör grubu
Enjektör açma basıncı	190 Bar

## 5.2 Silindir içi basınç analizleri

Silindir içerisinden ölçülen basınçlar çevrimin yanma, maksimum basınç, indike iş gibi önemli büyüklüklerinin idrak edilmesinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Deney motorunda entegre olan AVL marka basınç sensörü, Kistler marka yükseltici ile beraber kullanılarak üretilen sinyaller LeCroy marka osiloskop ile kayıt altına alınmıştır. Motor devrine bağlı olarak değişmekle birlikte en az 50 adet çevrimin basınç sinyali, 0.1° KMA hassasiyetle toplandıktan sonra ortalamaları alınmıştır. Silindir içi basınç ölçümlerinin işlenerek anlamlı hale getirilmesi Otomotiv Anabilim Dalı bünyesinde geliştirilen bilgisayar programı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Yanma olgusundaki önemli parametrelerin belirlenebilmesi için yakıt hattı basınç değişimi kaydedilerek enjeksiyon başlangıç anı saptanmaktadır. Tüm bu ölçülen değerler ve termodinamiğin birinci yasasından faydalanılarak aşağıdaki parametreler kolaylıkla belirlenebilmektedir:

Silindir içi basınç değişimi

Silindir içi maksimum basıncı

Sıkıştırma ve genişleme poliptrop katsayısı

Tutuşma başlangıcı ve yanma bitiş konumları

Isı salınımının krank açısına bağlı değişimi

Yaklaşık tutuşma gecikmesi

Ön karışım ve difüzyon faz uzunlukları ve bu fazlarda sisteme giren ısılar

### **5.3 Egzoz emisyonlarının ölçümü**

İçten yanmalı motorlarda gelişim günümüzde iki ana kapsam çerçevesinde sürmektedir. Eskiden öncelikli hedef olan performansın artırılması, günümüzde ikinci planda tutularak emisyonun azaltılması hedeflenmektedir. Deneylerde iki farklı tip emisyon cihazı kullanılmıştır. Gaz emisyonları (HC,NO<sub>x</sub>,NO,CO,CO<sub>2</sub>,O<sub>2</sub>) Bilsa MOD 2210 cihazı ile ölçülmüş, duman yoğunluğu ise AVL Dicom 4000 marka ölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki cihazın aynı anda ölçüm yapması mümkün olduğu için gerek deney yükünün azaltılması gerekse şart farklılıklarının ortadan kaldırılarak hatanın minimize edilmesi için egzoz hattından iki çıkış alınarak aynı anda ölçümler alınmıştır.

