

**FINDIK YAĞINDAN METİL ESTER ÜRETİM
SÜRECİNİN OPTİMİZASYONU VE MOTOR
PERFORMANSINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan NAMVER

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2016

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FINDIK YAĞINDAN METİL ESTER ÜRETİM SÜRECİNİN
OPTİMİZASYONU VE MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Hakan NAMVER

DANIŞMAN

Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Bayram Hakan NAMVER tarafından hazırlanan “Fındık yağından metil ester üretim sürecinin optimizasyonu ve motor performansına etkileri” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 27/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

Başkan : Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

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

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ İmza
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek
Yüksekokulu

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

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

- 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.

27/06/2016

Hakan NAMVER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FINDIK YAĞINDAN METİL ESTER ÜRETİM SÜRECİNİN OPTİMİZASYONU VE MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Hakan NAMVER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

Bu çalışmada, transesterifikasyon metoduyla fındık yağından metil ester (FYME) üretilmiş ve FYME'nin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Optimizasyon katalizör konsantrasyonu, metil alkol/yağ oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi parametrelere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Optimum metil ester verimi 60 °C sıcaklık, 30 dakika reaksiyon süresi, yağa göre ağırlıkça % 0,6 katalizör ve % 20 metanol ile % 97,48 olarak belirlenmiştir. Biyodizel hacimsel olarak % 5 ve % 20 oranında dizel ile karıştırılarak B5 ve B20 yakıtları elde edilmiştir. Bu yakıtların motor performans ve emisyonlarına etkileri tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre B5 ve B20 yakıtları ile dizel yakıtına göre ortalama motor momentlerinin sırasıyla % 2,74 ve % 4,95, motor güçlerinin ise % 2,8 ve % 5 azaldığı görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi B5 ve B20 yakıtları ile dizel yakıtına göre sırasıyla % 7,45 ve % 12,58 artmıştır. Biyodizel kullanımı ile egzoz emisyonlarının iyileştiği görülmüştür. CO emisyonları B5 ve B20 yakıtları ile dizel yakıtına göre sırasıyla % 5,82 ve % 17,6 azalırken, NO_x emisyonları sırasıyla % 2,87 ve % 4,2 oranında artış göstermiştir.

2016, x + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Fındık Yağı, Transesterifikasyon, Optimizasyon, Motor Performansı, Egzoz Emisyonları

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

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

Hakan NAMVER

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Muhammet YÜRÜSOY

In this study, methyl ester was obtained from hazelnut oil (HOME) with transesterification and effects of HOME on engine performance and exhaust emissions were investigated. Optimization has been performed as depending on concentration of catalyst, ratio of methyl alcohol to oil, temperature of reaction and reaction time. Optimal efficiency of methyl ester was obtained as 97.48 % for concentration of catalyst of 0,6%, ratio of methyl alcohol/oil of 20%, temperature of reaction of 60 °C and reaction time of 30 minutes. Blends of biodiesel fuels were obtained via mixing 5 % hazelnut oil with 95% diesel (B5) and 20% hazelnut oil with 80% diesel volumetrically. The effects of blends of biodiesel were investigated on engine performance and exhaust emissions in a single cylinder, four stroke, direct injection diesel engine. According to test results, it was seen that averaged engine torques and power output decreased 2,74%, 4,95% and 2,8%, 5% with B5 and B20 compared to diesel respectively. Specific fuel consumption increased 7,45% and 12,58% with B5 and B20 compared to diesel respectively. It was seen that exhaust emissions were improved using biodiesel. CO emissions decreased 5,82% and 17,6% while NO_x emissions increased 2,87% and 4,2% with B5 and B20 compared to diesel respectively.

