

**HARDAL YAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN
MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adil ŞAHİN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Fatih AKSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz, 2014

Bu tez çalışması 12.FEN.BİL.16 numaralı proje ile AKUBAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARDAL YAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN
MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Adil ŞAHİN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Fatih AKSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Adil ŞAHİN tarafından hazırlanan “Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 27/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih AKSOY

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Fatih AKSOY İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Laçine AKSOY İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

27/06/2014

Adil ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Bitkisel Yağlar	3
2.1.1 Bitkisel Yağların Yapısı	3
2.1.2 Yağ Asitleri	4
2.1.2.1 Doymuş Yağ Asitleri	5
2.1.2.2 Doymamış Yağ Asitleri	5
2.1.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri	6
2.1.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri	7
2.1.4.1 Tuz Oluşumu	7
2.1.4.2 Ester Oluşumu	7
2.1.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar	8
2.1.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları	8
2.1.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri	9
Bitkisel Yağların Isıl Değeri	10
Bitkisel Yağların Viskozitesi	10
Bitkisel Yağların Setan Sayısı	11
Bitkisel Yağların Yoğunluğu	11
2.2 Hardal Bitkisi	11
2.2.1 Yabani Hardal Tohum ve Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri	12
2.3 Biyodizel	13
2.3.1 Biyodizelin Özellikleri	14
2.3.1.1 Yoğunluk	14
2.3.1.2 Parlama Noktası	15
2.3.1.3 Setan sayısı	15
2.3.1.4 Isıl Değer	15

2.3.1.5 Soğukta Akış Özelliği.....	15
2.3.1.6 Yağlayıcılık	16
2.3.1.7 Toksik Etkisi.....	16
2.3.1.8 Biyobozunabilirlik	16
2.3.1.9 Oksidasyon Kararlılığı.....	17
2.3.1.10 Karbon Artığı.....	17
2.3.1.11 İyot Sayısı	17
2.3.1.12 Kinematik Viskozite	18
2.3.1.13 Kükürt İçeriği	18
2.3.1.14 Su İçeriği	18
2.3.1.15 Yağlama Yağının Seyrelmesi	18
2.4 Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar.....	20
3. MATERYAL ve METOT	26
3.1 Biyodizel Üretimi.....	26
3.1.1 Deney Düzeneği.....	26
3.1.2 Terazı	27
3.1.3 Santrifüj	27
3.1.4 Manyetik Karıştırıcı	28
3.1.5 Metil Alkol (Metanol).....	29
3.1.6 Katalizör.....	29
3.1.7 FFA Tayini.....	30
3.1.8 Biyodizel Optimizasyonu	30
3.2 Motor Test ve Emisyon Ölçümü	32
3.2.1 Deney düzeneği.....	32
3.2.2 Emisyon Cihazı.....	33
3.2.3 Kontrol Paneli	34
3.2.4 Moment Ölçer (Loadcell)	35
3.2.5 Terazı	35
3.2.6 Belirsizlik Analizi	36
3.2.7 Metot.....	36
3.3 Yakıt Analizi	37
3.3.1 Viskozite Tayini.....	37
3.3.2 Parlama Noktası Tayin Cihazı	38
3.3.3 Yoğunluk Tayin Cihazı.....	39
3.3.4 Kükürt Tayin Cihazı	40
3.3.5 Su Tayin cihazı	41

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1 Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri.....	43
4.1.1 Metil Alkol Oranının Verim Üzerine Etkisi	43
4.1.2 Metil Alkol Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi	43
4.1.3 Sodyum Hidroksit Miktarının Verim Üzerine Etkisi.....	44
4.1.4 Sodyum Hidroksit Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi.....	45
4.1.5 Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerine Etkisi	46
4.1.6 Reaksiyon Süresinin Verim Üzerine Etkisi	47
4.1.7 Hardal Yağı Biyodizelinin Özellikleri	47
4.2 Motor Performansı ve Emisyonları Ölçümleri.....	48
4.2.1 Testler Sonunda Yapılan Hesaplamalarda Kullanılan Formüller	48
4.2.2 Motor Performans ve Özgül Yakıt Tüketimi Etkisi.....	49
4.2.3 Emisyon Değerleri Ölçümü	52
5. SONUÇ.....	55
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	65
EKLER LİSTESİ.....	66

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HARDAL YAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Adil ŞAHİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. FATİH AKSOY

Bu çalışmada, hardal yağı metil ester üretim süreci tek aşamalı alkali katalizör (NaOH) kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyon süreci katalizör konsantrasyonu, metil alkol/yağ oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi parametrelere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Optimum metil ester dönüşüm verimi %0,75 katalizör konsantrasyonu, %20 metil alkol/yağ oranı, 90 dk reaksiyon süresi ve 60 °C reaksiyon sıcaklığında %89,67 olarak elde edilmiştir. Optimum koşullarda elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri belirlenmiştir. Biyodizel (B100) hacimsel olarak %50 oranında motorin ile karıştırılarak B50 yakıtı elde edilmiştir. Bu yakıtların (B100 ve B50) motor performans ve emisyonlarına etkileri tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında B100 ve B50 yakıtlarının kullanımı ile motor gücü ve momenti azalmış, özgül yakıt tüketimi ise artmıştır. CO ve NO_x emisyonlarında dizel yakıtına göre iyileşmeler gözlenmiştir.

2014, x + 68 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Hardal, Egzoz Emisyonları, Transesterifikasyon

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

BIODIESEL PRODUCTION PROCESS OPTIMIZATION FROM MUSTARD OIL AND THE EFFECTS ON ENGINE PERFORMANCE

Adil ŞAHİN

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Fatih AKSOY

In this study, the process of biodiesel production from mustard oil was optimized using a single-stage alkaline catalyst (NaOH). Optimization process was carried out depending on parameters such as catalyst concentration, methanol-oil ratio, reaction temperature, and reaction time. The optimum biodiesel conversion efficiency was obtained to be 89,67% at 0,75% catalyst concentration, 20% methanol-oil ratio, 90 minutes reaction time, and 60 °C reaction temperature. The fuel properties of biodiesel obtained under optimal conditions were determined. B50 fuel was obtained by mixing biodiesel (B100) with diesel fuel in 50% rate in volume. The effects of these fuels (B100 and B50) on engine performance and emissions were investigated on a direct-injection, single cylinder diesel engine. With the use of B100 and B50 fuels, engine power and torque decreased whereas specific fuel consumption increased in comparison to diesel fuel. It is observed that there are developments with regard to CO and NO_x emissions when compared to the diesel fuel.

2014, x + 68 Pages

Key Words: Biodiesel, Mustard, Exhaust Emissions, Transesterification

TEŐEKKÖR

Tez konumun belirlenmesinden başlayarak, her aşamada bana yol gōsteren, daima bilgisinden ve tecrübelerinden faydalandığım saygıdeğer danışman hocam sayın Doç. Dr. Fatih AKSOY'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Bu tez çalışması 12.FEN.BİL.16 numaralı ve "Hardal Yağından Biyodizel Üretim Sürecinin Optimizasyonu ve Motor Performansına Etkileri" isimli proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim.

Çalışma süresince maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Adil şAHİN

AFYONKARAHİSAR, 2014

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

C	Karbon
CH ₃ OH	Metil Alkol
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
°C	Santigrat Derece
H	Hidrojen
HC	Hidrokarbon
KOH	Potasyum hidroksit
NaOH	Sodyum hidroksit
O ₂	Oksijen
Rpm	Dakikada devir sayısı
SO ₂	Kükürtdioksit

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Standart Test Yöntemi
B20	Hacimsel olarak %20 Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı
B50	Hacimsel olarak %50 Biyodizel+%50 Dizel Yakıtı
B100	Hacimsel olarak %100 Biyodizel Yaktı
CFPP	Cold Filter Plugging Point (soğukta filtre tıkanma noktası)
CP	Cloud Point (Bulutlanma noktası)
DIN	Deutsche Industri Norm (Alman Endüstri Normları)
FFA	Free Fatty Acid (Serbest Yağ Asit)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi.....	4
Şekil 2.2 Basit ve karışık trigliseritin yapısı (Hacıkadiroğlu 2007).....	4
Şekil 2.3 Doymuş ve doymamış yağ asitleri.	5
Şekil 3.1 Test düzeneği.	33
Şekil 4.1 Metil alkol miktarının metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.	43
Şekil 4.2 Metil alkol oranına bağlı olarak viskozite değişimi.	44
Şekil 4.3 Sodyum hidroksit miktarının metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi. ...	45
Şekil 4.4 Sodyum hidroksit oranına bağlı olarak viskozite değişimi.	46
Şekil 4.5 Sıcaklığın metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.	47
Şekil 4.6 Reaksiyon süresinin metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.	47
Şekil 4.7 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor torklarının değişimi.	49
Şekil 4.8 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor güçlerinin değişimi.	50
Şekil 4.9 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının özgül yakıt tüketimlerinin değişimi.....	51
Şekil 4.10 Motor devrine bağlı olarak Dizel, B50 ve B100 yakıtlarının CO emisyon değerleri.....	53
Şekil 4.11 Motor devrine bağlı olarak Dizel, B50 ve B100 yakıtlarının NOx emisyon verileri.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Dizel motorlarda kullanılan bitkisel yağların özellikleri (Acaroğlu 2003). 10	
Çizelge 2.2 Biyodizel özelliklerinin dizel yakıt ile karşılaştırılması (Altınsoy 2007).. 17	
Çizelge 3.1 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri. 33	
Çizelge 3.2 Belirsizlik analizi. 36	
Çizelge 3.3 Viskozite tayin cihazının teknik özellikleri..... 37	
Çizelge 3.4 Parlama noktası tayin cihazının teknik özellikleri. 39	
Çizelge 3.5 Yoğunluk tayin cihazının teknik özellikleri. 40	
Çizelge 3.6 Kükürt tayin cihazının teknik özellikleri..... 41	
Çizelge 4.1 Metil alkol miktarının viskozite üzerine etkisi. 44	
Çizelge 4.2 Sodyum hidroksit miktarının viskozite üzerine etkisi..... 45	

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Optimizasyon ve biyodizel üretiminde kullanılan deney düzeneği.	26
Resim 3.2 Çalışmada kullanılan analitik terazi.	27
Resim 3.3 Gliserin fazının çöktürülmesinde kullanılan santrifüj.	28
Resim 3.4 Karıştırma ve ısıtma işlemlerinde kullanılan manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.	28
Resim 3.5 Biyodizel üretiminde kullanılan metil alkol.	29
Resim 3.6 Biyodizel üretiminde kullanılan katalizör.	29
Resim 3.7 Ayırma hunisi ile gliserin fazını ayırma işlemi.	31
Resim 3.8 Üretilen biyodizel numune örnekleri.	32
Resim 3.9 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı.	34
Resim 3.10 Dinamometre Kontrol Paneli.	34
Resim 3.11 Moment Ölçer (Loadcell).	35
Resim 3.12 Densi PC-100 W-30SS marka terazi.	35
Resim 3.13 Viskozite tayin cihazı.	38
Resim 3.14 Parlama noktası tayin cihazı.	39
Resim 3.15 Yoğunluk tayin cihazı.	40
Resim 3.16 Kükürt tayin cihazı.	41
Resim 3.17 Su tayin cihazı.	42

1. GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada gereksinim duyduğu en önemli olgu ve ekonomik kalkınmanın bir lokomotifidir. Neredeyse bütün toplumların enerji sorunu ile karşı karşıya kalması göz önüne alındığında, enerji konusu önemli bir yer tutmaktadır. Dünyada enerji ihtiyacının %80'i kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır. Fosil yakıtların dünyada bilinen rezerv dağılımları, petrol eşdeğeri olarak, %68 kömür, %18 petrol ve %14 doğalgaz olarak bilinmektedir (Vogel 1999).

Yapılan araştırmalar neticesinde: petrol rezervlerinin 40, doğalgazın 60, kömürün ise önümüzdeki 240 yıl içinde tükeneceği belirlenmiştir (İnt.Kyn.1). Bununla birlikte, fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliği göz ardı edilemez durumdadır. Bu yakıtların yanma sonucu çevreye yaydıkları emisyonlar, çevre kirliliğinin yanı sıra birçok olumsuzluk meydana getirmektedir. Yapılan çalışmalara göre, enerji kaynaklarının kullanımında değişiklik yapılmazsa, küresel çapta enerji açığı ve kirliliğinin 2030 yılına kadar %50 artacağı uyarısında bulunulmuştur (İnt.Kyn.2).

İçten yanmalı motorlarda kullanılan dizel yakıtın egzoz emisyonlarının çevreye verdiği olumsuz etki ve fiyatlarındaki artış için uygulanabilecek en uygun çözümlerden birisi alternatif yakıtların kullanılmasıdır (Berrios and Skelton 2008). Bitkisel yağların yenilenebilir olması, kolaylıkla esterleşebilmeleri, ısı değerlerinin yüksek olması, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına benzerlik göstermesi ve çevreye zarar vermemesi bir motor yakıtı olarak incelenmesine sebep olmuştur (Altın 1998). Buna ilaveten, bitkisel yağların yüksek setan sayısının olması, sülfür içeriğinin az olması, yüksek parlama noktasına sahip olması, yağlama özelliklerinin iyi olması ve yapısında oksijen bulunması sebebiyle biyodizel alternatif yakıt üretiminde kullanılmaktadır (Aktaş ve Segmen 2008).

Bitkisel ve hayvansal yağların yakıt olarak kullanılması için ilk olarak viskozitelerini düşürecek işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Yağların viskozitesi ısı ve kimyasal yöntem uygulanarak düşürülebilir. Isıl yöntemde, ön ısıtma ile yağların viskozitesini

düşürmek amaçlanmaktadır. Hareket halindeki bir araç motorunda ısı yöntem uygulanması sırasında problemler oluşabileceği için genellikle kimyasal yöntemler uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemler; inceltme, mikro-emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere 4 kısımda incelenir (Ulusoy 1999). Bu yöntemler arasında en çok uygulanan yöntem transesterifikasyondur (Leung *et al.* 2010).

Bu çalışmada hardal yağından transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizel üretilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda verime etki eden yağ/katalizör oranı, yağ/metanol oranı, sıcaklık ve süre gibi parametreler değiştirilerek optimum koşullar belirlenmiştir. Optimum koşullarda üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Biyodizelin motor performansı ve emisyonlarına etkisi tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Bitkisel Yağlar

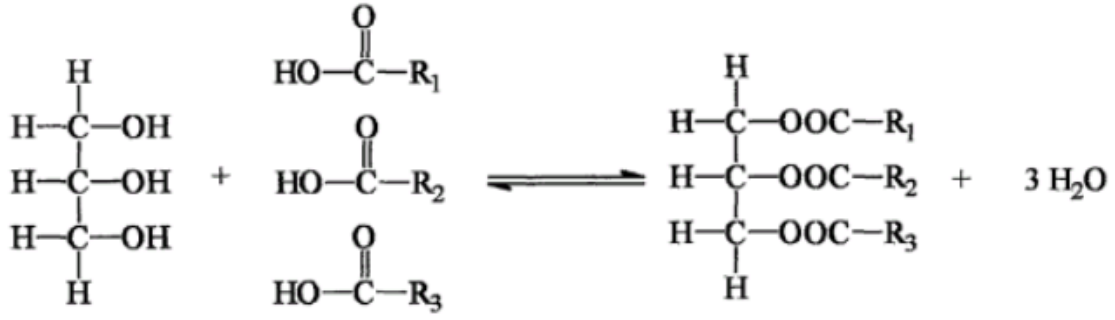
2.1.1 Bitkisel Yağların Yapısı

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 çözünmemesine rağmen pek çok organik çözücüde çözünürler ve yoğunlukları sudan düşüktür. Normal oda sıcaklığında sıvıdan katıya kadar değişen bir erime aralığında bulunabilirler. Oda sıcaklığında katı formda iseler katı yağlar (fat), sıvı formda iseler sıvı yağlar (oils) olarak tanımlanırlar. Yağların katılık veya sıvılık durumu yağların fiziksel özelliğiyle ilgilidir (Koçak 2005).