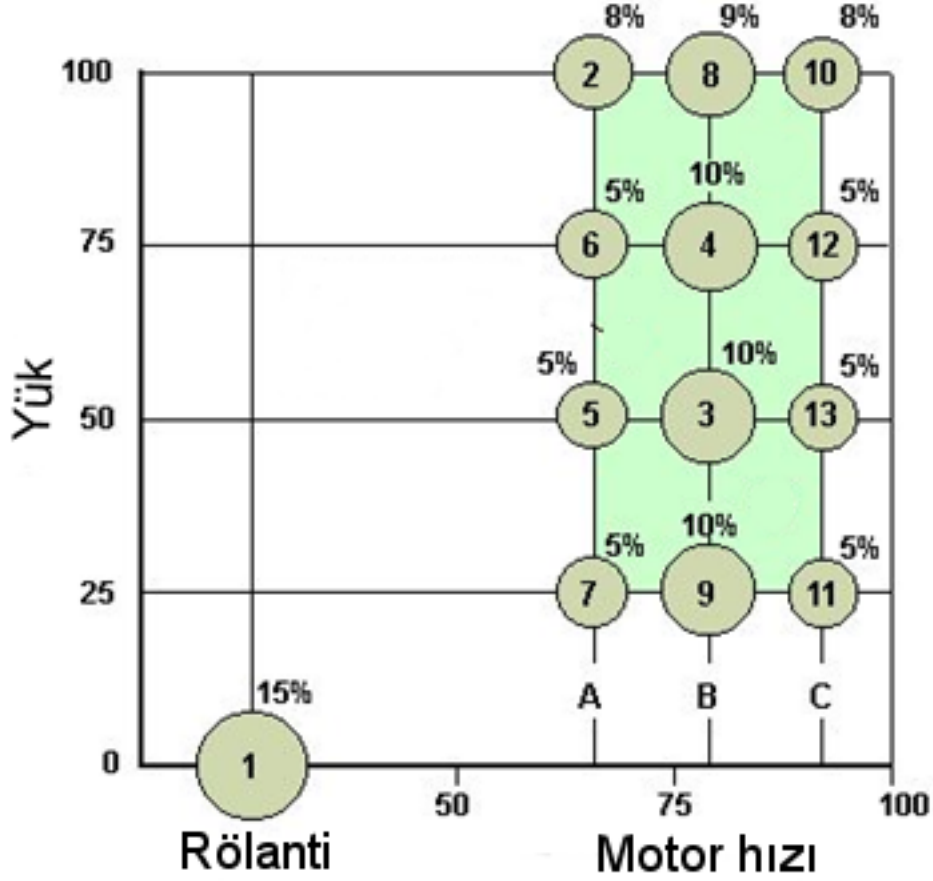
### **5.4 Deneilerin uygulanışı**

Farklı sıkıştırma oranlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkisinin belirlenebilmesi amacıyla öncelikle, her sıkıştırma oranı ve her yakıt için performans deneyleri uygulanarak uzun vadeli deneylerin yük şartı belirlenmiştir. İkinci deneylerde belirlenen yük şartında her yakıt ve sıkıştırma oranı için motor rejime gelinceye kadar beklendikten sonra çoklu ölçümler alınmıştır.

### **5.5 Deneilerin gerçekleştirileceği yük şartının belirlenmesi**

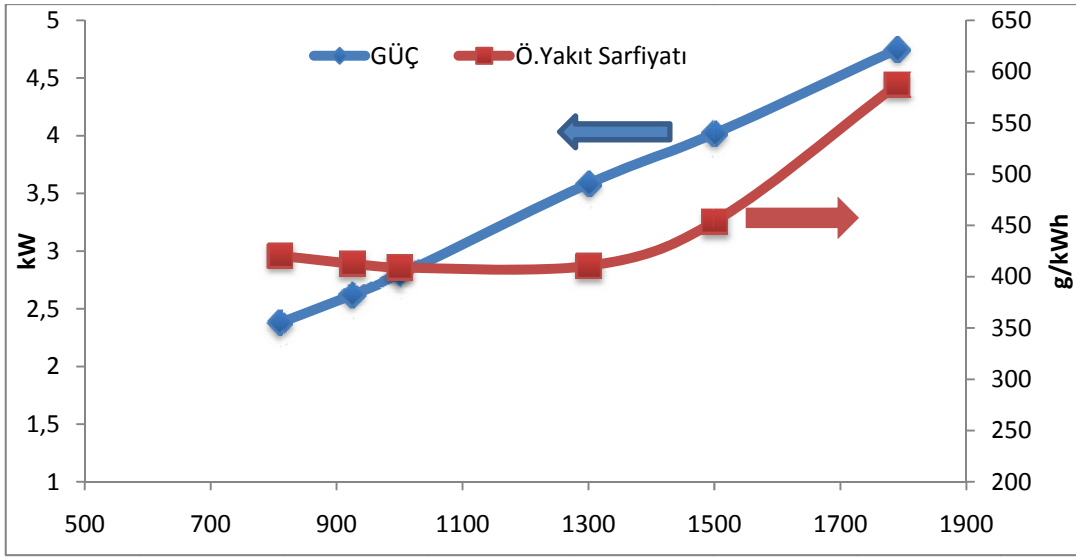
Farklı sıkıştırma oranları ve farklı yakıtların performans değerleri birbirlerinden farklı olduğu için her sıkıştırma oranı ve yakıt karışımının sağladığı bir ortak güç şartı belirlenmiştir. 1999/96/EC direktifi, Avrupa parlamentosunun 13 Aralık 1999 tarihinde güç üretiminde

kullanılan içten yanmalı motorların testleri için referans test çevrimi olarak belirlenmiştir.[41]