2016, x + 54 Pages

Keywords: Biodiesel, Hazelnut Oil, Transesterification, Optimization, Engine Performance, Exhaust Emissions

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY'a, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Fatih AKSOY'a ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Motor performans ve emisyon deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapılmasına izin veren Prof. Dr. Hüseyin Serdar Yücesu'ya deneylerin yapılmasına katkı sağlayan Doç. Dr. Hamit Solmaz, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Uyumaz ve Arş. Gör. Emre Yılmaz'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Hakan NAMVER

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	İ
ABSTRACT	İİ
TEŞEKKÜR	İİİ
İÇİNDEKİLER.....	İV
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	Vİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	Vİİİ
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	İX
RESİMLER DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Bitkisel Yağlar	4
2.1.1 Bitkisel Yağ Yapısının İncelenmesi	4
2.1.2 Yağ Asitleri	4
2.1.2.1 Doymuş Yağ Asitleri	4
2.1.2.2 Doymamış Yağ Asitleri	5
2.1.3 Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	6
2.2 Fındık Bitkisinin İncelenmesi.....	8
2.2.1 Fındık Bitkisi	8
2.2.2 Fındık Yağı	8
2.2.3 Fındığın Türk ve Dünya Ekonomisindeki Yeri	9
2.2.4 Türkiye’de Yetiştirilen Fındık Çeşitleri	11
2.3 Biyodizel.....	12
2.3.1 Biyodizel Yakıtının Özellikleri	12
2.3.2 Setan Sayısı	13
2.3.3 Viskozite.....	14
2.3.4 Yoğunluk	14
2.3.5 Isıl Değer	14
2.3.6 Akış Özellikleri	15
2.3.7 Parlama Noktası.....	15
2.3.8 Yağlayıcılık	16
2.3.9 Toksik Etkisi.....	17

2.3.10 Biyobozunabilirlik	17
2.3.11 Oksidasyon Kararlılığı.....	17
2.3.12 Karbon Artığı.....	18
2.3.13 Kükürt İçeriği	19
2.3.14 Su İçeriği	19
2.3.15 Yağlama Yağının Seyrelmesi	19
2.4 Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar	19
3. MATERİYAL VE METOT.....	26
3.1 Deney Düzenegi ve Ekipmanlar	26
3.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar	26
3.1.1.1 Terazı	27
3.1.1.2 Manyetik Karıştırıcı.....	27
3.1.1.3 Metil Alkol (Metanol)	28
3.1.1.4 Katalizör	29
3.1.2 Motor Testinde Kullanılan Ekipmanlar	29
3.1.2.1 Test Motoru	30
3.1.2.2 Emisyon Cihazı	31
3.1.3 Yakıt Analizinde Kullanılan Ekipmanlar	32
3.1.3.1 Viskozite Tayini	32
3.1.3.2 Yoğunluk Tayin Cihazı	33
3.1.3.3 Kükürt Tayin Cihazı	34
3.1.3.4 Su Tayin cihazı	35
3.2 Deney Metodu	35
3.2.1 Biyodizel Optimizasyonu	35
3.2.2 Motor Test Yöntemi	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1 Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri	37
4.1.1 Metil Alkol Oranının Dönüşüm Verimi Üzerine Etkisi	37
4.1.2 Katalizör Konsantrasyonunun Dönüşüm Verimi Üzerine Etkisi	38
4.1.3 Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerine Etkisi.....	38
4.1.4 Reaksiyon Süresinin Verime Olan Etkisi	39
4.1.5 Fındık Yağından Üretilen Biyodizelin Özellikleri	40
4.2 Motor Performans ve Emisyon Ölçümleri.....	41

4.2.1 Biyodizel Kullanımının Motor Performansı ve Özgül Yakıt Tüketimine Etkileri	41
4.2.2 Biyodizel Kullanımının Egzoz Emisyonlarına Etkileri	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	46
6. KAYNAKLAR	48
6.1 İnternet Kaynakları	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

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	Dakika Devir Sayısı
C _n H _{2n} O ₂	Doymuş Yağ Asidi
PM	Partikül Madde
NO _x	Azot oksit
LiNO ₃	Lityum Nitrat
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
Mg	Magnezyum
Al	Alüminyum