Lipit terimi kimyasal maddelerin farklı gruplarını kapsamaktadır. Lipitler, trigliseritlere ilaveten mono ve digliseritler, fosfatidler, serebrosidler, steroller, terpenler, yağ alkolleri, yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler (A, D, E ve K) ve diğer bazı bileşenleri de içeren bileşikler topluluğudur (Yamık 2002).

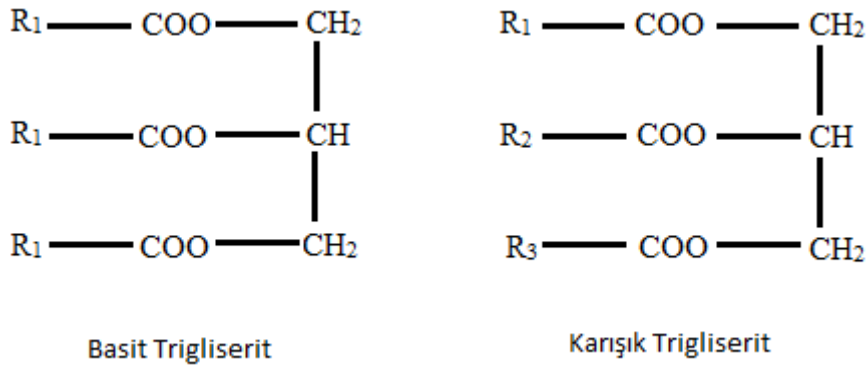
Lipitler, yüksek yağ asitlerini, bunların oluşturmuş oldukları doğal bileşikleri ve bunlarla kimyasal olarak bağlanan maddeleri kapsayan doğal bir madde grubudur. Suda çözünmemelerine rağmen eter, benzen, kloroform gibi çözücülerde çözünürler. Yağ asitlerinin esteridirler veya esterleşebilirler. Canlı organizmalar tarafından kullanılabilen lipitler, önemli depo yakıt maddeleridir. Isıl değeri 9 kcal/g'dır. Karbonhidratlar için bu değer 4.5 kcal/g'dır (İnt.Kyn.3).

Yağlar, yüksek moleküllü yağ asitlerinin, üç değerli alkol olan gliserinle meydana getirdikleri esterlerdir, yani trigliseritlerdir. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 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 ya da üç ayrı yağ asidinden oluşan trigliseritlere, karışık trigliserit denmektedir. Şekil 2.2'de basit ve karışık trigliseritin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2 Basit ve karışık trigliseritin yapısı (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.2 Yağ Asitleri

Yağ asitlerinin karbon sayıları genellikle çifttir. Bunun yanı sıra yağ asitleri cis konfigürasyonda, dallanmamış ve düz zincirli monokarboksilik asitlerdir. Doğada transkonfigürasyonda, karbon sayısı tek olan ve dallanmış yağ asitleri ve siklik yağ asitleri de az sayıda da bulunmaktadır.

Yağ asitlerinin karbon sayıları 2-34 arasında değişebilmektedir. Yağ asidinin molekülündeki karbon miktarı 6'dan düşük ise kısa, 6-10 arasında karbon varsa orta ve

12 veya daha fazla ise uzun zincirli yağ asidi olarak gruplandırılabilir. Yağ asitleri doğal sıvı ve katı yağların içinde esterler halinde bulunur (İnt.Kyn.3).

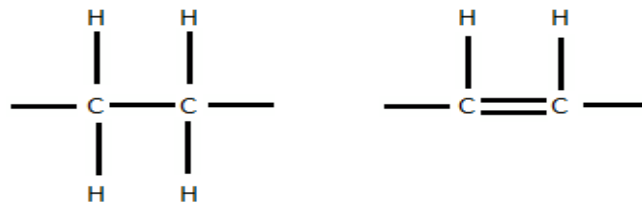
Bir yağı oluşturan yağ asitlerinin cinsi, yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirler. Yağ asitlerinin formül ile gösterimi $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ şeklindedir. Hidrokarbon zincirindeki bağlara göre yağ asitleri iki grupta incelenir.

2.1.2.1 Doymuş Yağ Asitleri

Doymuş yağ asitleri olarak belirtilen yağ asitleri, karbon-karbon (-C-C) olmak üzere tek bağdan oluşmaktadır. Formül olarak gösterimi R-COOH şeklindedir. Bu formülde R hidrokarbon zincirini göstermektedir. Stearik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$) ve palmitik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$) bitkisel yağlarda bulunan doymuş yağ asitlerinden bazılarıdır. Doymuş yağ asitlerinin zincir uzunlukları arttıkça kaynama ve erime noktası da artış göstermektedir (Yamık 2002).

2.1.2.2 Doymamış Yağ Asitleri

Doymamış yağ asitleri en az bir tane çift bağ içeren hidrokarbonlardır. Doymuş yağ asitleri ve doymamış yağ asitlerinin yapıları Şekil 2.3'de gösterildiği gibidir (Yamık 2002).



Şekil 2.3 Doymuş ve doymamış yağ asitleri.

Doymamış yağ asitlerini, doymuş yağ asitleri haline getirmek mümkündür. Doymamış yağ asitleri kolayca okside olabilmektedirler. Çift bağ sayısının artması doymamış yağ

asitlerinin okside olmasını kolaylaştırmaktadır. Özellikle metaller, ısı, ışık gibi etkenler oksidasyon hızlanmasına neden olmaktadır (İnt.Kyn.3).

Hidrokarbon zincirinde bir çift bağ içeren doymamış yağ asitlerine monoenoik yağ asitleri, iki veya daha fazla çift bağ içeren doymamış yağ asitlerine ise polienoleik adı verilir (İleri 2005).

2.1.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri

Yağ asitlerinin karbon zincirinin uzunluğu ve molekülündeki çift bağ sayısına göre fiziksel ve fizyolojik özellikleri değişir.

Karbon sayısı 10'a kadar olan yağ asitleri adı ısıda sıvı ve uçucudur. Karbon sayısı 12:0 veya daha fazla olan büyük zincirli doymuş yağ asitleri vücut sıcaklığında katı haldedir. Bu doymuş yağ asitlerinin erime noktaları molekül ağırlığının artmasına bağlı olarak yükselir.

Tüm doymamış yağ asitleri oda sıcaklığında sıvı haldedir. Çift bağ sayısının artışına bağlı olarak daha düşük sıcaklıklarda sıvı halde kalabilirler. Örneğin 18:2 doymamış yağ asitleri 0 °C'de sıvı haldedir. Taşıdıkları çift bağlar sayesinde doymamış yağ asitleri yüksek tepkime yeteneğine sahip olurlar.

Karbon sayıları 2-4 olan yağ asitleri, asetik, propiyonik ve bütirik asitler her oranda su ile karışır. Bunu özelliklerinin yanı sıra karbon sayısı artışına göre suyla karışma yetenekleri azalır. Doymuş yağ asitlerinin karbon sayısı 10'dan fazla olduğu zaman suda erimezler.

Doğal olarak bulunan uzun zincirli doymamış yağ asitlerinin neredeyse tamamı cis konfigürasyondadır. Ancak, doymamış yağ asitlerinde çift bağın yerinin değişmesiyle izomerler türerse de daha çok görünen izomer şekli, çift bağın etrafındaki diziliş şekline göre ortaya çıkan cis ve transizomerlerdir (İnt.Kyn.3).

2.1.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri

2.1.4.1 Tuz Oluşumu

Karbon sayıları 6'dan fazla olan yağ asitlerinin metallerle yapmış oldukları tuzlara sabun denir. Sodyum ve potasyum sabunları suda erirken, diğer metallerin tuzları genelde erimez ve temizleyici görevi yapmazlar. Potasyum sabunları, sodyum sabunlarına göre daha yumuşaktır ve daha çabuk erirler. Doymuş yağ asitlerinin vermiş olduğu sabunlar, doymamış yağ asitlerinin verdiği sabunlara göre su ve alkolde daha az erir.

Piyasalarda satışa sunulmuş olan sabunlar aynı yağ asitlerinin sodyum tuzlarıdır. Bu sabunlarda suyun sertliğini dindirmek için sodyum karbonat ve sodyum silikat mevcuttur. Arap sabunu olarak bilinen madde palmitik, stearik veya oleik asitin potasyum tuzlarıdır. Motor yağı katkılarında da uzun zincirli yağ asitlerinin kalsiyum sabunları mevcuttur.

Sabunun asitli ortamda bozunması ve sert sularda çözünmeyen toprak alkali sabunlarına dönüşmeleri kullanımda sakıncalar meydana getirdiğinden, deterjan adıyla adlandırılan temizlik malzemeleri geliştirilmiştir. Piyasalarda satılan deterjanlar yağ asitlerinin tuzlarıdır. Deterjanların tümü nötr, katyonik veya sabunlarda olduğu gibi anyonik olabilen hidrofilik bir grupta beraber hidrofobik hidrokarbon yapısına sahiptirler (Koçak 2005).

2.1.4.2 Ester Oluşumu

Yağ asitlerinin karboksil grupları alkolle geri dönüşebilecek biçimde esterleşebilmektedir. Esterleşme kendi kendine olunca yavaş, ancak ısı veya hidrojen iyonu varlığında hızlı gerçekleşir (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar

Doymamış yağ asitlerinin yapısında bulunan etilen bağı (-CH=CH-) kolaylıkla hidrojenle ya da halojenlerle doyurulabilir. Doymamış yağ asidi, doymuş haline gelir veya çift bağ oksidasyonla açılarak yeni ürünler oluşabilir. Bu duruma örnek olarak oleik asitten pelargonik asit ve azelaik asitlerin oluşması gösterilebilir.

Oleik asit oksitleyici olarak potasyum permanganat (KMnO₄) düşük sıcaklıkta kullanıldığı zaman, çift bağına 2 OH grubu eklenerek dihidroksi stearik aside dönüşür. Oksidasyon ilerler ve sıcaklık arttırılırsa moleküldeki oksitlenme daha fazla olur. Bunun neticesinde dihidroksi stearik asit bir molekül su kaybına uğrar ve çift bağın olduğu yerden parçalanır. Bunlar azelaik ve pelargonik asitlerdir.

Doymamış yağ asitlerinin moleküler oksijenle oksitlenmeleri ve çift bağlara O₂ girmesi sonucu farklı gruplar oluşur. Oto oksidasyon olarak adlandırılan bu olayda meydana gelen ve yağda istenmeyen durumları (tad, görünüm, koku) oluşturan bileşikler peroksit, epoksit, ketohidroksit gibi gruplardır. Bu grupların özellikle yüksek sıcaklıklarda parçalanmaları ile genellikle asit ve aldehytlerden meydana gelen farklı ürünler oluşur (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları

Günümüzde hava, çevre ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili gündemi oluşturan konulardır. Dünyada birçok ülke tarafından çevre dostu ürünlerin kullanımı için yasalar çıkartılmaktadır. Örneğin Federal Almanya, bölgesel düzenlemeler ile ormancılık sektöründe hızlı biyolojik ayrışabilir yağ kullanmayan ekipmanın kullanımını yasaklamıştır. Biyokütle kaynakları bakımından zengin bir tarım ülkesi olmamız nedeniyle, bu kaynakların alternatif motor yakıtları üretiminde değerlendirilmesinin önemi büyüktür. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının yaygınlaşması durumunda yağlı bitkilerinin üretimi artırılabilir (Acaroğlu 2003).

2.1.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu motor üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağlarla dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ve ısıl değer bakımından fazla bir fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtından yaklaşık 10-20 kat fazladır. Bitkisel yağların motorda minimum değişiklik ile kullanılabilmesi en büyük avantajlarından birisidir (Lowry 1990).

Motor yakıtı olarak kullanılacak başlıca bitkisel yağlar; fındık, haşhaş, ayçiçeği, susam, yağ keteni, mısır özü, keten tohumu, defne, ceviz, Hint yağı, aspir, badem, soya, kolza, yer fıstığı, hurma çekirdeği, pamuk tohumu yağlarıdır. Çizelge 2.1’de bu yağların özellikleri görülmektedir (Acaroğlu 2003).

Bitkisel yağlar ile dizel yakıtının karbon ve hidrojen değerleri birbirine yakın, oksijen değerleri bakımından ise bitkisel yağların değeri daha yüksektir. Isıl değerler karşılaştırıldığında bitkisel yağın ısıl değeri dizel yakıtına göre %10-15 oranında daha düşüktür (İnt.Kyn.4).

Çizelge 2.1 Dizel motorlarda kullanılan bitkisel yağların özellikleri (Acaroğlu 2003).

Yağ	Kinematik Viskozite (mm ² /s)	Setan Sayısı	Isıl Değer (MJ/kg)	Kül (% Kütlesel)	Kükürt İçeriği (%Kütlesel)	İyot Değeri (cg. l/g Yağ)	Sabunlaşma Değeri (mg. KOH/g yağ)
Pamukyağı	33,7	33,7	39,4	0,02	0,01	113,20	207,71
Haşhaş	42,4	36,7	39,6	0,02	0,01	116,83	196,82
Kolza	37,3	37,5	39,7	0,006	0,01	108,05	197,07
Aspir	31,6	42,0	39,5	0,007	0,01	139,83	190,23
Ayçiçeği	34,4	36,7	39,6	0,01	0,01	132,32	191,70
Susam	36,0	40,4	39,4	0,002	0,01	91,76	210,34
Yağ keteni	28,0	27,6	39,3	0,01	0,01	156,74	188,71
Buğday	32,6	35,2	39,3	0,02	0,02	120,96	205,68
Mısırözü	35,1	37,5	39,6	0,01	0,01	119,41	194,14
Hintyağı	29,7	42,3	37,4	0,01	0,01	88,72	202,71
Soya	33,1	38,1	39,6	0,006	0,01	69,82	220,78
Defne	23,2	33,6	39,3	0,03	0,02	105,15	220,62
Yer fıstığı	40,0	34,6	39,5	0,02	0,01	119,55	119,80
Fındık	24,0	52,9	39,8	0,01	0,02	98,62	197,63
Ceviz	36,8	33,6	39,6	0,02	0,02	135,24	190,82
Badem	34,2	34,5	39,8	0,01	0,01	102,35	197,56
Zeytin	29,4	49,3	39,7	0,008	0,02	100,16	196,83

Bitkisel Yağların Isıl Değeri

Hidrokarbonların çift bağ sayısı ve zincir uzunluğu, bitkisel yağların ısı değerlerini belirler. Çift bağ sayısı arttıkça ısı değer azalır, zincir uzunluğu arttığı zaman ise ısı değer artmaktadır. Isıl değer artış karbon ve hidrojen sayılarının, oksijen sayılarıyla oranına bağlıdır. Dizel yakıtının ısı değeri 39500-45000 kJ/kg arasındadır. Bitkisel yağların ısı değerleri ise 37000-42000 kJ/kg civarındadır (Altın 1998).

Bitkisel Yağların Viskozitesi

Bitkisel yağlarda viskozite, ısı değer tersi bir biçimde çift bağ sayısı arttıkça azalmaktadır. Bununla birlikte zincir uzunluğu arttıkça viskozite artmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesi motor için oldukça önemlidir. Bitkisel yağlarının viskozitelerinin genellikle yüksek olmasından dolayı püskürtme ile beraber silindir içerisine iri tanecikler gönderilir. Silindir içerisine gönderilen taneciklerin iri olması nedeniyle

yakıtın parçalanması zorlaşır. Çünkü yüksek viskozite basıncın artmasına ve yakıtın iyi atomize olamamasına sebep olur. Benzer şekilde viskozitenin düşük olması yakıt sisteminde kaçaklara sebep olmaktadır (Yamık 2002).