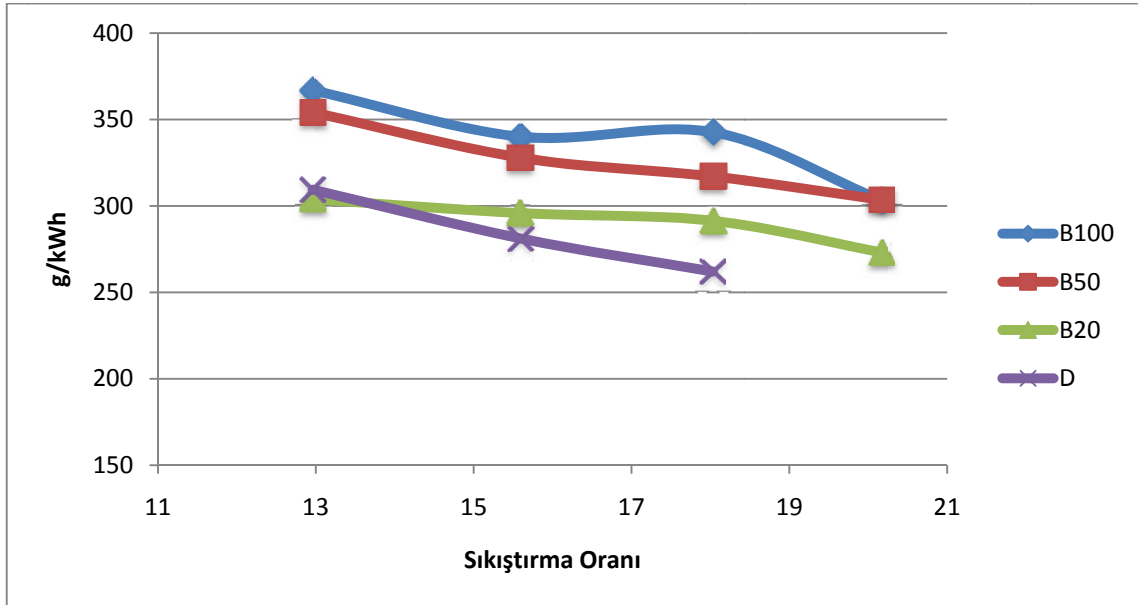
Şekil 5.3 1999/96/EC direktifi test çevrimi yük noktaları

İçten yanmalı dizel motorun performans eğrileri göz önünde bulundurularak, Şekil 5.3'te belirtilen Avrupa stasyonær çevriminde kullanılan yük noktalarından %50 yük üzerindeki A noktası referans belirlenip yük şartı tespit edilmiştir. Deney motorunun performansı şekil 5.4'te görülmektedir ve bu değerler göz önüne alınarak belirlenen test şartı deney düzeneği için 1065 d/d için 2 kW güç üretilen yük şartıdır. Tüm veriler bu şart sağlanarak rejime ulaştırılan motordan toplanmıştır. Tüm yakıtlar ve sıkıştırma oranları için sabit yük şartı altında deney yapılması, yük farklılığından doğacak olan tutarsızlıkların bertaraf edilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla performans açısından kıyaslanacak tek değişken özgül yakıt sarfiyatı olurken, eşit yükteki emisyonlar daha net bir biçimde değerlendirilebilmiştir.



Şekil 5.4 Yük şartının belirlenmesinde kullanılan performans deneyi sonucu.