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Standart Test Yöntemi
B5	Hacimsel olarak % 5 biyodizel + % 95 dizel yakıtı
B20	Hacimsel olarak % 20 biyodizel + % 80 dizel yakıtı
B100	Hacimsel olarak % 100 biyodizel yakıtı
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 Asidi)
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
INC	Uluslararası Fındık ve Kuru Meyve Konseyi
EN	Avrupa Standardı
TS	Türk Standartları
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yağ Asitlerinin Gliserinle Esterleşmesi	4
Şekil 4.1 Metanol-yağ oranının metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi.....	37
Şekil 4.2 Katalizör konsantrasyonunun metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi	38
Şekil 4.3 Reaksiyon sıcaklığının metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi.....	39
Şekil 4.4 Reaksiyon süresinin metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi	40
Şekil 4.5 Motor devrine bağlı dizel ve biyodizel yakıtlarına ait motor momenti değişim grafiği	41
Şekil 4.6 Motor devrine bağlı dizel ve biyodizel yakıtlarına ait motor gücü değişim grafiği	42
Şekil 4.7 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimleri değişim grafiği	43
Şekil 4.8 Motor devrine bağlı olarak CO emisyonları değişimi	44
Şekil 4.9 Motor devrine bağlı olarak NO _x emisyonları değişimi	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Doğada bulunan başlıca doymuş yağ asitleri	5
Çizelge 2.2 Doğada bulunan başlıca bir çift bağlı yağ asitleri	6
Çizelge 2.3 2000–2010 yılları arası ülkeler bazında fındık üretimi	10
Çizelge 2.4 2006-2011 yılları arasında gerçekleşen fındık ihracatı	11
Çizelge 2.5 Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri	16
Çizelge 2.6 Biyodizel standartlarında oksidasyon kararlılığına bağlı teknik özellikler .	18
Çizelge 3.1 Antor 6LD400 test motoru özellikleri.....	31
Çizelge 3.2 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler	32
Çizelge 4.1 Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler	40

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Deney Düzeneği.....	26
Resim 3.2 Terazinin görünümü.....	27
Resim 3.3 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcının görünümü	28
Resim 3.4 Metil alkol.....	28
Resim 3.5 Sodyumhidroksit (NaOH).....	29
Resim 3.6 Test düzeneği	30
Resim 3.7 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı	32
Resim 3.8 Viskozite tayin cihazı.....	33
Resim 3.9 Yoğunluk tayin cihazı.....	34
Resim 3.10 Kükürt tayin cihazı.....	34
Resim 3.11 Su tayin cihazı.....	35
Resim 3.12 Gliserin fazını ayırma işlemi.....	36
Resim 3.13 Biyodizel örnekleri	36

1. GİRİŞ

Enerji insan yaşamının temel girdilerinin karşılanmasında en büyük paya sahip olduğu gibi aynı zamanda ülkelerin de sosyal ve ekonomik olarak büyümesini sağlayan en temel öğelerin başında gelir. İçinde yaşadığımız dönem, kullanılan enerji kaynaklarında risk artışının meydana geldiği bir sürecin başlangıcıdır. Risk, birçok faktörü içermektedir. İlk olarak, geleneksel enerji kaynaklarından birçoğu yapılan hesaplara göre bir süre sonra tükenecektir. İkinci olarak, bu enerji kaynakları çevre açısından geri dönüşümü olmayan tehlikeler yaymaktadır. Üçüncüsü, geleneksel enerji kaynaklarına artan ihtiyaç sonucu teknolojinin gelişmesini desteklemesi açısından yetersiz kalmasıdır. En önemli ve dördüncü unsur ise, gelişen ülkeler enerji üretim çeşitliliğini arttırarak, bu çeşitliliği yaymakta ve başlıca enerji kaynağı türlerine bağımlı olmama çalışmaları sürdürmektedirler (Yenioğlu 2009).

Rudolf Diesel, icat ettiği dizel motorda, Afrika’da üretilen yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanmıştır. Buna rağmen dizel motorlarda, gelişiminden günümüze kadar enerji içeriğinin yüksek olmasından dolayı fosil yakıtlar tercih edilmiştir. Artan çevre bilinci, oksijenli yakıtlardaki egzoz emisyonlarını azaltma başarısı biyodizelin dizel motorlarda kullanılma fikrini 1980’li yıllardan itibaren yeniden gündeme getirmiştir. Bitkisel içerikli yağlar, bazı dönemlerde (tüm dünyayı etkileyen 1930-1940, 1973 petrol krizleri gibi) yalnız acil durumlar amacıyla dizel motorlarda kullanılmıştır. Ancak, dizel yakıtta oranla bitkisel yağların moleküler ağırlığının ve viskozitelerinin yüksek olması, yakıt atomizasyonun zayıflığına; gliserin içerikli olması, silindir içerisinde tortu birikmesine, karbon birikimine ve yapışkan maddelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Meydana gelen bu durumlar, bitkisel yakıt kullanan dizel motorlarda ciddi problemlere sebep olmuştur. Hayvansal, bitkisel veya atık bitkisel yağların dizel motorda herhangi bir değişikliğe gidilmeden kullanılabilmesi için dizel yakıtı özelliklerine yakın özelliklerde bir yakıtla dönüştürülmeleri gerekir (Özsezen *et al.* 2009).