Bitkisel Yağların Setan Sayısı

Setan sayısı dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerinde etkilidir. Yüksek setan sayısı motorun daha sessiz çalışmasını sağlar. Dizel yakıtlarında setan sayısı 45-50 arasındadır.

Bitkisel yağların setan sayısı ASTM metodlarına göre 32-42 arasında değişmektedir. Yağların, dizel yakıtına dönüştürülmesi sırasında uygulanan işlemler, setan sayısının artmasına neden olur (Yamık 2002).

Bitkisel Yağların Yoğunluğu

Dizel yakıtının yoğunluğu 40°C'de 0,851 kg/l dır. 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 birçok araştırma sonucunda bitkisel yağların yakıt özellikleri belirlenmiş, dizel yakıtı ile mukayeseler yapılarak verilen sınır değerlere ne ölçüde uyum sağladıkları tespit edilmiştir (Hacıkadıroğlu 2007).

2.2 Hardal Bitkisi

Hardal; 0,2-1,5 m boylarında, gövdesi 20-80 cm ve taç genişliği 50 cm kadar olan gövdesi yuvarlak ve dik, alt kısmı tüysüz olan bir bitkidir. Genellikle Akdeniz çevresi ülkelerde yetişir ve 10 kadar türü vardır. Bu türlerden bazıları; beyaz hardal otu, siyah hardal otu ve yabani hardal otudur. Yapraklarının dizilişi almaşık, beyzi, lobsuz ve kaba dişlidir.

Salkım şeklinde çiçekleri bulunan bitkinin taç yaprakları ise kükürt sarısı rengindedir. Meyveleri 20-45 mm uzunluğunda olan bitkinin uç kısmı koni şeklindedir. Meyvelerinde 1-1,5 mm çapında 5-12 adet koyu kahve-siyah renkte tohum bulunur. Yabani hardal tohumlarıyla çoğalarak yayılır ve canlılığını 5-13 yıl koruyabilmektedir.

Yeterli toprak neminin mevcut olduğu durumlarda 10-15 °C sıcaklıkta tohumları ilkbaharda çimlenmektedir. Toprağın ilk 5 cm derinliğine düşen tohumlardan en yüksek çıkış oranı görünmektedir. Bitkinin çiçeklenmesi 4-6 ay arasında gerçekleşmektedir. Çiçeklenmeyi takiben 1-2 ay içerisinde kapsül kabukları sapa bağlı olduğu yerden yukarıya doğru açılarak tohumlanır (Eryılmaz 2009).

2.2.1 Yabani Hardal Tohum ve Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri

Hardal yağı, yağ asitleri bakımından beslenme amaçlı kullanıma uygun değildir. Ancak ilaç, kozmetik alanında çeşitli amaçlarla kullanılabilir (İlisulu 1973, Baytop 1984, Akgün 1993, Salunkhe *et al.* 1992). Hardal %20 ila %50 erusik asit ihtiva etmektedir (Salunkhe *et al.* 1992). 5 hardal genotipinde oleik, 6 genotipte linoleik asit daha fazladır (Özcan ve ark. 1998).

Su, ham yağ, ham protein, ham selüloz, ham kül, uçucu yağ, alil izotiyosiyanat, bin tane ağırlığı ve tohum çapı değerleri sırasıyla %6, 22,52, 16,30, 11,83, 9,24, 025, 95,4, 2,61g ve 1,8 mm olarak tespit edilmiştir. Ham yağ, ham protein ve uçucu yağ literatürde belirtilen diğer Cruciferae türlerine göre düşük iken, ham selüloz, ham kül ve alil izotiyosiyanat yüksektir.

Tohum yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden nispi yoğunluk ve kırılma indisi beyaz ve siyah hardala yakındır. İyot sayısı siyah hardala benzer ve beyaz hardaldan düşük, kolzadan yüksektir.

Başlıca yağ asitleri oleik, linoleik, erusik ve linoleniktir. Palmitik, oleik, linoleik, linolenik ve araşidik literatür değerlerinden yüksek; palmitoleik, stearik, behenik ve lignoserik asit ise literatür değerleri ile benzerdir. İncelenen, yabani hardal tohumu ve yağının fiziksel, kimyasal özellikleri ve yağ asitleri bileşimi bazı literatür değerleri ile

benzerlik göstermiştir. Erusik asit içeriğinin diğerlerine göre düşük, oleik ve linoleik asitlerin yüksek çıkması olumludur (Özcan ve ark. 1998).

2.3 Biyodizel

Biyodizel, alternatif yakıt olarak üzerinde çalışmalar devam eden yakıtlardan birisidir. Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan (kanola, keten, pamuk, soya fasulyesi, yer fıstığı, kolza, hindistan cevizi ve palmye bitkilerinden), kullanılmış atık kızartma yağları, hayvansal yağlar ve her türlü biyolojik kökenli yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucu oluşan ve yakıt olarak kullanılabilen yağ asidi metil esterlerdir (İnt.Kyn.5).

Biyodizel, biyoyakıtlar kapsamında olan, çevre dostu ve yenilenebilir nitelikli sıvı haldeki bir alternatif yakıttır. Uygulamada, biyomotorin, yeşil enerji ya da halk deyiimiyle “yağ mazotu” isimleriyle de anılmaktadır (İnt.Kyn.5).

Rudolph Dizel, 1893'te Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. Rudolph Dizel 1911'de “Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımsal alanda gelişimine önemli bir katkı sunacağını” ifade etmiş ve 1912'de “Bitkisel yağların motorlarda yakıt olarak kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacağını” söylemiştir (Kuothe *et al.* 1996).

Ancak petrolün o yıllarda yaygınlığı, ucuzluğu ve günümüzdeki gibi stratejik olmayışı nedeni ile bu uygulamadan vazgeçilmiştir. Biyodizel ise, ilk kez Güney Afrika'da 2. Dünya Savaşından önce büyük güçlü motorlarda kullanılmıştır (Kuothe *et al.* 1996).

Başlangıçta bitkisel yağların en az işlem ve hazırlıkla doğrudan kullanılabilceği düşünülse de motorlar üzerinde yapılmış ayrıntılı deneyler göstermiştir ki, tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı pratikte pek çok problem oluşmaktadır. Bu problemlere örnek olarak, enjektör memesinde karbon birikimi, aşırı miktarda motor

tortusu, yağlayıcı yağ seyrelmesi, piston segmanı yapışması, silindir gömleğinin aşınması ve hatta bitkisel yağın polimerleşmesinden dolayı yağlamada oluşan aksaklıklar verilebilir. Bunun yanı sıra soğukta ilk çalışma problemi, ateşleme kalitesinin ve ısı veriminin düşüklüğü gibi operasyonel faktörlerde bitkisel yağların, direk püskürtmeli dizel motorlarda ve özellikle bu operasyonel sorunların daha ciddi şekilde görüldüğü bölünmüş yanma odalı dizel motorlarda, doğrudan kullanılmasının önündeki en büyük engeldir (Poulton 1994).

2.3.1 Biyodizelin Özellikleri

Mevcut dizel yakıtına benzer özellikler gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, direkt olarak motorin yerine kullanılabilir gibi, mevcut motorin yakıtıyla belirli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir. Biyodizel, petrol kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretir, kükürt içermez.

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

2.3.1.1 Yoğunluk

Biyodizelin yoğunluğu dizel yakıtına göre daha yüksektir. Yoğunluk, yakıt sarfiyatına ve yanma ısısına etki etmektedir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çifte bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar (İnt.Kyn.6).

2.3.1.2 Parlama Noktası

Yakıtlar için yapılacak risk sınıflamasında parlama noktası çok önemli yer tutmaktadır. Yakıtların taşınması veya depolanması sırasında yüksek parlama noktası özelliği istenir. Dizel yakıtının parlama noktası 74°C olmasına rağmen bitkisel yağların parlama noktası 300°C' nin üzerinde, biyodizelin parlama noktası ise 220°C civarındadır. Parlama noktasının tespitinde DIN EN 22719 standardı uygulanmaktadır (Akyarlı 2004).

2.3.1.3 Setan sayısı

Yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Motor performansları ve egzoz gazı emisyon değerleri ile yayılan gürültü seviyesi için önemli bir karakteristik özelliktir (Altınsoy 2007).

2.3.1.4 Isıl Değer

Yakıtın birim kütlesi/hacmi oranına göre elde edilen enerji miktarını belirler. Ağırlık bakımından sınırlaması bulunan araçlar için bu değer çok önemlidir. Isıl değer artışı doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğunun artışına göre artmaktadır. Doymamışlık artışına göre ise, ısıl değer azalır (Karahana 2006).

Biyodizelin ısıl değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür. Biyodizel ve dizel yakıt aynı motorlarda kullanıldığı zaman ise, biyodizelin güç ve torku dizel yakıtına göre daha düşüktür. Yakıt sarfiyatı artmasına rağmen, enjeksiyon hacmi artarsa eşit motor performansı elde edilebilir.

2.3.1.5 Soğukta Akış Özelliği

Biyodizel, motorine göre daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımlarında problem çıkmasına neden olmaktadır. Doymuş hidrokarbonların (CP), (CFPP), (PP) değerleri yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Hayvansal yağlar ve kızartma yağlarının doymuş hidrokarbon sayısı fazladır.

Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı, motorların yakıt besleme elemanlarına zarar vermektedir. Aynı zamanda motorlarda ilk hareket problemleri oluşur (Akyarlı 2004).

2.3.1.6 Yağlayıcılık

Motor elemanları (piston-segman bölgeleri, yakıt pompaları, enjektörler vb.) sürtünme ve aşınma problemlerini gidermek için yağlamaya ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde kullanılan dizel yakıtlarında kükürt oranı oldukça düşürülmüştür. Kükürt miktarı düşürülmüş dizel yakıtları için yağlama özelliğini arttıran katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak kullanılan katkı maddeleri miktarı arttığında yakıt besleme elemanlarında tortular oluşmaktadır. Biyodizelin çok iyi yağlayıcılık özelliği vardır. Yapılan çalışmaların bazılarında %0,15-0,50 (v/v) biyodizel eklemesi ile kükürtsüz dizel yakıtı için aşınma izi standartta bulunan 460 mikrometre değerinin altında kalmıştır (İnt.Kyn.6).

2.3.1.7 Toksik Etkisi

Biyodizel olumsuzluk teşkil edecek bir toksik etkisi yoktur. Biyodizel için ağız yoluyla alınmalarda öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup; tuzun, biyodizele göre 10 kat daha fazla öldürücü etkisi vardır. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyomotorinin ciltte, sabun çözeltisine oranla %4 daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel- motorin karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan standart koşulların kullanılması önerilmektedir (İnt.Kyn.5).

2.3.1.8 Biyobozunabilirlik

Biyodizel oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolaylıkla ve hızlı bir şekilde parçalanarak bozunurlar. 10000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığı zaman biyomotorin 28 günde %95, motorin ise %40

bozunabilmektedir. Biyodizel doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir (İnt.Kyn.5). Biyodizelin özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Biyodizel özelliklerinin dizel yakıt ile karşılaştırılması (Altınsoy 2007).

	DİZEL YAKITI (EN590)	BİYODİZEL (EN14214)
Yoğunluk (kg/m³) 15 °C	820-845	860-900
Viskozite (mm²/S) 40 °C	2,0-4,5	3,5-5,0
Parlama Noktası	>55	>=120
Yağlayıcılık	<=460	-
Su İçeriği	<=200	<=500
Setan Sayısı	>=51	>=51
Oksidasyon Sayısı	-	>=6
İyot Sayısı	-	<=120

2.3.1.9 Oksidasyon Kararlılığı

Kimyasal yapılarından dolayı biyodizelin oksidasyon kararlılığı fosil dizel yakıtlarına göre daha düşüktür. Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksek olmasına karşın, özellikle çoklu doymamış yağ asitleri oksidasyon kararlılığı bakımından düşüktür. Oksidasyon kararlılığı ham yağın tokoferol ve karoten (antioksidan) içeriğine de bağlıdır. Antioksidan katkıları kullanılır (Altınsoy 2007).

2.3.1.10 Karbon Artığı

Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı belirlenmektedir. Karbon artığı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Yapılan testler, biyodizelin pratikte neredeyse karbon artığı bırakmadığını ve maksimum değer olarak kütlelerin %0,4’ü kadar olduğunu göstermiştir (Akyarlı 2004).

2.3.1.11 İyot Sayısı

İyot sayısı bitkisel yağların özelliklerine ve çift bağ sayılarına göre değişkenlik göstermektedir. İyot sayısı yüksek olan yakıtlar, enjektör deliklerinde tıkanma ve yanma odasında hasar meydana gelmesine neden olmaktadır (Akyarlı 2004).

2.3.1.12 Kinematik Viskozite

Kinematik viskozite biyodizelin karakteristik özelliğidir. Viskozitenin yüksek olması yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmasına, enjektörlerde tıkanmalara, segmanlarda karbon birikimine ve yağlama yağının bozulmasına neden olmaktadır. Yine viskozitesi yüksek olan yakıtların pompalanması ve enjektörlerden püskürtülmesini kötüleştirir. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40°C'de 3,5-6 mm²/s arasında değişmektedir. Hidrokarbonların zincir uzunluğunun artması viskozitenin artmasına ve çifte bağ sayısının artması viskozitenin azalmasına sebep olur. Yüksek viskozite çıkması transesterifikasyon işleminin başarı ile tamamlanamadığının göstergesidir (Akyarlı 2004).

2.3.1.13 Kükürt İçeriği

Biyodizelde bulunan kükürt miktarı korozif etkiyi ve partikül oluşumunu artırır. Bu sebeple olumsuz bir özellik olarak karşımıza çıkar. Kükürt özellikle soğukta motor parçalarında korozyona sebebiyet verir. Kükürt miktarı motor hızına bağlı olarak yüksek hızlı motorlarda %1'in altında olmalıdır (Yamık 2002).

2.3.1.14 Su İçeriği

Bitkisel yağların yapısında normalde su bulunmaz. Ancak bitkisel yağların üretim aşamasında ve depolama sürecinde karışabilmektedir. Yakıtların belli oranlarda su içermelerinin motorlar için olumsuz bir etkisi yoktur. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde çürümelere neden olabilir (Altınsoy 2007).

2.3.1.15 Yağlama Yağının Seyrelmesi

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında ortaya çıkan olumsuzluklardan biri, yağlama yağının seyrelmesidir. Motor yağı ve biyodizelin motor içindeki direkt ilişkisi,

yakıt enjeksiyon pompasında ve silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonu yanma işlemi süresince olmaktadır. Araştırmalar yağlama yağı seyrelmesinin %4-5 oranında olduğunu göstermiştir (Karabektaş 2002).

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

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

- Fosil yakıtların tükeniyor olması ve bu nedenle petrol fiyatlarındaki sürekli artış,
- Fosil yakıtlarının kullanımının çevreye vermiş olduğu zararlar ve bu zararların önüne geçmek için ülkelerin enerji kaynaklarının çeşitliliğini arttırmak ve dışa bağımlılıktan kurtulma strateji ve çabaları,
- Savaş ve zorunlu hallerde stratejik yakıt olarak kullanılma özelliği,
- Tarım bitkileri, sanayi endüstrisi ile sinerjik bir potansiyel oluşturarak ülkenin kalkınmasında makro ekonomik bir değer haline getirme isteği,
- Setan sayısının motor üzerinde sağladığı avantajların petrol dizeline göre fazla olması ve yağlama özelliğinden dolayı motorlara yanma ve kullanım bakımından sağladığı faydalar,
- Küçük (evsel) ve sanayi tipi üretimin ekonomik olarak uygulanabilirliği,
- Parlama noktası petrodizele göre daha yüksektir. Bu sebeple taşıma ve depolanması itibarıyla dünya standartlarında “Tehlikeli Madde” kapsamında yer almaması, güvenli yakıt kabul edilmesi.
- Biyodizelin motorda kullanımında herhangi bir değişikliğe ihtiyacı olmaması, biyodizelin üstünlükleridir.