## 5.6 Deney Sonuçları

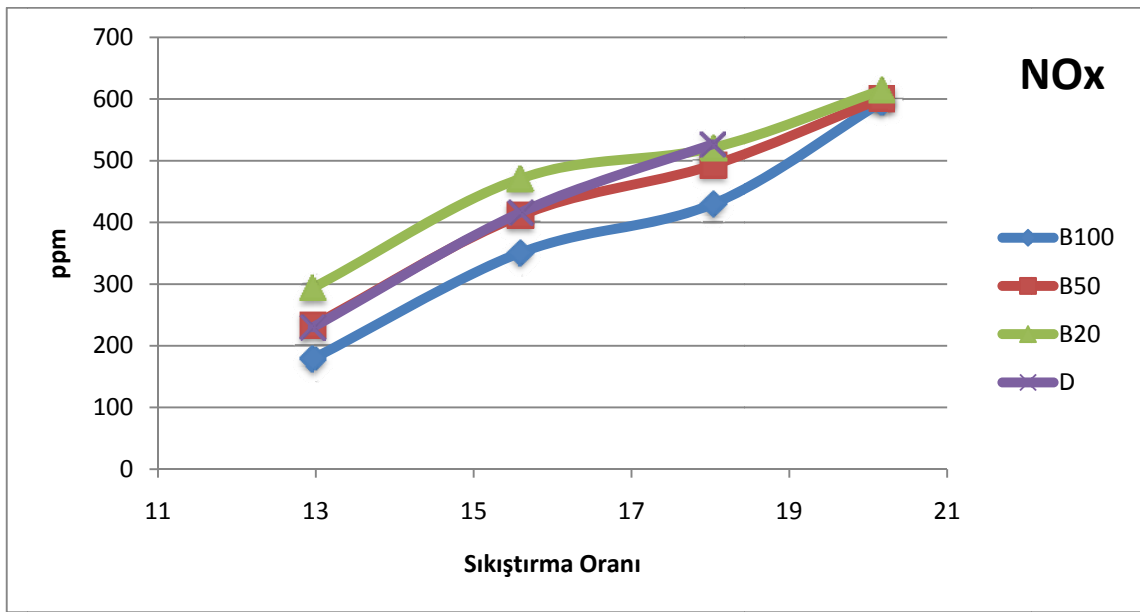


Şekil 5.5 Özgül yakıt sarfiyatının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.

Deneylerde sabit güç şartı sağlanmış olduğu için değişim gösteren performans parametresi özgül yakıt sarfiyatıdır. Şekil 5.5'te özgül yakıt sarfiyatının hem sıkıştırma oranına hemde yakıt türüne bağlı değişimi görülmektedir. En yüksek özgül yakıt sarfiyatı saf biyodizelde

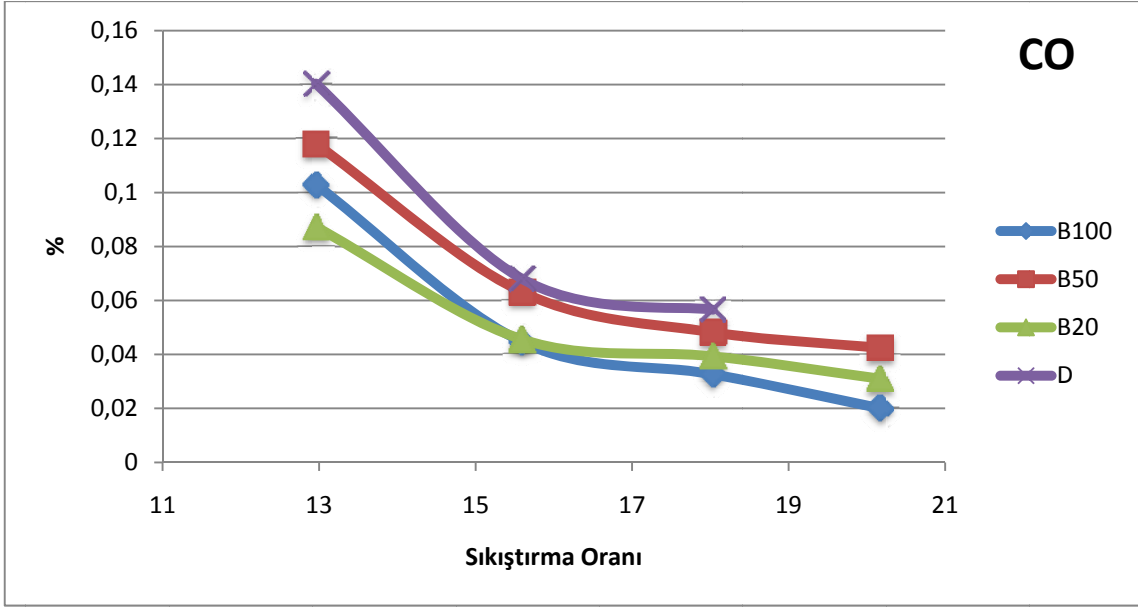


gözlemlenmiştir ve biyodizel oranı azaldıkça özgül yakıt sarfiyatıda azalmıştır. Bu hususun başlıca sebebi biyodizelin alt ısıl değerini dizel yakıtından düşük olmasıdır. Demirbaş yaptığı çalışmada farklı yağlardan elde edilen biyodizellerin alt ısıl değerlerini ölçmüş ve genel olarak 39 Mj/kg - 41 Mj/kg civarında değerler elde etmiştir.[42] Bununla birlikte sıkıştırma oranındaki artış ile özgül yakıt sarfiyatının değişimi tüm yakıtlar için azalma eğilimindedir ki bu durum termik verim artışına bağlanabilir. İleriki çalışmalarda çok daha yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılarak değişimin araştırılması uygun olacaktır zira artan sıkıştırma oranı aynı zamanda toplam sürtünme işinide arttırmaktadır.[43]