Bitkisel, hayvansal ve bitkisel atık maddelerden üretilen ve dizel motorlarda kullanılabilen bu yakıtlar, biyodizel olarak isimlendirilirler. “biyo” kelimesi yakıtın

biyolojik ve yenilenebilir olduğunu, “dizel” kelimesi ise dizel motorlarında kullanılabildiğini ifade etmektedir (Çildir ve Çanakçı 2006).

Yenilenebilir enerji konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, petrol kökenli dizel yakıtı alternatif olması amacıyla üretilen biyodizelin geliştirilmesi amacıyla pek çok çalışma yürütüldüğü görülmektedir. Biyodizelin saf olarak kullanılabildiği gibi, dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılması da mümkündür. Biyodizel, kimyasal açıdan yenilenebilir yağ kaynağından türetilmiş, uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle biyolojik kaynaktan elde edilmiş, oksijenli ve ester tabanlı bir yakıttır ve dizel motorlarda kullanılmaktadır. Dizel yakıtla farklı oranlarda karışımı ile kullanılması da mümkündür (Alptekin ve Çanakçı 2011).

Biyodizel, bitkisel yağlardan üretilmektedir. Avrupa’da yaygın olarak biyodizel üretiminde kullanılan ham madde kanola yağı, Amerika’da ise soya yağıdır. Biyodizel üretiminde ülkemizde pamuk yağı ve ayçiçek yağı üretim için kullanılan yağların başında gelmektedir. Rafine edilmiş yüksek kaliteli bitkisel yağların biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılması, biyodizelin dizel yakıtından pahalı olmasına neden olmaktadır. Biyodizel ile dizel yakıtı arasında fiyat dengesinin sağlanabilmesi için, düşük maliyetli hammaddelerin biyodizel üretiminde kullanılması tercih edilmelidir. Kullanılmış atık bitkisel yağlar ve Rendering tesislerinde üretilen hayvansal yağlar biyodizel üretiminde tercih edilebilen hammaddelerdir. Hayvansal yağların fiyatı, bitkisel yağların fiyatına göre yaklaşık olarak yarı yarıya azdır. Bu sebeple hayvansal yağlar biyodizel üretiminde kullanılarak biyodizel maliyetleri yarı yarıya düşürülebilir (Alptekin ve Çanakçı 2011).

Bu çalışmada transesterifikasyon metodu ile fındık yağından optimum koşullarda biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör/yağ oranı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi gibi parametrelerin metil ester dönüşüm verimine etkileri incelenerek optimum koşullar belirlenmiştir. Biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir. Bu amaçla deney motoru tam yükte, 1800, 2000, 2200, 2500 ve 2750 dev/dk motor devirlerinde dizel, % 5 biyodizel-% 95

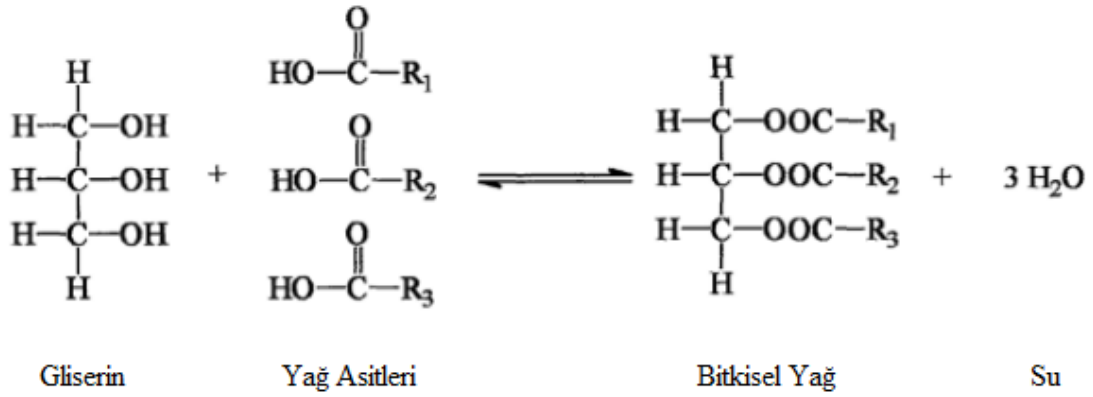
dizel (B5) ve % 20 biyodizel-% 80 dizel (B20) yakıtları ile çalıştırılmış, motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, CO ve NO_x emisyonlarının motor devrine bağlı değişimi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Bitkisel Yağlar