Bu üstünlüklere rağmen biyodizelin sakıncalı yönleri de vardır (Öğüt ve Oğuz 2005). Bunlar;

- Isıl değeri petrodizele göre düşüktür. Bu durum motordaki yanma sonucunda bir miktar güç düşmesine yol açar
- Soğuk hava koşullarında dizel oranla daha çabuk etkilenir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımına sınırlama getirir. Bunu aşabilmek için B20 kullanım formu tercih edilmektedir.
- Azot oksit emisyonu petrodizele göre biraz daha yüksektir. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak aşılabılır.
- Yağlama yağının seyrelmesine neden olmaktadır.

2.4 Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar

Işığgür ve vd. (1994), aspir yağı kullanarak elde ettikleri biyodizeli dört silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda aynı şartlarda dizel yakıtı ile motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından karşılaştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda biyodizel ile dizel yakıtı birbirlerine yakın özellikler göstermiştir. Biyodizelin CO ve HC emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Biyodizelin bir diğer üstün yanının ise dizel yakıtına göre çok az kükürt içermesi olduğunu belirtmişlerdir.

İlkılıç (1999), ayçiçek yağı ve pamuk yağından biyodizel üretimi üzerinde çalışmışlardır. Üretilen biyodizeli, dizel yakıtı ile %50 oranında karıştırarak tam yük şartlarında motorda test etmişlerdir. Yapılan deneylerde biyodizel yakıtı ile dizel yakıtı arasında çok büyük farklılıklar olmadığı sonucuna varmışlardır.

Ma vd. (1999), biyodizel üretim maliyetleri hakkında çalışma yapmışlardır. Maliyeti düşürebilmek için atık yağların kullanımı önerisinde bulunmuşlardır. Esterleşme reaksiyonunun; gliseritlerin alkole molar oranından, süre ve reaksiyon sıcaklığından, katalizörlerden etkilendiğini sonucuna ulaşmışlardır.

Altın vd. (2001), tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir Diesel motorunda bitkisel yağların ve onların metil esterlerinin kullanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak, bitkisel

yağlar ve esterlerinin, Diesel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğine karşın bitkisel yağların akış, atomizasyon ve ağır partikül emisyonları gibi problemleri olduğunu gözlemlemişlerdir.

Fukuda vd. (2001), yağlardan biyodizel üretimi üzerinde yaptıkları çalışmada enzim katalizör kullanımını önermişlerdir. Çalışmalar sonucunda üretilen gliserin, kolaylıkla ayrılmakta ve yağ asidi esterinin saflaştırılması kolaylaşmaktadır. Burada en büyük engelin ise lipazın üretim maliyeti olduğunu belirtmişlerdir.

Antolin vd. (2002), ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizelin optimum koşullarını incelemişlerdir. Saflaştırma metotları, sıcaklık koşulları, reaktantların oranı optimizasyon için önemli değişkenler olarak belirlenmiştir. Ayçiçek yağı metil esteri, dizel motorlarda, parlama noktası, viskozite, soğuk filtre tıkanma noktası ve asit değeri gibi özelliklerle yakıt olarak test edilmiştir. Sonuç olarak biyodizelin optimum koşullar altında fosil yakıtların yerine alternatif yakıt olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Yamık (2002), ayçiçeği yağından metil ve etil ester üretimi üzerine çalışma yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, metil esterlerin tam yükte motor performansının etil estere göre daha iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Acaroğlu (2003), çalışmasında bitkisel atık yağdan biyodizel üretimi için 1000 ml yağ, 200 ml alkol ve 3,5 g sodyum hidroksit değerlerini önermiştir.

Dorado vd. (2003), atık zeytinyağı metil esterini dizel enjeksiyonlu Perkins dizel motorunuda sabit hal işletim koşullarında test etmişlerdir. Yapılan çalışmada, biyodizel kullanımı ile CO, CO₂, NO ve SO₂ emisyonlarında azalma, NO₂ emisyonunda ise artış olduğu sonucuna varılmıştır.

Kim vd. (2004), yaptıkları çalışma bitkisel yağların heterojen bazik katalizör aracılığıyla transesterifikasyonunu üzerinedir. Yağın metanole oranı, katalizör miktarı, reaksiyon zamanı, karıştırma hızı ve yardımcı çözücü kullanımı gibi değişkenler

üzerinde durmuşlardır. Sonuç olarak Na / NaOH / - Al₂O₃ heterojen bazik katalizörü, optimize edilmiş reaksiyon koşullarında homojen NaOH katalizörü ile hemen hemen aynı aktiviteyi göstermiştir.

Çanakcı ve Özsözen (2005), atık mutfak yağının dizel yakıtına alternatif olarak değerlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Sonuç olarak ısıtma, katı parçacıkları filtreleme işlemlerinin sonucunda atık yağların transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Çaynak (2005), zeytinyağı fabrikalarının atığı olan pirina yağından biyodizel üretimi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada, kütlece %30 metanol/yağ oranında, 60±2°C sıcaklıkta, 60 dakika sürede, NaOH katalizörlüğünde, yağın kütlesine göre %80 verim ile en yüksek verime ulaşılmıştır. Üretilen yakıt, dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Sentezlenen organik esaslı mangan bileşiğinin katkı maddesi olarak biyodizele, 12 µmol mangan/l biyodizel oranında katılmasıyla, viskozitenin %20,37 azaltılması ve akma noktasının 0°C'den -15°C'ye düşürülmesi sağlanmıştır.

Çetinkaya vd. (2005), yağdan ürettikleri biyodizeli Renault Megane marka otomobilde test etmişlerdir. Biyodizel, dizel yakıtına göre bir miktar güç kaybına neden olmuştur. Kullandıkları katkı maddeleri ile biyodizelin özelliklerini iyileştirmişlerdir.

Felizardo vd. (2005), atık kızartma yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi üzerinde çalışmışlardır. Atık kızartma yağı, metanol ve katalizör olarak NaOH'i kullandıkları transesterifikasyon reaksiyonu bir saat sürmüştür. Biyodizel üretimi için optimum koşulları belirlemek amacıyla yapılan deneylerde metanol/yağ oranları (molar) 3,6 ile 5,4 arasında ve katalizör/yağ oranları (ağırlıkça) %0,2 ile %1,0 arasında seçilmiştir. Metil esterlerin en yüksek verimi metanol/yağ oranı için 4.8'de ve katalizör/yağ oranı için de %0,6'da verdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak metanol veya katalizör miktarı artışının metil ester fazının ayrılmasını basitleştirdiği, viskoziteyi düşürdüğü ve saflığı %98'in üzerine çıkardığı belirlenmiştir.

İçingür ve Yamık (2005), ayçiçek yağı etil esteri ile dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli bir dizel motoru ile testler yapmışlardır. Bu testlerde motor performansını, duman koyuluğunu, avansa bağlı moment değişimini ve ses seviyesini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. İki yakıt arasında benzer özellikler olduğu ve ayçiçek yağı etil esterinin gelecekte alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Noureddini vd. (2005), yaptıkları çalışma soya yağının etanol ve metanol ile olan enzimatik transesterifikasyonu üzerinedir. 9 tür lipaz ile yaptığı testler sonucunda Pseudomonas Cepacia'dan elde ettiği lipazın en yüksek alkil ester verimi verdiği ve hareket kabiliyeti olmayan lipazın serbest enzime oranla daha aktif olduğu sonucuna varılmıştır.

Usta (2005), tütün tohumu yağı kullanarak metil ester eldesi üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmalarda, metil ester 2 numaralı dizel yakıtına eklenmiş ve yakıtın etkisi dört zamanlı, dört silindirli, turbo kompresörlü bir dizel motorunda araştırılmıştır. Tütün tohumu metil esterinin, dizel yakıtla %25-30 oranına kadar karıştırılarak dizel motorunda herhangi bir değişikliğe gerek duyulmaksızın kullanılabilmesini belirtilmiştir.

Fedai (2006), yaptığı çalışmada, kanola yağını kullanarak biyodizel üretmiştir. Alkol oranı, sıcaklık, katalizör oranı, reaksiyon süresi gibi parametreleri göz önünde bulundurarak 16 adet biyodizel numunesi üretmiştir. Üretilen numunelerde ester, linolenik, mono-di, trigliserit, serbest ve toplam gliserin miktarı, viskozite, yoğunluk, alevlenme noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası analizleri yapmıştır. Parametrelere göre değişimleri incelemiş ve uygun reaksiyon koşulları olarak 55°C sıcaklık, %25 metanol, %1,05 NaOH ve 1 saat reaksiyon süresini belirlemiştir.

Leung vd. (2006), biyodizelin farklı depolama şartlarında bozunmasını inceleyen bir çalışma yapmışlardır. 12 farklı biyodizel örneği 52 hafta boyunca farklı ortam ve sıcaklıklarda gözlenmiştir. 4-20°C arasında bozunmanın en az seviyede, 40°C

civarındaki sıcaklıkta ise en fazla olduğu görülmüştür. Test sonuçları neticesinde yüksek sıcaklıklarda havanın etkisi ile bozunma hızında artış görülmüştür.

Haşimoğlu vd. (2007), rafine ayçiçek yağı kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişlerdir. Bu yakıtı; aşırı doldurmalı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Yapılan deneylerde kısmi yük şartlarında motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimlerde incelemişlerdir. Motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimlerin biyodizelin alt ısı değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasının başlıca etken olduğu sonucuna varmışlardır.

Uzun ve vd. (2007), çalışmalarında rafine ayçiçek yağı katalizör olarak KOH ve metanol kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişlerdir. Yapılan deneylerde reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi parametrelerinin yakıt özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak reaksiyon sıcaklığının etkisinin 25°C' den, 65°C' ye kadar artış gösterdiği, sonrasında düştüğünü gözlemlenmiştir. Reaksiyon süresi değişiminde ise 1 saatte en yüksek verim elde edilmiştir. 1 saatin üzerindeki sürelerde ise verimde düşüş belirlenmiştir. Reaksiyon süresi yükseldikçe sabunlaşan madde ve kayıp miktarında artış olduğunu belirtmişlerdir.

Sugözü vd. (2009), transesterifikasyon metodu ile ayçiçeği yağından biyodizel üretmişlerdir. Üretmiş oldukları yakıtı tek silindirli, dört zamanlı ve ön yanma odalı bir dizel motorunda farklı hızlarda test etmişlerdir. Testlerde, %100 ayçiçeği yağı metil esterleri (B100) ve %50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılan ayçiçeği yağı metil esterleri (B50) kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda karışım yakıt kullanımı ile motor momenti ve gücünde azalma görülmüş, özgül yakıt tüketiminde ise artış gözlemlenmiştir. B50 ve B100 yakıtları ile CO emisyonlarında azalma, NOx emisyonlarında artış olduğu tespit edilmiştir.

Eryılmaz (2009), yaptığı çalışmada hardal yağı biyodizelinin farklı karışım oranlarının dizel motorunda performans etkilerini incelemiştir. Motor momenti ve torku bakımından B20 yakıtı tüm devirlerde, B100 yakıtı ise (2700 ve 2770 1/min) devirleri haricinde dizel yakıtına göre daha yüksek değerler verirken, B2 kullanımında dizel

yakıtına yakın sonuçlar elde etmiştir. SFC değerleri bakımından B100 kullanımında dizel yakıtına göre yüksek, B20 ve B2 yakıtlarında ise daha düşük değerler elde etmiştir. Yabani hardal yağı biyodizeli ve karışımları, özellikleri bakımından dizel motorunda kullanıma oldukça uygun bir yakıt olacağı sonucuna varmıştır.

Literatürde yapılan birçok çalışmada bitkisel yağlardan biyodizel üretimi ve üretim prosesinin optimizasyonu çalışmalarına rastlanmıştır. Hardal yağından biyodizel üretimi ve motor performans testlerinin incelendiği çalışmalarda bulunmaktadır. Bu çalışma ise hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu da yapılarak literatüre katkı sağlanmış, optimize edilen yakıtın özellikleri ve motor performansı incelenmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Biyodizel Üretimi

Yapılan çalışmada, hardal yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı parametrelerinin (reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, katalizör oranı, alkol oranı) verim üzerine olan etkileri incelenmiştir. Deneylerde metil alkol (CH_3OH) ve katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Biyodizeli saflaştırma sürecinde suyla yıkama yöntemi uygulanmıştır. %100 hardal yağı metil esteri (B100) ve %50 hardal yağı metil esteri -%50 dizel yakıtı (B50) karışımları tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı motor hızlarında test edilmiştir. Üretilen biyodizellerin egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Ayrıca hardal yağından elde edilmiş olan biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür.

3.1.1 Deney Düzenegi

Optimizasyon ve biyodizel üretim sürecinde kullanılan deney düzeneginde; manyetik karıştırıcı ısıtıcı, reaktör kabı, termometre, geri soğutucu, manyetik balık kullanılmıştır. Deney düzenegi Resim 3.1’de gösterildiği gibidir.



Resim 3.1 Optimizasyon ve biyodizel üretiminde kullanılan deney düzenegi.

3.1.2 Terazi

Optimizasyon ve biyodizel üretim aşamasında katalizör, metanol, hardal yağının ve reaksiyon süreci sonundaki numunenin tartılmasında RADWAG marka AS 220/C/2 model terazi kullanılmıştır. Dijital terazi 0,1 mg hassasiyetli, maksimum ölçümü 220 g ve minimum ölçebileceği değer 10 mg'dır. Resim 3.2'de terazinin genel görünümü verilmiştir.



Resim 3.2 Çalışmada kullanılan analitik terazi.

3.1.3 Santrifüj

Optimizasyon ve üretim sürecinde kullanılan santrifüj cihazı yüksek devir sayısı ile tüplere yerleştirilen karışımların çökeltme prensibine göre ayrışmasını sağlar. Cihaz, yıkama işlemi sonrasında henüz ayrışmamış olan gliserin tabakasının merkezkaç kuvveti yardımıyla tüpün alt kısmında toplanır. Tüplerin üst kısmında kalan biyodizel damlalık yardımıyla alınarak ayrışma işlemi gerçekleşir. Yapılan çalışmada kullanılan 12x15 ml. tüp kapasiteli, maksimum 5000 rpm dönme hızı olan, dijital hız ve zaman ayarlı ELEKTRO-MAG marka (M 4812 P) santrifüj Resim 3.3'de gösterilmiştir.



Resim 3.3 Gliserin fazının çöktürülmesinde kullanılan santrifüj.

3.1.4 Manyetik Karıştırıcı

Optimizasyon ve biyodizel üretim süresince kullanılan, 340 °C'ye kadar sıcaklık kontrol kapasiteli, seramik kaplamalı Dragon-lab marka manyetik karıştırıcılı ısıtıcı Resim 3.4'de gösterilmiştir.



Resim 3.4 Karıştırma ve ısıtma işlemlerinde kullanılan manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.

3.1.5 Metil Alkol (Metanol)

Hardal yağından biyodizel üretmek için, çalışmalarda metil alkol olarak CH_3OH kimyasal formüle sahip Merck marka metil alkol kullanılmıştır. Moleküler ağırlığı 32,04 g/mol ve $20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de yoğunluğu 0,791-0,793 kg/l olan metil alkolün Resmi 3.5'de verilmiştir.



Resim 3.5 Biyodizel üretiminde kullanılan metil alkol.

3.1.6 Katalizör

Biyodizel üretiminde kullanılan, saflık değeri %97'den büyük olan, molekül ağırlığı 39,997 g/mol olan Carlo Erba marka sodyum hidroksit (NaOH) Resmi 3.6'da verilmiştir.