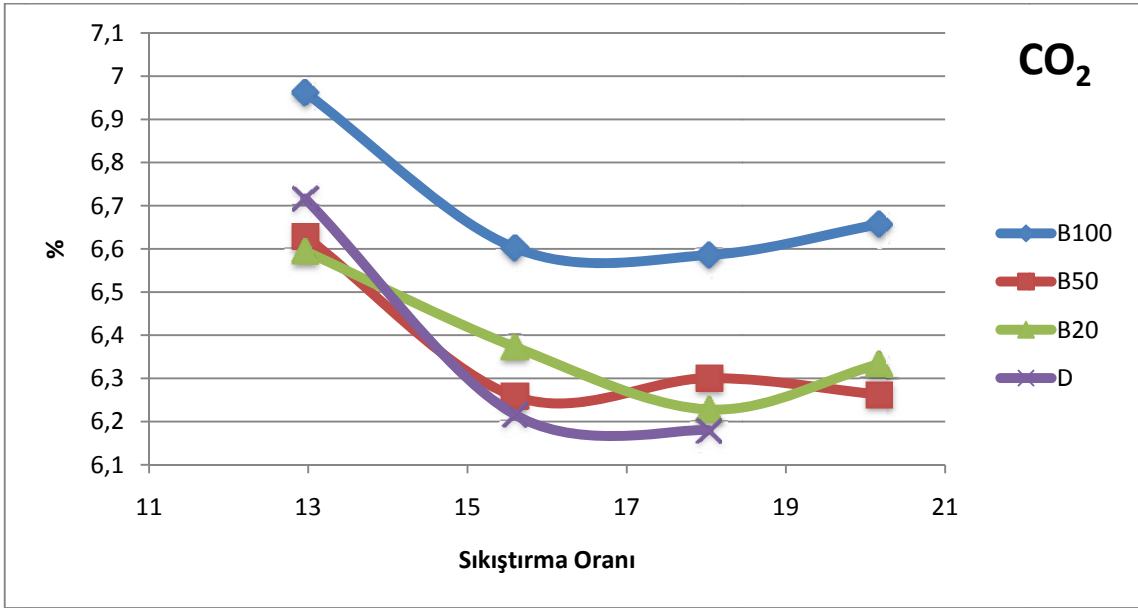


Şekil 5.6 NO<sub>x</sub> emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.

Şekil 5.6'da Azot oksit emisyonlarının hem sıkıştırma oranına hemde yakıt türüne bağlı değişimi görülmektedir. Sabit güç şartı altında değerlendirme yapıldığı için emisyonlar hacimsel oran biriminde verilmiştir. Biyodizel oksijen muhteva eden bir yakıt olduğu için genel olarak azot oksit emisyonlarında artış beklenmektedir.[44] Hacimce %20 oranda katılan biyodizel en yüksek azot oksit emisyonunu sonuçlamıştır, literatür ile zıt olarak saf biyodizel diğer tüm yakıtlardan daha az azot oksit üretmiştir. Artan sıkıştırma oranı silindir içi pik basıncı artırdığı için azot oksit emisyonlarının yaklaşık lineer artışı beklenen bir bulgudur.