Resim 3.6 Biyodizel üretiminde kullanılan katalizör.

3.1.7 FFA Tayini

Hardal yağı içindeki serbest yağ asidi miktarının ölçümünde titrimetrik metod kullanılmıştır. Ayarlı 0,1 N etanollü potasyum hidroksit çözeltisi (KOH), %1'lik fenolftalein çözeltisi (%95'lik etanolde hazırlanmış) ve %97'lik etanol ve dietil eter karışımı kullanılarak hardal yağı serbest yağ asidi içeriği ölçülmüştür. 10 g deney numunesi tartılarak bir erlene alınmıştır. Yarı yarıya hazırlanan 100 mL dietileter ve etanol karışımı üzerine eklenerek çözünme sağlanana kadar karıştırıldı. 2-3 damla fenolftalein çözeltisi eklenerek bürete doldurulan 0,1 N ayarlı etanollü potasyum hidroksit çözeltisi ile erlende pembe renk gözleninceye kadar titre edilmiştir (Tütüncü 2013).

Hesaplamalar

Harcanan her mL 0,1 N KOH 0,028 g oleik aside eşdeğerdir.

$$%A = (V \times 0,028 \times 100)/m$$

Burada;

V = Titrasyonda harcanan 0,1 N potasyum hidroksit çözeltisi hacmi (ml)

m = Örnek numunesinin ağırlığı (g)

3.1.8 Biyodizel Optimizasyonu

Ticari bir firmadan elde edilen hardal yağının, Fenolftalein ve potasyum hidroksit kullanılarak FFA değeri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonunda FFA değeri %1,67 bulunmuştur. FFA değerinin %2'den düşük olması sebebiyle tek basamaklı transesterifikasyon metodu uygulanmıştır. Reaksiyonda katalizör olarak NaOH, alkol olarak ise CH₃OH kullanılmıştır.

NaOH ve CH₃OH manyetik karıştırıcılı ısıtıcı kullanılarak, geri soğutucu altında 40 °C' de 30 dakika ısıtılmıştır. Böylelikle katalizör ve metanol karışımının aktive olması sağlanmıştır. Karışıma hardal yağı eklenerek tekrar geri soğutucu altında ısıtılmıştır. Deneilerin tamamında karıştırma hızı 600 rpm ve hardal yağı 150 g olarak reaksiyona sokulmuştur.

Reaksiyon sonunda gliserin fazını ayırmak için ayırma hunisi kullanılmıştır. Ayırma işlemi Resim 3.7’de gösterilmiştir. Ayırma işlemi sonunda hunide kalan biyodizeli saflaştırmak amacıyla 90°C’de saf su ile yıkama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem her numune için 5 defa uygulanmıştır. Ortamda kalan su ve alkolü tam olarak uzaklaştırmak için biyodizel 110 °C’ye kadar ısıtılmıştır.

Çalışmada optimum üretim şartlarını belirlemek için farklı parametreler (reaksiyon süresi, sıcaklık, katalizör oranı, metanol oranı) kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklıkları 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C olarak değiştirilmiştir. Katalizör oranı yağa göre ağırlıkça %0,25, %0,5, %0,75, %1, %1,25 oranlarında kullanılmıştır. Metanol oranı, yağa göre %10-30 değerleri arasında, reaksiyon süreleri ise 30, 60, 90, 120, 150 dakika olarak değiştirilmiştir. Üretilen numune örnekleri Resim 3.8’de gösterilmiştir.



Resim 3.7 Ayırma hunisi ile gliserin fazını ayırma işlemi.



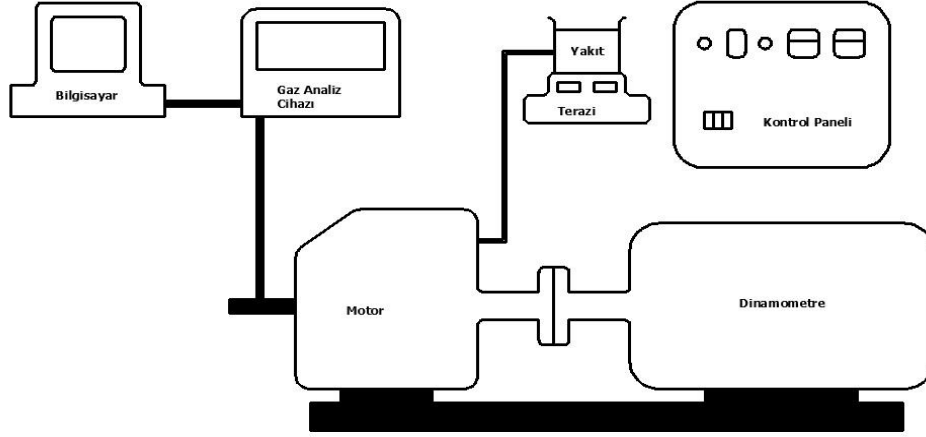
Resim 3.8 Üretilen biyodizel numune örnekleri.

3.2 Motor Test ve Emisyon Ölçümü

3.2.1 Deney düzeneği

Motor performans ve emisyon testleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında yapılmıştır. Testlerde gaz kelebeği tam açık ve sabit konumda, dinamometre yükü değiştirilerek farklı motor devirleri şeklinde yapılmıştır. Deneyler, motor yüksüz ve tam gaz konumunda başlamış dinamometre ile motor yüklenerek motor en düşük devre ininceye kadar belirli devir aralıklarında yüklemeler yapılmıştır. Yakıt tüketimi, emisyon değerleri, motor devir ve moment değerleri kaydedilmiştir. Motor momenti ve motor devri verileri, aynı şartlar altında uygulanan en az iki test sonucunun aritmetik ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Hassas kronometre ve terazi kullanılarak ölçülen yakıt sarfiyatı, baz olarak 1 dakikadaki yakıt tüketimlerine göre kaydedilmiştir. Emisyon cihazının her bir test noktasından alınan 40 değer aritmetik ortalaması hesaplanarak emisyon değerleri kaydedilmiştir. Testlerde motor performans ve egzoz emisyon değerlerini kaydetmek için dinamometre ile motor yüklendikten sonra motor devri ve motor momentinin sabit olması beklenmiş bu noktadan sonra değerler kaydedilmiştir.

Şekil 3.1’de deney düzeneğinin şeması görülmektedir. Testler dizel motor elektrikli dinamometre tezgahına bağlanarak yapılmıştır.



Şekil 3.1 Test düzeneği.

3.2.2 Emisyon Cihazı

Egzoz emisyon değerlerinin ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Resim 3.9’da kullanılan emisyon cihazı görülmektedir.

Çizelge 3.1 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO	0 ... +10000 ppm CO	±10% ölç.değ. (+2001 ... +10000
	±5% ölç.değ. (+200.. +2.000 ppm CO)	±10 ppm CO (0 ... +199 ppm CO)
CO ₂	0 ... +50 Vol. % CO ₂	±0.5 Vol. % CO ₂
	±0.3 Vol. % CO ₂	+ 1.5% ölç.değ. (>25 ... 50 Vol. %
	+ 1% ölç.değ. (0 ... 25 Vol. % CO ₂)	0.01 Vol. % CO ₂
NO _x	0 ... +4000 ppm NO _x	±10% ölç.değ. (+2000 ... +4000
	±5% ölç.değ. (+100 ... +1.999	±5 ppm CO (0 ... +99 ppm CO)
O ₂	0 ... +25 Vol. % O ₂	±0.8% tam ölçüm skalası (0 ... +25 Vol. % O ₂)



Resim 3.9 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı.

3.2.3 Kontrol Paneli

Motor performans ve egzoz emisyon ölçümlerinde kullanılan kontrol panelinde sistemin açılıp kapanmasını sağlayan start/stop düğmeleri ve dinamometre yüklemesini sağlayan reostalı düğme bulunmaktadır. Panel üzerinde bulunan göstergelerden ise motorun devri, sistem gerilimi ve akım değerleri okunabilmektedir. Kontrol paneli Resim 3.10'da görülmektedir.



Resim 3.10 Dinamometre Kontrol Paneli.

3.2.4 Moment Ölçer (Loadcell)

Motor performans testlerinde kullanılan ve moment değerlerinin ölçümünü sağlayan cihaz %0,003 hassasiyete sahiptir. Moment ölçerin genel görünüşü, Resim 3.11’de görülmektedir.



Resim 3.11 Moment Ölçer (Loadcell).

3.2.5 Terazi

Yakıt sarfiyatı ölçümlerinde kullanılan dijital terazi, 1 g hassasiyetinde ve maksimum 30 kg’a kadar ölçüm yapabilmektedir. Densi marka terazi Resim 3.12’de görülmektedir.



Resim 3.12 Densi PC-100 W-30SS marka terazi.

3.2.6 Belirsizlik Analizi

Motor performansına ait verilerin alınması ve hesaplanmasına ait yapılan belirsizlik analizinde değerlerdeki hata oranları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Hata oranlarının (belirsizliklerin) %1 ile %1,5 arasında olmasının grafikler üzerinde bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.2 Belirsizlik analizi.

Parametreler	Özellikler
Tork (Nm)	Belirsizlik = $\pm\%1$
Güç (kW)	Belirsizlik = $\pm\%1,41$
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Belirsizlik = $\pm\%1,5$

3.2.7 Metot

Testler motorun farklı devirlerinde yapılmıştır. Farklı yakıt karışımları için motor performansı ve emisyon ölçümleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Motorun uygun çalışma sıcaklığına gelmesiyle, dinamometre ile yükleme yapılarak motor devri istenen devre getirilmiştir. Her yakıt karışımının moment, güç ve özgül yakıt tüketimi olan motor performans değerleri ve CO, NO_x değişimleri kaydedilmiştir.

Test motorunda değişik devir testleri yapılmıştır. Her karışım için motor performans değerleri ve emisyon ölçümleri ayrı ayrı yapılmıştır. Motor uygun çalışma sıcaklığına ulaşıncaya kadar dinamometreyle yükleme yapılarak motor devri istenen devre getirilmiştir. Elektrikli dinamometre, 1-12 kW arasında güç ölçüm kapasitesine sahiptir. Emisyon test cihazından alınan verilerin kayıt ve düzenleme işlemleri için dizüstü bir bilgisayar ve emisyon cihazının test kayıt programı kullanılmıştır. Her test durumu için en az 40 emisyon değeri alınarak doğru sonuçların belirlenebilmesi sağlanmıştır. Motor devri ve motor momenti sonuçları için her test aşamasında 5 değer kaydedilmiştir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar elde edilmiştir.

3.3 Yakıt Analizi

3.3.1 Viskozite Tayini

Üretilen biyodizelin viskozite ölçümü Omnitek U-VIsc 200 tam otomatik viskozite analiz cihazı ile yapılmıştır. Cihaz iki adet birbirinden bağımsız çalışan banyo ve her bir banyoda 1 adet U-VIsc Kapiler tüp bulunmaktadır. Yüksek kalite sıcaklık kontrol ünitesi analizlerin ASTM D445 standardına uygun gerçekleşmesini sağlamaktadır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir (İnt.Kyn.7). Resim 3.13’de ise Omnitek U-VIsc 200 marka viskozite tayin cihazının genel görünümü verilmiştir.

Çizelge 3.3 Viskozite tayin cihazının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Ölçüm aralığı	0,5 – 5,000 cSt @ 40 °C
Sıcaklık aralığı	25 – 110 °C
Sıcaklık kararlılığı	±0.005 °C @ 40 °C, ±0,015 @ 100 °C
Numune miktarı	8 ml
Kimyasal sarfiyatı	10-12 ml /döngü
Numune kapasitesi	20 numune/saat
Standartlar	ASTM D445, D446, 2270, ISO 3104 ve 3105 ile kinematik viskozite ile ilgili standartlar
Ebatlar	705 x 588 x 693mm. (U x G x Y)
Viskometre tüpü	Modifiye Ubbelohde
Algılayıcı tipi	Termistor
Bağlantı	RS-232C



Resim 3.13 Viskozite tayin cihazı.

3.3.2 Parlama Noktası Tayin Cihazı

Biyodizelin parlama noktası, Normalab NPM 440 parlama noktası tayin cihazı ile TS EN ISO 2719 standartlarına uygun olarak ölçüm yapılmıştır. Resim 3.14'de cihazın genel görünümü verilmiştir. Cihazın bazı özellikleri şunlardır;

- İyonizasyon halkası ve termokupl ile parlama noktası tespiti
- Otomatik Alev söndürme
- Kalibrasyon parametrelerine hızlı erişim
- Veri depolama: 200 sonuç
- Test Sıcaklık Dayanımı: 400 °C'ye kadar (İnt.Kyn.8).



Resim 3.14 Parlama noktası tayin cihazı.

3.3.3 Yoğunluk Tayin Cihazı

Biyodizelin yakıtının yoğunluk ölçümleri Rudolph DDM 2911 marka cihaz ile yapılmıştır. Cihazın bazı teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir (İnt.Kyn.9). Benzin, dizel ve fuel oil yakıtlarının yoğunluklarının ölçümlerinde kullanılan cihazın genel görünümü Resim 3.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Parlama noktası tayin cihazının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Minimum numune hacmi	Az 1 ml
	Yoğunluk 0-3 g/ cm ³
Ölçüm Aralıkları	Sıcaklık: 0-95 °C (Peltier’i üzerinden kontrol) Basınç: 0-10 bar
Ölçme Tekniği	Mekanik Osilatör Yöntem
Ölçüm Zaman	30-60 saniye
Ölçüm Modları	Kesintisiz, Tek, Çoklu



Resim 3.15 Yoğunluk tayin cihazı.

3.3.4 Kükürt Tayin Cihazı

Biyodizel yakıtlarının kükürt tayini Biolab Sindie OTG marka taşınabilir kükürt analiz cihazı ile yapılmıştır. Cihazın bazı teknik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir (İnt.Kyn.7). Cihaz ile gerçekleştirilen bütün analizler ASTM D7039 ve ISO 20884 standartlarına uygun olarak gerçekleşmektedir. Kükürt oranı ölçümlerinde kullanılan cihazın genel görünümü Resim 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.5 Yoğunluk tayin cihazının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Test Metodu	ISO 20884 ve ASTM D7039
Boyutlar	33 cm (G) x 30 cm (D) x 23 cm (Y)
Güç	100-120 VAC, 47-63 HZ at 6,0 Amps/200-240 VAC, 47-63 HZ at 6,0 Amps
Numune Hacmi	Maksimum numune kabı hacmi: 1 ml
Ortam Sıcaklığı	5-40 °C (40-104 °F)
Ölçüm	30s - 900s



Resim 3.16 Kükürt tayin cihazı.

3.3.5 Su Tayin cihazı

Biyodizelin su tayini Aquamax KF marka cihaz ile TS 6147 EN ISO 12937 standardına uygun yapılmıştır. Cihaza ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.7’de verilmiştir (İnt.Kyn.10). Su tayin cihazının genel görünümü Resim 3.17’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.6 Kükürt tayin cihazının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	
Titrasyon yöntemi	Kulometrik Karl Fischer titrasyonu
Maksimum titrasyon hızı	Dakikada 2,24 mg
Ölçüm aralığı	Olası: 1ug - 200 mg su. Tipik: 1ug - 10mg su
Maksimum akım	400 ma
Sonuç göstergesi	Görsel/çıktı/sesli uyarı



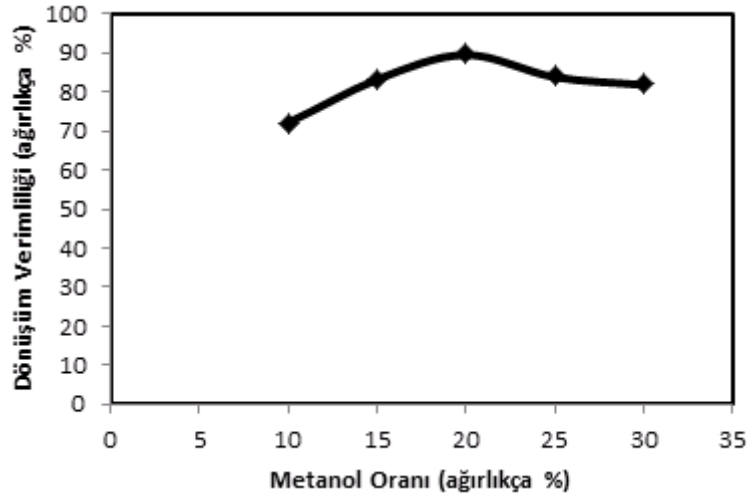
Resim 3.17 Su tayin cihazı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri

4.1.1 Metil Alkol Oranının Verim Üzerine Etkisi

Yapılan deneylerde verime etki eden parametrelerden birisi metil alkol oranıdır. Metil alkol oranının verime etkisi incelenirken diğer değişken oranları sabit tutulmuştur. Deneyler metil alkolün, yağa göre ağırlıkça yüzdeleri %10, %15, %20, %25, %30 olacak şekilde yapılmıştır. Sırasıyla 15 g, 22,5 g, 30 g, 37,5 g, 45 g metil alkol ile yağa göre ağırlıkça %0,75 g katalizörün üzerine 150 g hardal yağı eklenmiştir. Karışımlar 600 d/d karıştırma hızı, 60 °C sıcaklık ve 90 dakika süresince reaksiyona sokulmuştur. Gerçekleşen reaksiyonların verim üzerindeki etkisi Şekil 4.1’de verilmiştir.



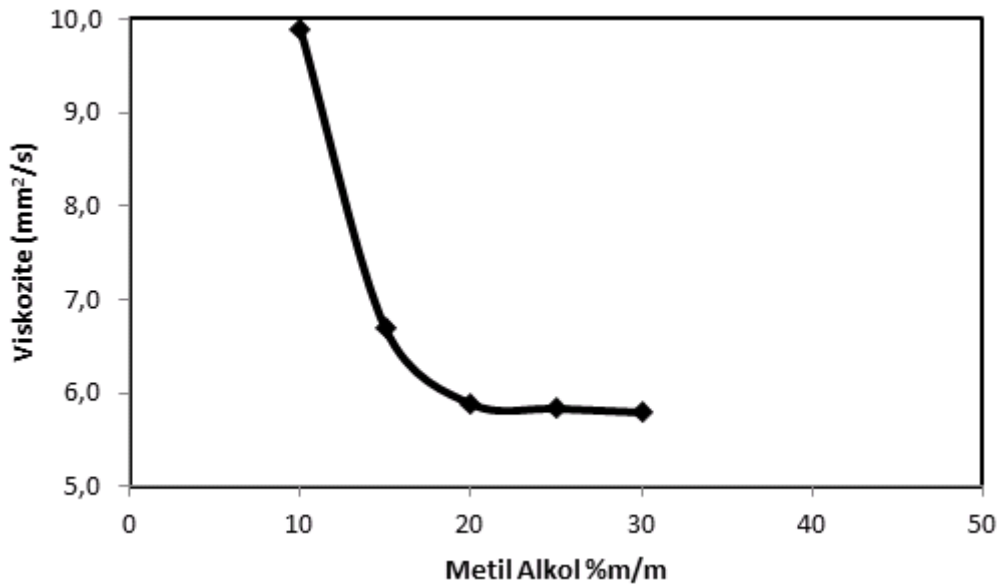
Şekil 4.1 Metil alkol miktarının metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.

4.1.2 Metil Alkol Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi

Metil alkol oranının viskozite üzerine etkisini incelemek üzere yapılan analizlere ait veriler Çizelge 4.2’de verilmektedir. Şekil 4.2’de ise metil alkol oranına göre viskozite değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Metil alkol miktarının viskozite üzerine etkisi.

Metil Alkol, (ağırlıkça %)	Viskozite, (mm ² /s)
10	9,899
15	6,693
20	5,886
25	5,834
30	5,794



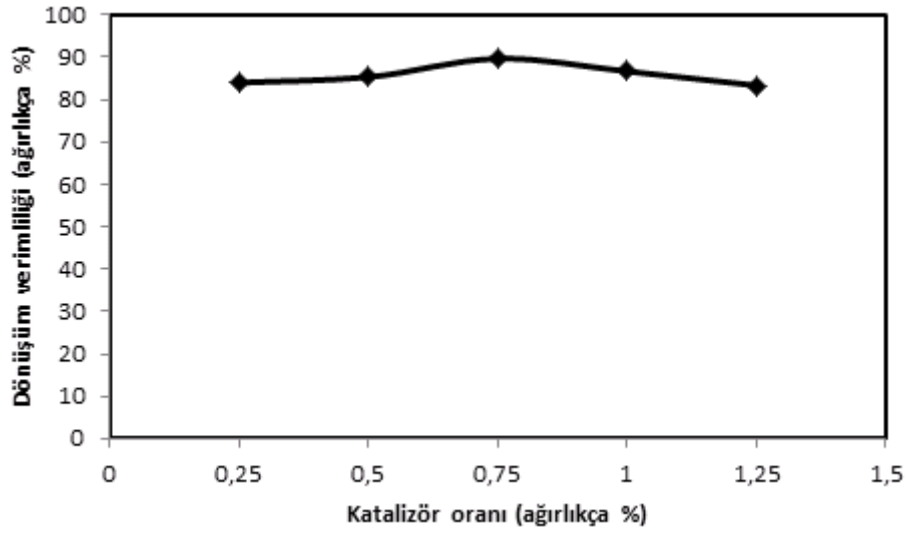
Şekil 4.2 Metil alkol oranına bağlı olarak viskozite değişimi.

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi, metil alkol oranına bağlı olarak viskozite değişimi grafiğe aktarıldığında, metil alkol oranı arttıkça viskozitenin düştüğü gözlenmiştir. Viskozite, yağa göre ağırlıkça %20’lik metil alkol oranına kadar büyük düşüş göstermiş ancak daha sonrasında büyük değişiklikler olmamıştır. Metil alkol oranının viskozite üzerine etkisi bazı literatür değerleri ile benzerlik göstermiştir. Metil alkol oranı arttıkça viskozite düşmüştür (Artukoğlu 2006).

4.1.3 Sodyum Hidroksit Miktarının Verim Üzerine Etkisi

Yapılan çalışmada katalizör oranının verim üzerine etkisini belirlemek için diğer tüm değişkenler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda katalizör oranı yağ’a göre ağırlıkça %0,25, %0,5, %0,75, %1, %1,25 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre sırasıyla 0,375 g, 0,75 g, 1,125 g, 1,5 g, 1,875 g katalizör kullanılmıştır. Belirlenen

katalizör oranları sırasıyla, yağa göre ağırlıkça %20 metil alkol ile reaksiyona sokularak üzerine 150 g hardal yağı eklenmiştir. Tüm deneylerde karıştırma hızı 600 d/d, reaksiyon süresi 90 dakika ve sıcaklık 60 °C olacak şekilde tamamlanmıştır. Reaksiyonların verim oranına etkisi Şekil 4.3’de verilmiştir.



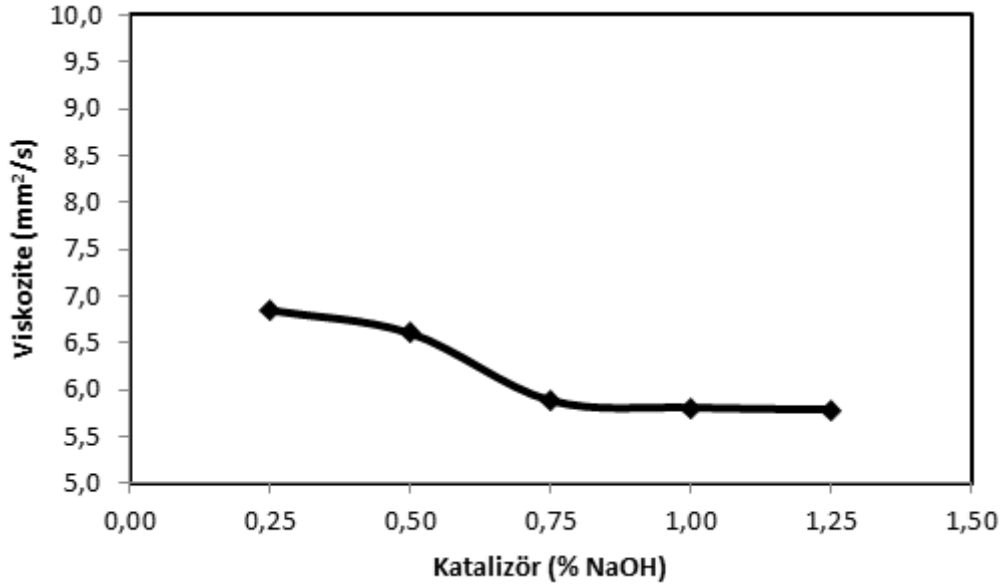
Şekil 4.3 Sodyum hidroksit miktarının metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.

4.1.4 Sodyum Hidroksit Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi

Yapılan deneylerde, hardal yağının ağırlıkça %0,25’i, %0,5’i, %0,75’i, %1’i, %1,25’i oranlarında kullanılan sodyum hidroksitin viskozite üzerine olan etkisi Çizelge 4.2 ‘de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sodyum hidroksit miktarının viskozite üzerine etkisi.

NaOH, (ağırlıkça %)	Viskozite, (mm ² /s)
0,25	6,848
0,5	6,604
0,75	5,886
1	5,810
1,25	5,790

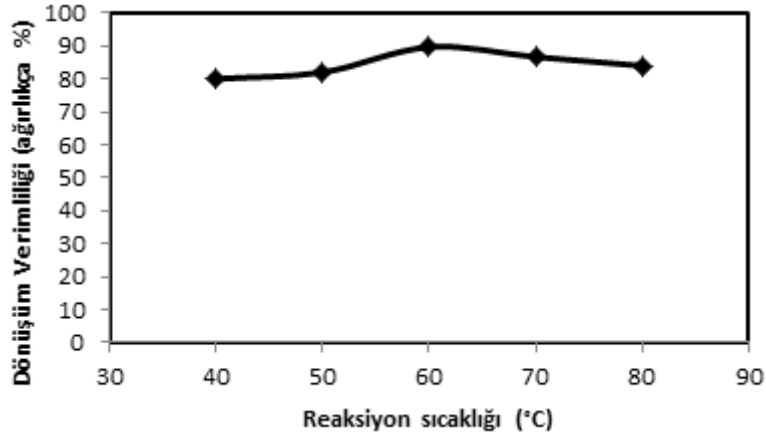


Şekil 4.4 Sodyum hidroksit oranına bağlı olarak viskozite değişimi.

Şekil 4.4’de sodyum hidroksit oranına bağlı olarak viskozite değişimi verilmiştir. Sodyum hidroksit oranının artmasına bağlı olarak viskozitenin azaldığı ve %0,75’lik katalizör/yağ oranından sonra fazla değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bu veriler bağlı olarak %0,75 oranında katalizör kullanımı ile reaksiyonun tamamlandığı söylenebilir.

4.1.5 Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerine Etkisi

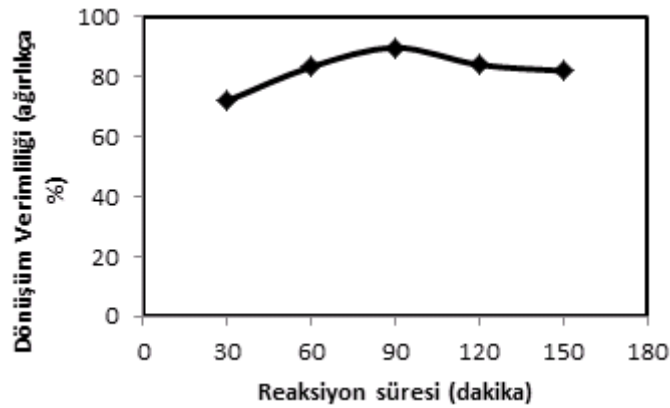
Yapılan çalışmada reaksiyon sıcaklığının verim üzerine etkisini incelemek amacıyla diğer parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Yağa göre ağırlıkça %0,75 katalizör üzerine, yağa göre ağırlıkça %20 metil alkol ve 150 g hardal yağı eklenerek sırasıyla 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C’de deneyler gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonların tümünde karıştırma hızı 600 d/d, reaksiyon süresi 90 dakikadır. Bu koşullar altında gerçekleşen deneylerde sıcaklığın verim oranına etkisi Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 Sıcaklığın metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.

4.1.6 Reaksiyon Süresinin Verim Üzerine Etkisi

Optimum reaksiyon süresini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada diğer parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Reaksiyon süreleri 30, 60, 90, 120, 150 dakika olarak belirlenmiştir. Yağ göre ağırlıkça %0,75 katalizör üzerine yine ağırlıkça %20 metil alkol ve 150 g hardal yağı eklenerek reaksiyonlar başlatılmıştır. 60 °C sıcaklık ve 600 devir/dakika karıştırma hızı ile reaksiyonlar 30, 60, 90, 120, 150 dakika boyunca sürdürüldü. Bu şartlar altında gerçekleşen reaksiyonların verim üzerine etkisi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Reaksiyon süresinin metil ester reaksiyonu verimi üzerine etkisi.

4.1.7 Hardal Yağı Biyodizelinin Özellikleri

Yapılan çalışmada biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Ölçümler Afyon

Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Akaryakıt Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Optimum koşullarda üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler.

Özellikler	Sonuçlar
Kükürt (% m/m)	1,9
Viskozite (mm ² /s)	5,886
Yoğunluk (g/cm ³)	0,886
Parlama noktası (°C)	171
Su (ppm)	420

4.2 Motor Performansı ve Emisyonları Ölçümleri

4.2.1 Testler Sonunda Yapılan Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Yapılan motor testleri sonucunda elde edilen verilerle yapılan hesaplamalarda kullanılan formüller aşağıda verildiği gibidir.

- **Motor torku;**

$$Md = m \cdot 9,81 \cdot L \text{ (Nm)}$$

m(kg) : Göstergede okunan fren kuvveti değeri

L(m) : Moment kolunun uzunluğu

- **Motor gücü;**

$$Pe = \frac{Md \cdot n}{9549,3} \text{ (kW)}$$

Md (Nm) :Motor torku

n (rpm) :Motor devri

- **Özgül yakıt tüketimi;**

$$be = \frac{3600 \cdot m_y}{P_e \cdot \Delta t} \text{ (g/kWh)}$$

m_y (g) :Tüketilen yakıt miktarı

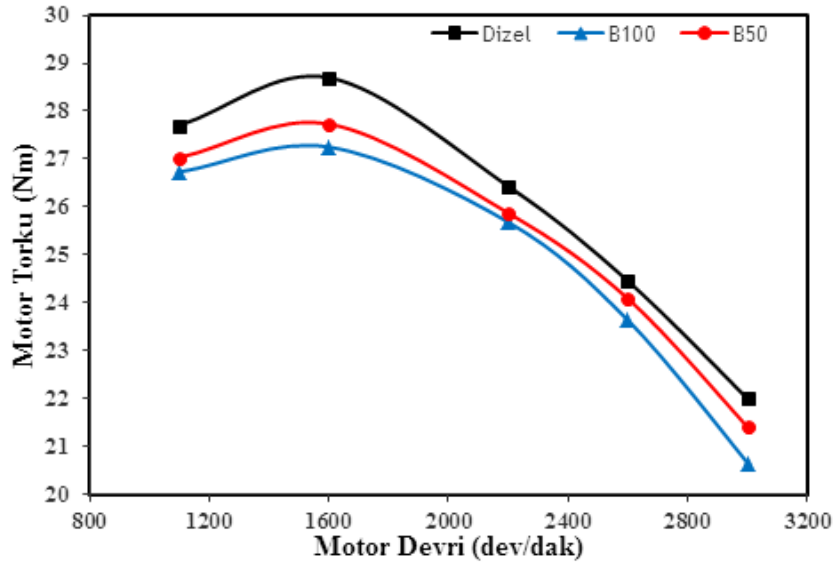
P_e (kW) :Efektif güç

Δt (s) :Zaman aralığı

4.2.2 Motor Performans ve Özgül Yakıt Tüketimi Etkisi

Motor devrine bağlı olarak efektif güç, tork ve özgül yakıt değişimi dizel, B50 ve B100 yakıtları için tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir.