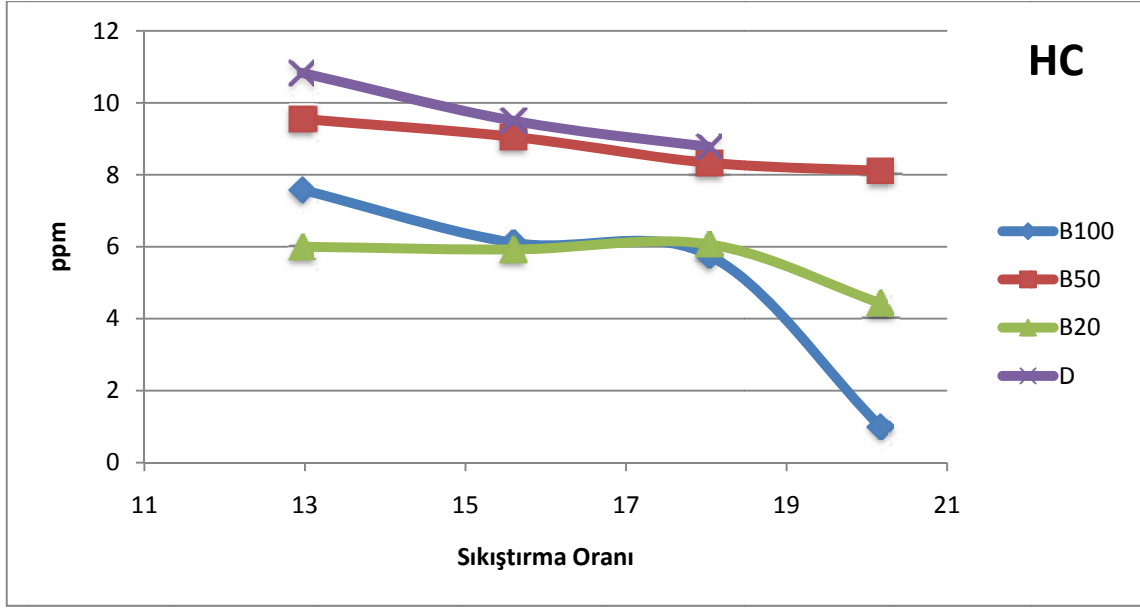
Şekil 5.7 CO emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.



Şekil 5.8 CO<sub>2</sub> emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.

Tüm biyodizel oranlarında çevrim içersine giren yakıt miktarının artmasına rağmen CO emisyonunun azalması artan yanma verimine işaretler, yakıtın oksijen içeriği ile bağdaştırılabilir, çünkü sabit devirde deney yapıldığı için tüm deney şartlarında çevrim başına alınan hava miktarı sabittir. Saf biyodizelin özgül yakıt sarfiyatının yüksek oluşu ile birlikte diğer yakıt türlerine kıyasla CO<sub>2</sub> emisyonları daha yüksektir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyonu

motorin ile sağlanmıştır.



Şekil 5.9 HC emisyonlarının sıkıştırma oranına ve biyodizel miktarına göre değişimi.

Hidrokarbon emisyonu dizel motorlarda oldukça düşük hatta ölçüm hatası düzeylerinde çıkmaktadır. Buna rağmen saf biyodizelin HC emisyonları dizele kıyasla oldukça düşük elde edilmiştir.

**KAYNAKLAR**

- [1] Utlu, Z., “Türkiye’nin 2023 Yılı Enerji ve Ekserji Kullanım Verimliliğinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,(2003).
- [2] 2002 Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, (2002), 6-7.
- [3] Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [4] Energy,Austrian Energy Agency,02-2005
- [5] İleri, E., “Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2005).
- [6] Uyar, T.S., “Türkiye’nin Enerji Sorunları ve Çözüm Önerileri”, Türkiye Genç İş Adamları Derneği Enerji Raporu, İstanbul, (2003), 42-45.
- [7] Ültanır, M.Ö., Türkiyede 21.Yüzyıla Girerken Enerji Durumu ve Gelişme Olanakları, Tüsiad Raporları, 20, (2001).
- [8] Koçak, M.S., “Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2005).
- [9] Lipidler ders notları, Prof. Dr. Ulvi Reha FİDANCI , (2002).
- [10] Altın, R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1998).
- [11] Acaroğlu, M. “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas Yayınları, İstanbul, (2003)
- [12] Yücel, H.L., “Dizel Yakıtına Belirli Oranlarda Karıştırılmış Pamuk Yağının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (1998)
- [13] Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Uludağ

Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, (1999).

[14] Ulusoy, Y. ve Alibas, K., 2002, Diesel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, No.16, Bursa

[15] Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., Vol 21, No 2, 367-372, 2006

[16] Connemann ve Fischer 1998

[17] Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels ASTM D 6751-09.

[18] Emiroglu, T., K.K.K. Işıklar Askeri Lisesi Komutanlığı 2001-2002 yılı Kimya Projesi, “Bitkisel Kaynaklı Atık Yağlardan Alternatif Dizel Yakıt (Biodiesel) Eldesi, Yakıt Özelliğinin ve Dizel Motorlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Işıklar Askeri Lisesi Komutanlığı Kütüphanesi, Bursa, (2002), 12-17.