Motor Torku Değişimi;

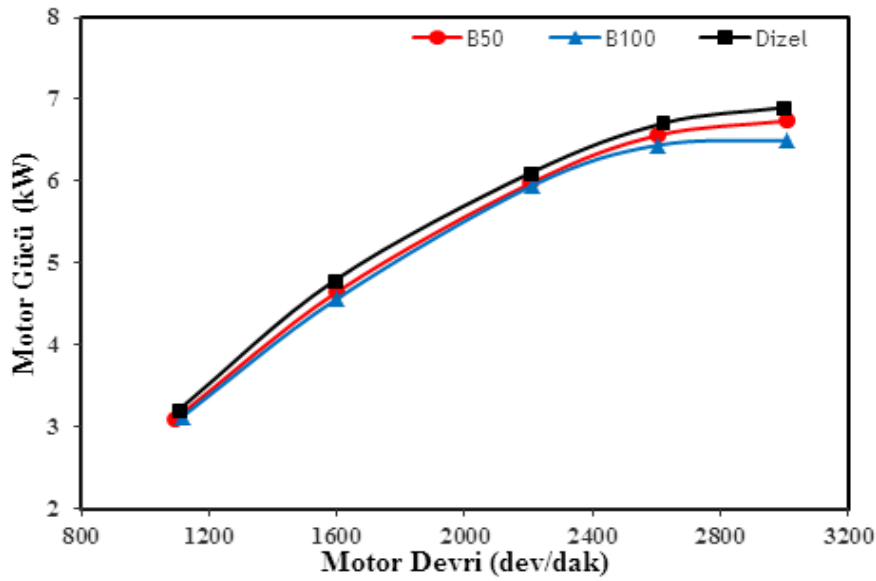


Şekil 4.7 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor torklarının değişimi.

Şekil 4.7’de motor devrine bağlı olarak motor torku değişimleri verilmiştir. Yapılan deneylerde B50 ve B100 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre ortalama olarak sırası ile %2,5 ve %4,2 oranında azalmalar görülmüştür. En yüksek motor tork değerine tüm yakıtlar için 1600 devir/dakika motor devrinde ulaşılmıştır. Tork değerlerinin daha

düşük olması biyodizelin alt ısı değerinin dizel yakıtına göre daha düşük, viskozitesinin ise yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda görüldüğü gibi biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre motor tork değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Pamuk çekirdeği metil esteri ile yapılan bir çalışmada, uygulanan tüm devirler için motor torku ve motor gücünde dizel yakıtına göre %3-9 arasında azalma olduğu belirtilmiştir (Yücesu ve İlkılıç 2006).

Motor gücü değişimi;



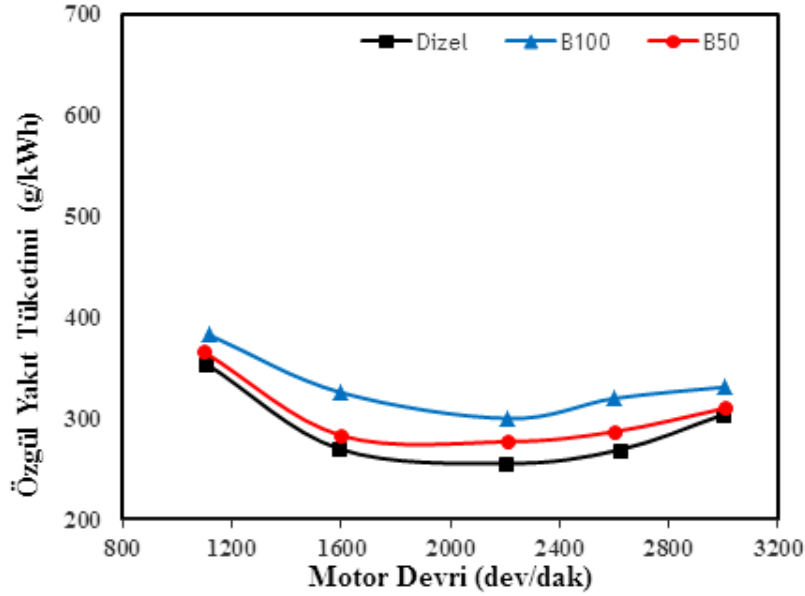
Şekil 4.8 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor güçlerinin değişimi.

Yapılan motor deneylerinde motor gücü eğrileri her üç yakıt için benzerlik göstermiştir. B50 ve B100 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre ortalama olarak sırasıyla %2,4 ve %4,3 oranlarında azalma gözlemlenmiştir. Metil ester içerikli yakıtın alt ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşüktür. Bu nedenle motor gücü azalmaktadır. Şekil 4.8’de motor devrine bağlı olarak motor gücü değişimleri verilmiştir.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarla elde edilen sonuçlar benzerlik göstermiştir. Ayçiçeği metil esteri kullanımında motor gücünde %10’a varan azalma gözlemlenmiştir (Kaplan ve ark. 2006). Atık kızartma yağı metil esteri kullanımı ile dizel yakıtına göre motor gücünde %4,5 azalma olduğu sonucuna varmıştır (Utlü 2007). Biyodizellerin ısı değerlerinin düşük olması motor performansının düşmesine sebep olmaktadır (Lue *et al.*

2001, Kaplan ve ark. 2006, Utlu 2007, Keskin ve ark. 2007)

Özgül yakıt tüketimi değişimi;



Şekil 4.9 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının özgül yakıt tüketimlerinin değişimi.

B50 ve B100 yakıtları kullanımı ile özgül yakıt tüketimi değerleri (SFC) arttırmıştır. 2200 rpm motor devri için B50 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi ortalama %8 oranında, B100 yakıtı kullanımı ile %17 oranında artışlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.9'da motor devrine bağlı olarak dizel, B50 ve B100 yakıtlarının özgül yakıt tüketimleri verilmiştir.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda da özgül yakıt tüketimi bakımından benzer sonuçlar görülmektedir. Atık kızartma yağı metil esteri kullanımı ile dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde %14,2 oranında artış elde edilmiştir (Utlu 2007). Pamuk çekirdeği metil esteri kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre %8-10 aralığında artışlar gözlemlenmiştir (Yücesu ve İlkılıç 2006).

Dizel motorlarında volümetrik yakıt enjeksiyon sistemi, yakıtın özgül ağırlığı, viskozitesi ve ısı değeri arasındaki ilişki özgül yakıt tüketimini etkilemektedir (Usta ve

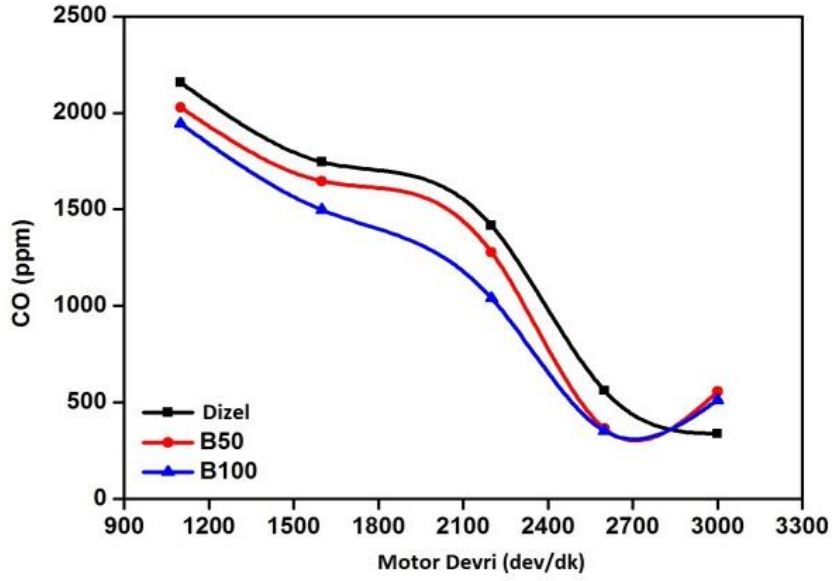
ark. 2005). Metil esterin ısı değeri dizel yakıtına göre yüksek olması, özgül yakıt tüketiminin yüksek çıkmasının temel nedenidir. Bununla beraber metil esterlerin özgül ağırlığı ve viskozitesi dizel yakıtına göre daha yüksek olması daha fazla yakıtın yanma odasına enjekte edilmesine sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra viskozite ve yoğunluk gibi yakıtın fiziksel özellikleri atomizasyon kalitesine etki etmektedir (Özsezen ve ark. 2009).

4.2.3 Emisyon Değerleri Ölçümü

CO emisyonları değişimi;

İçten yanmalı motorlarda oluşan egzoz emisyonlarına yakıt tipi, yanma odası tasarımı, atomizasyon oranı, motor hızı, hava yakıt oranı vb. etkenler sebep olmaktadır. Özellikle egzoz gazlarındaki CO ve yanmamış HC emisyonları motor içerisinde tamamıyla kullanılmayan düşük kimyasal enerjiyi temsil ettikleri için oldukça önem taşımaktadır. CO₂, NO_x ve duman gibi özellikle dizel motorlarından kaynaklanan emisyonlar, ozon tabakası ve insan sağlığına önemli derecede etki etmektedir (Özsezen ve ark. 2009).

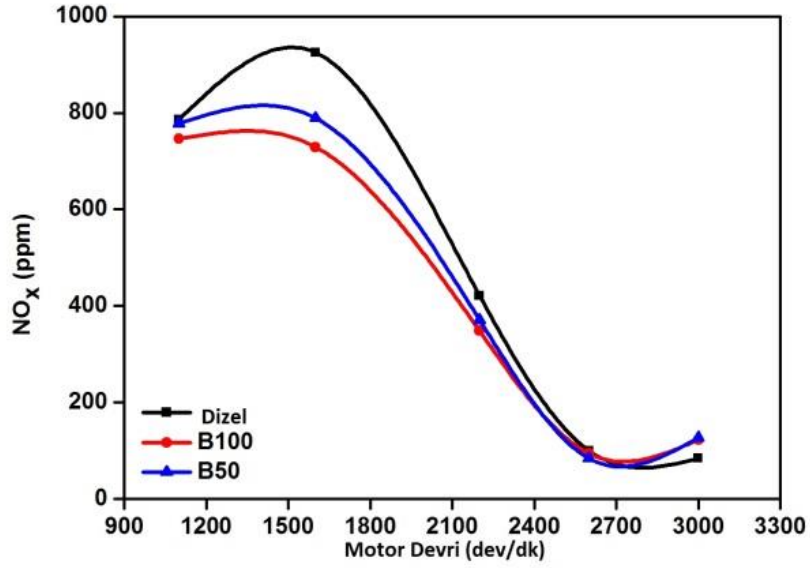
Motor hızına bağlı olarak dizel, B50 ve B100 yakıtlarının CO emisyon değerleri Şekil 4.10'da görülmektedir. Dizel yakıtına göre B50 ve B100 yakıtlarının CO değerleri sırasıyla ortalama %8, %16 daha düşüktür. Biyodizel yakıtı içerisindeki oksijen oranının dizel yakıtına göre fazla olması daha kaliteli bir yanma olayı gerçekleşmesini sağlamaktadır. Biyodizel yakıtı motor performansını olumsuz yönde etkilemesine rağmen CO emisyonuna olumlu etki etmiştir.



Şekil 4.10 Motor devrine bağlı olarak Dizel, B50 ve B100 yakıtlarının CO emisyon değerleri.

NOx emisyonları değişimi;

İçten yanmalı motorlarda oluşan NOx emisyonlarının çoğunluğu termal NOx mekanizması yoluyla oluşur. Termal NOx, yanma odasındaki nitrojenin yüksek sıcaklıklarda oksidasyonu yoluyla oluşan NOx olarak adlandırılır. NOx oluşum oranını etkileyen faktörler yanma sıcaklığı, nitrojenin sıcaklığa maruz kalma süresi ve yanma odasındaki reaksiyon bölgelerindeki oksijen içeriğine bağlıdır (Yao *et al.* 2008). NOx emisyonunu motor hızına bağlı olarak değişimi Şekil 4.11’de verilmiştir. NOx emisyonu dizel yakıtı göre B100’de ortalama %13, B50’de ortalama %7 daha düşüktür.



Şekil 4.11 Motor devrine bağlı olarak Dizel, B50 ve B100 yakıtlarının NOx emisyon verileri.

Literatürde yer alan çalışmalarda görüldüğü gibi biyodizel kullanımı NOx emisyonunu arttırmaktadır. Buna karşın NOx emisyonları biyodizel kullanımıyla beraber azalma gösterdiği veya dizel yakıtına göre önemli bir değişimin olmadığı çalışmalarda literatürde yerini almıştır (Xue *et al.* 2011). Yapmış olduğumuz çalışmada NOx değerlerinde biyodizel kullanımıyla azalma olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi biyodizelin alt ısı değeri dizel yakıtına göre düşüktür. Bunun yanı sıra biyodizelin setan sayısı daha yüksektir. Bu durum göz önüne alındığında tutuşma gecikme süresi ve yanma basıncı düşmüş olabilir. Bu sebepten yanma sıcaklığı düşmüştür. Yanmanın ikinci aşamasında düşük sıcaklık ve basınç NOx emisyonunu düşürmüş olabilir (Puhan *et al.* 2005).

5. SONUÇ

Enerji, insan yaşamının temel ihtiyaçlarının karşılanmasında en büyük paya sahiptir. Bununla beraber, ülkelerin sosyo-ekonomik bakımdan büyümesini sağlayan etkenlerin başında gelir. Dünyadaki nüfus artışının son yüz elli yıllık gelişimi ve enerji talebi değerlendirildiğinde, enerji ihtiyacının nüfus artışına oranla daha hızlı arttığı sonucu çıkmaktadır (Ölçüm 2006).

İçten yanmalı motorlara sahip araç sayısı tüm dünyada hızla artmakta ve buna bağlı olarak egzoz emisyonları da artış göstermektedir. Araç sayısının artması, kullanılan petrol kökenli yakıtlara olan talebi de arttırmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan petrol rezervlerinin sınırlı olduğu bilinmektedir (Altınsoy 2007). Bu sorunlara çözüm bulmak amacıyla alternatif kaynaklar aranmaktadır. Bitkisel yağlara, petrol türevleri olarak elde edilen motor yakıtlarına alternatif kaynak olabilecek gözü ile bakılmaktadır (Ölçüm 2006).

Bitkisel yağlar, yenilenebilir ve alternatif yakıt olarak geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından dizel motorlarında denenmiştir. Bitkisel yağların kullanımı ile dizel motorlarında meydana gelen problemlerin yanı sıra egzoz emisyonlarında bir miktar iyileşme görülmüştür. Bitkisel yağların viskozitesinin yüksek olması atomizasyonu kötüleştirmekte, enjeksiyonu zorlaştırmakta ve hava ile yakıtın homojen karışımını engellemektedir (Kafadar 2010). Bitkisel yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılması için öncelikle probleminin çözülmesi gerekmektedir. Seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon biyodizel üretiminde genellikle kullanılan işlemlerdir (Erol 2006). Transesterifikasyon, yağ asitlerinin bazik bir katalizör eşliğinde alkol ile esterleşmesi işlemidir. Alkol olarak genellikle metal ve etanol kullanılmaktadır (Altun ve Gür).

Bu çalışmada düşük serbest yağ asidi (%1,67) içeriğine sahip hardal yağından, tek basamaklı transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi ve sıcaklık, reaksiyon süresi, metil alkol/yağ oranı, katalizör/yağ oranı gibi parametrelerin verim üzerine etkileri incelemiştir. Üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri (parlama noktası,

viskozite, yoğunluk, kükürt oranı ve su içeriği) ölçülmüştür. B50, B100 ve dizel yakıtın, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda, motor performans ve emisyon değerleri incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda üretilen biyodizelin motor performansı ve emisyon değerleri bakımından dizel yakıt ile karşılaştırılması ve optimum koşullarda üretilen biyodizel yakıtına ait fiziksel özellikler aşağıda verildiği gibidir.

Hardal yağının serbest yağ içeriği %1,67 olarak belirlenmiştir. Farklı parametrelerin kullanıldığı deneyler sonucunda en yüksek verim, 60 °C sıcaklık, 90 dakika reaksiyon süresi, yağa göre ağırlıkça %0,75 katalizör ve %20 metanol kullanımında %89,67 olarak belirlenmiştir.

Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler; yoğunluk 0,886 g/cm³, parlama noktası 171 °C, kükürt oranı 1,9 ppm, viskozite 5,886 mm²/s ve su içeriği 420 ppm olarak belirlenmiştir.

Dizel yakıtı, biyodizel (B100) ve %50 biyodizel-%50 dizel karışımı (B50) yakıtları test edilmiştir. B50 ve B100 yakıtları kullanımı ile dizel yakıtına göre motor momentinde sırası ile %2,5 ve %4,2 azalma elde edilmiştir. Bu azalmanın biyodizelin düşük alt ısı değerine ve yüksek viskoziteye sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Motor güçleri incelendiğinde B50 ve B100 yakıtları kullanımı ile dizel yakıtına göre ortalama olarak sırası ile %2,4 ve %4,3 azalma tespit edilmiştir. Bu azalmanın biyodizelin düşük ısı değerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

B50 ve B100 biyodizel yakıt kullanımı, özgül yakıt tüketimi (SFC) değerlerinde artışlar gözlenmiştir. 2200 rpm motor devrinde dizel, B50 ve B100 yakıtları için en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Bu motor devrinde, B50 ve B100 yakıtları kullanımı ile özgül yakıt tüketimlerinde dizel yakıtına göre sırası ile %8 ve %17 oranında artış tespit edilmiştir. Biyodizelin ısı değerinin dizel yakıtına göre yüksek olması, özgül yakıt tüketiminin yüksek çıkmasının temel nedenidir. Bununla beraber

viskozite ve yoğunluk gibi yakıtın fiziksel özellikleri atomizasyon kalitesine etkilemekte ve özgül yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda CO emisyonları ozon tabakası ve insan sağlığına etki etmektedir. CO emisyon değerleri dizel yakıtına göre B50'de ortalama %8, B100'de ortalama %16 daha düşük sonuçlar vermiştir. Biyodizel içerisindeki oksijen miktarı yanma kalitesini artırmakta ve CO emisyonunun azalmasını sağlamaktadır.

NOx oluşumu, düşük motor devrinde yüksek iken motor devrinin artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Dizel, B50 ve B100 yakıtları için en düşük NOx oluşumu 2700 rpm motor devrinde görülmüştür. B50 ve B100 yakıtları kullanımı ile NOx emisyonunda dizel yakıtına göre ortalama olarak sırası ile %7 ve %13 oranında azalma gözlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. (2003). Alternatif Enerji Kaynakları. Atlas Yayınları, İstanbul, 229-256.
- Akgül, A. (1993). Baharat Bilimi ve Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği, Ankara, Yayın No:15.
- Aktaş, A. ve Segmen, Y. (2008) The effects of advance fuel injection on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Üniversitesi, 23 199-206.
- Akyarlı, A. (2004). Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi. Bioenerji Sempozyumu, İzmir.
- Altın, R. (1998). Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altın, R. (1998). Haşhaş Yağının Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, *Karabük, Teknoloji Dergisi*, 3-4, Z.K.Ü.
- Altın, R., Çetinkaya, S. ve Yücesu, H.S. (2001). The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion & Management*, 42: 529-538.
- Altınsoy, A.S. (2007). Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiyedeki Kaynakların İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14, 16.
- Altun, Ş. Gür, A.M. (2005). Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35-42.
- Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C. and Ramirez, A.I. (2002). Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology*, 83: 111-114.
- Artukoglu, B.D. (2006). Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretim ve Özelliklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 58.
- Baytop, T. (1984). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Yayın No:3255.

- Berrios M, and Skelton R.L. (2008). Comparison of purification methods for biodiesel. *Chem Eng J*,144:459-65.
- Çanakçı, M. ve Özseven, A.N. (2005). Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel. *G.U, Journal of Science*, **18**: 81-91.
- Çaynak, S. (2005). Pirina Yağının Transesterifikasyonu ile Biyodizel Sentezinin Optimizasyonu ve Performans Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-81.
- Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. ve Karaosmanoglu, F. (2005). Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conversion & Management*, 46: 1279-1291.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J. and Lopez, F.J. (2003). Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. *Fuel*, 82: 1311-1315.
- Erol, A. (2006). Değişik Yağlardan Elde Edilen Biodizellerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eryılmaz, T. (2009). Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Konya, 33.
- Fedai, Ö. (2006). Transesterifikasyon İle Kanola Yağı Metil Esteri Sentezinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Felizardo, P., Correia, M., Raposo, I., Mendes, J., Berkemeier, R. and Bordado, J. (2006). Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, 26(5): 487-494.
- Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **92 (5)**: 405-416.
- Hacıkadıroğlu, H. (2007). Bitkisel-Yağ Esterleri-Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 40, 56.

- Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Özsert, İ.(2007). Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **23 (1)**: 207-213.
- Işığögür, A., Karaosmanoğlu, F. Aksoy, H.A., Hamdullahpur, F. ve Gülder, Ö.L. (1994). Performance and emissions characteristics of a diesel engine operating on safflower seed oil methyl ester. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 45/46, 93-101.
- İçingür, Y. ve Yamık, H. (2005). Utilization of the sunflower ethyl ester in diesel engine as alternative fuel. *Gazi University Journal of Science*, Ankara, **18 (3)**: 545-553.
- İleri, E. (2005). Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- İlisulu, K. (1973). Yağ Bitkileri ve Islahı. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- İlkılıç, C. (1999). Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel 1 Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 109-112.
- Kafadar, A.B. (2010). Yağlardan Biyodizel Eldesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Karabektaş, M. (2002). Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkisi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kaplan, C., Arslan, R., Sürmen, A. (2006). Performance Characteristics of Sunflower Methyl Esters as Biodiesel. *Energy Sources Part A* 28:751–755.
- Karahan, S. (2006). Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi Ulusal Biyodizel Sunuşayı, Ankara.
- Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D. (2007). Investigation Of 90% Blend Of Tall Oil Biodiesel Fuel With Diesel Fuel As Alternative Diesel Fuel. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* 22: 57-63.
- Knothe, G., Dunn, R.O. and Bagby, M.O., (1996). Biodiesel: the use of vegetableoils and their derivatives as alternative diesel fuels, oil chemical research, national

- center for agricultural utilization research. Agricultural Research Service, U.S Department Of Agriculture, U.S.A
- Kim, H.J., Kang, B.S., Kim, M.J., Park, Y.M., Kim, D.K., Lee, J.S. and Lee, K.Y. (2004). Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. *Catalysis Today*, 93-95: 315-320.
- Koçak, M.S. (2005). Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Leung, D.Y.C., Koo, B.C.P. and Guo, Y. (2006). Degradation of biodiesel under different storage conditions. *Biosource Technology*, 97:250-256.
- Leung, D.Y.C., Wu, X. and Leung M.K.H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification *Applied Energy*, 87, 1083–1095.
- Lowry, J.P.A. (1990). Alternative Fuel for Automotive and Statinory Engines in Developing Country. IMechE MEP, London. 209-214.
- Lue, Y.F., Yeh, Y.Y., and Wu, C.H.(2001). The emission characteristics of a small D.I. Diesel engine using biodiesel blended fuels. *J. Environ. Sci. Healt* 36:845–859.
- Ma, F. and Hanna, M.A. (2005). Biodiesel production a review. *Bioresource Technology*, 70: 1-15 (1999), 46: 1279-1291.
- Noureddini, H., Gao, X. and Philkana, R.S. (2005). Immobilized pseudomonas cepacia lipase for biodiesel fuel production from soybean oil. *Bioresource Technology*, 96: 769-777.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H. (2005). Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel. Nobel Yayınevi Ltd. Şti.
- Ölçüm, T. (2006). Biyodizel Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, M., Akgül, A. ve Bayrak, A. (1998). Yabani hardal (*sinapis arvensis* l.) tohumu ve yağlarının bazı bileşim özellikleri. *Ankara, Gıda*.23(4):285-289.
- Özsezen, A.N., Canakci, M., Turkcan, A., Sayin, C. (2009). Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. *Fuel* 88: 629–636.
- Poulton, M.L. (1994). Alternative Fuels for Road Vehicles. Computational Mechanics Publications, Southhampton.

- Puhan, S., Vedaraman, N., Ram, B.V.B., Sankarnarayanan, G. and Jeychandran K. (2005). Mahua oil (Madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics. *Biomass and Bioenergy* 28; 87–93.
- Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Adsule, R.N. and Kadam, S.S. (1992). World oilseeds chemistry, technology and utilization. An Avi Book Published Bitkisel Yağlar Van Nostrand Reinhold, New York.
- Schumacher, L.G., (1997). 6V-92TA DDC Engine exhaust emission tests using metliyi ester, National Soy Diesel Development Board, U.S.A.
- Sugözü, İ., Aksoy, F. ve Baydır, Ş.A. (2009). Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2): 49-56.
- Tütüncü, H. (2013). Transesterifikasyonla Balık Yağı Metil Esteri Sentezinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 41-42.
- Ulusoy, Y. (1999). Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 6 – 11.
- Usta, N. (2005). An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled With Tobacco Seed Oil Methyl Ester. *Energy Conversion & Management*, 46: 2373-2386.
- Usta, N., Ozturk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S., Çon, A.H., Can, A.Ç., Topcu, M. (2005). Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine. *Energy Conversion and Management* 46:741–755.
- Utlü, Z. (2007). Evaluation of Biodiesel Fuel Obtained from Waste Cooking Oil. *Energy Sources Part A* 29:1295–1304.
- Uzun B.B., Kılıç, M. ve Pütün A.E. (2007). ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi. 1.UlusalYağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, 28-31 Mayıs, Samsun sayfa 1-5.
- Vogel, C. (1999). Coals Role in Electrical Power Generation: Will It Remain Competitive, Proceedings of the Technical Conference on Coal Utilizationand Fuel Systems, Coaland Slurry Technology Association, 13-24.

- Yamık, H. (2002). Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yao, C., Cheung, C.S., Cheng, C., Wang, Y., Chan, T.L. and Lee, S.C. (2008). Effect of diesel/methanol compound combustion on diesel engine combustion and emissions. *Energy Conversion and Management*, 49: 1696-1704.
- Yücesu, H.S., İlkılıç C. 2006. Effect of Cotton Seed Oil Methyl Ester on the Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine. *Energy Sources Part A* 28:389–398.
- Xue, J., Grifta, T.E. and Hansena A.C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 1098–1116.
- Enerji ve Çevre Komisyonu Özet Raporu. (1998). Türkiye 1. Enerji Şurası, 9. Alt Komisyon, İstanbul.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1. <http://www.dektmk.org.tr> 06.03.2014
2. <http://www.gezeganimiz.com> 07.01.2014
3. <http://www.veterinary.ankara.edu.tr> 06.07.2013
4. <http://www.resmigazete.gov.tr> 24.12.2013
5. <http://www.biyomotorin-biodiesel.com> 05.09.2013
6. <http://www.biodieselturk.org> 11.12.2013
7. <http://www.biolab.com.tr> 27.06.2014
8. <http://www.normalab.com> 27.06.2014
9. <http://www.rudolphresearch.com> 01.07.2014
10. <http://www.grscientific.com> 02.07.2014

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adil ŞAHİN
Doğum Yeri ve Tarihi : Nizip/01.01.1981
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0541 249 55 22/ sahinim_26@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Nizip Teknik ve E.M.L 1995-1998
Ön Lisans : Mustafa Kemal Üniversitesi 2001-2003
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2006-2011
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2011-2014

EKLER LİSTESİ

Ek 1. Reaksiyon süresinin değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri

Ek 2. Metanol oranının değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri

Ek 3. Sodyum hidroksit oranının değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri

Ek 4. Reaksiyon sıcaklığının değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri

EKLER

Ek 1. Reaksiyon süresinin değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri.

ALKOL (ağırlıkça %)	KATALİZÖR (ağırlıkça %)	SÜRE (Dakika)	REAKSİYON SICAKLIğI (°C)	HARDAL YAğI (g)	BİYODİZEL (g)	VERİM (%)	PARLAMA NOKTASI (°C)	KÜKÜRT ORANI (% m/m)
30	0,75	30	60	150	120	80,00	174	3
30	0,75	60	60	150	123	82,23	173	1,5
30	0,75	90	60	150	134,5	89,67	171	1,9
30	0,75	120	60	150	121	80,66	171	2,1
30	0,75	150	60	150	120	80,00	169	2,6

Ek 2. Metanol oranının değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri.

ALKOL (ağırlıkça %)	KATALİZÖR (ağırlıkça %)	SÜRE (Dakika)	REAKSİYON SICAKLIğI (°C)	HARDAL YAğI (g)	BİYODİZEL (g)	VERİM (%)	PARLAMA NOKTASI (°C)	KÜKÜRT ORANI (% m/m)
10	0,75	90	60	150	108	72,00	174	3
15	0,75	90	60	150	125	83,33	175	2,1
20	0,75	90	60	150	134,5	89,67	171	1,9
25	0,75	90	60	150	126	84,00	176	1,5
30	0,75	90	60	150	123	82,00	171	0,8

Ek 3. Sodyum hidroksit oranının değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri.

ALKOL (ağırlıkça %)	KATALİZÖR (ağırlıkça %)	SÜRE (Dakika)	REAKSİYON SICAKLIğI (°C)	HARDAL YAğI (g)	BİYODİZEL (g)	VERİM (%)	PARLAMA NOKTASI (°C)	KÜKÜRT ORANI (% m/m)
30	0,25	90	60	150	126	84,00	170	2,5
30	0,5	90	60	150	128	85,33	175	2
30	0,75	90	60	150	134,5	89,67	171	1,9
30	1	90	60	150	130	86,67	174	1,2
30	1,25	90	60	150	125	83,33	175	3

Ek 4. Reaksiyon sıcaklığının değişimine bağlı olarak üretilen biyodizelin verim, parlama noktası ve kükürt oranı değişimleri.

ALKOL (ağırlıkça %)	KATALİZÖR (ağırlıkça %)	SÜRE (Dakika)	REAKSIYON SICAKLIĞI (°C)	HARDAL YAĞI (g)	BİYODİZEL (g)	VERİM (%)	PARLAMA NOKTASI (°C)	KÜKÜRT ORANI (% m/m)
30	0,75	90	40	150	120	80,00	173	1,6
30	0,75	90	50	150	123	82,00	171	2
30	0,75	90	60	150	134,5	89,67	171	1,9
30	0,75	90	70	150	130	86,67	172	1,6
30	0,75	90	80	150	126	84,00	176	0,6