[19] Connemann, J. and Fischer, J., “Biodiesel World 2000”, International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, Würzburg, Germany, 4, (2000).

[20] Karaosmanoğlu, F., “Türkiye İçin Çevre Dostu - Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı Biyomotorin”, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, \_İstanbul, (2002), 10(1)

[21] Bagby, M.O., Freedman, B. and Schwab, A.W., 1987, Seed Oils for Diesel Fuels. Sources and Properties, ASAE Paper No. 87-1583.

[22] Freedman, B. and Pryde, E.H., 1982, Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as A Diesel Fuel, Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, American Society of Agricultural Engineers, Fargo, North Dakota.

[23] Al-Vidyan, M. I., Tashtoush, G., Abu-Qudais, M., “Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines”, Fuel Processing Technology, 76, (2002), 91-103.

[24] Gomez, G.,Howard-Hildige, R., Leahy, JJ., O'Reilly, TO., Supple, B., Malone, M., (2000), “ Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota van operating on esterified waste cooking oil and mineral Diesel fuel”, Env. Mon. Ass.,65, 13-20

[25] Leung, DYC., (2001),“ Development of a clean biodiesel fuel in Hong Kong used

cooking oil”, Water, Air Soil Pollut. 130, 277-282.

[26] Ulusoy, Y., Tekin, Y., Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., (2004), “The engine tests of biodiesel from used frying oil”, Energy Sources, 26, 927-932.

[27] Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F., (2004), “Engine and winter road test performances os used cooking oil orginated biodiesel”, En. Con. Man, 46, 1279-1291

[28] Pryde, E.H., “Vegetable Oils as Diesel Fuels: Overview”, Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1557-1558.

[29] Ziejewski, M., and Goettler, H.J., “Comparative Analysis of the Exhaust Emissions for Vegetable Oil Based Alternative Fuels”, SAE Paper, No. 920195, U.S.A, (1992), 144-154.

[30] Vellguth, G., “Performance of Vegetable Oils and their Monoesters as Fuels for Diesel Engines”, SAE Paper, No.831358, U.S.A, (1983), 1098-1108.

[31] Işığgür, A., “Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıtı Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1992).

[32] Aytaç, S., “Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (1997).

[33] Lowry, J.P.A., “Alternative Fuel for Automotive and Statinory Engines in Developing Country”, IMechE, MEP, London, (1990), 209-214.

[34] Oğuz, H., “Dizel Yakıtı - Ayçiçek Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (1998).

[35] Cigizoğlu, K.B., T. Özaktaş, ve F. Karaosmanoğlu, “Used Sunflower Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines”, Energy Sources, 19, (1997), 559-566

[36] Yücesu, S., Altın, R., “Kanola Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak

İncelenmesi’’, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Ankara, 12 , (1999), 1045-1058.

[37] Kavalcı, D., “Bitkisel Kökenli Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarında Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2001).

[38] Demirel, İ., Şensöz, S., “Zeytin ve Fındık Küspelerinden Elde edilen Biyoyakıtın Karakterizasyonu” Biyoenerji 2004 Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, (2004), 95 – 99.

[39] Ya-fen Lin , Yo-ping Greg Wu , Chang-Tang Chang ‘Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends’a Department of Chemical and Materials Engineering, National Ilan University, I-lan 26041, Taiwan, ROC

[40] H. Raheman , S.V. Ghadge ‘Performance of diesel engine with biodiesel at varying compression ratio and ignition timing’ Agricultural and Food Engineering Department, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721302, India

[41] 1999/96/EC Directive 1999/96/EC of the European Parliament and of the Council of 13 December 1999

[42] Ayhan Demirbas, Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels, Fuel 87 (2008)

[43] John Heywood, Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill,1988

[44] Koji Yamane, Atsushi Ueta and Yuzuru Shimamoto, Influence of Physical and Chemical Properties of biodiesel Fuel on Injection, Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a DI-CI Engine, The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines (COMODIA 2001), July 14, 2001, Nagoya

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	30.08.1980
Doğum yeri	İstanbul
Lise	1994-1998 Y.D.A Kurtuluş Lisesi
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Makine Mühendisliği Bölümü 1999-2005
Yüksek Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Mak. Programı 2006