2.1.1 Bitkisel Yağ Yapısının İncelenmesi

Bitkisel yağlar (trigliseritler) bir gliserol molekülü ile yağ asitlerinin yapmış olduğu esterlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.1 Yağ Asitlerinin Gliserinle Esterleşmesi (Aksoy 2010).

Çeşitli yağların özelliklerini, yapısına katılan asitlerin cinsi ve sayısı vermektedir. Yağ asitlerinin yapıları da birbirinden farklı olmaktadır. Yağlar, kimyasal deyimle doymuşlar ve doymamışlar olarak iki büyük grupta toplanmaktadır. Oda sıcaklığında sıvı olan bitkisel yağlar doymamış yağ asitlerinden yapılmıştır (Yüce 2008).

2.1.2 Yağ Asitleri

2.1.2.1 Doymuş Yağ Asitleri

Kapalı formülleri $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ şeklinde gösterilen bu yağ asitlerinin en küçük molekülü üyesinin iki karbonlu asetik asit olacağı düşünülse de, doğada trigliseritlerin yapısında bu bileşiğe rastlanılmamıştır. Doymuş yağ asitlerinin en küçük molekülü üyesinin bütirik asit olduğu görülmüştür. Doğada günümüze kadar saptanan doymuş yağ

asitlerinin sistematik ve yaygın isimleri ile buldukları yerler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Doğada bulunan başlıca doymuş yağ asitleri (Nas *et al.* 1992).

Yaygın adı	Sistematik adı	Kapalı formülü	Doğada bulunduğu yerler
Bütirik asit	Tetranoik asit	C ₄ H ₈ O ₂	% 2,5-4,5 inek sütünde
Kaproik asit	Heksanoik asit	C ₆ H ₁₂ O ₂	% 1-2 inek sütü, eser palm çekirdek yağı
Kaprilik asit	Oktanoik asit	C ₈ H ₁₆ O ₂	% 1-2 inek sütü, % 6-8 koko yağı
Kaprik asit	Dekanoik asit	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Memeli süt yağı ve palm yağı
Laurik asit	Dodekanoik asit	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Defne, süt ve palm yağlarında
Miristik asit	Tetradekanoik asit	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Bitkisel ve hayvansal yağlarda
Palmitik asit	Heksadekanoik asit	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Farklı oranda çoğu yağda
Stearik asit	Oktadekanoik asit	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Çoğunlukla hayvan depo yağlarında
Araşidik asit	Aykosanoik asit	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Yaklaşık % 3 yerkıstığı yağında
Behenik asit	Dokosanoik asit	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	% 1’den az yerkıstığı ve kolza yağında

2.1.2.2 Doymamış Yağ Asitleri

Doğal yağlarda bulunan doymamış yağ asitleri, zincir yapısında bir veya birkaç çift bağ ya da üçlü doymamış bağın yer alması ile karakterize edilir. Bu yağ asitleri vücudumuzda sentezlenemediği için dışarıdan sağlanmaktadır (Nas *et al.* 1992).

Çift bağ içeren doymamış yağ asitleri doymamış yağ asitleri içerisinde doğada çok yaygın olarak bulunurlar (Nas *et al.* 1992).

Yapısında tek çift bağ bulunan yağ asitleri monoenik yağ asitleri olarak adlandırılırken, iki veya daha fazla çift bağ içeren yağ asitleri poliyenik yağ asitleri olarak adlandırılır. Monoenik grubun tipik ve en yaygın olan iki üyesi palmitoleik asit ile oleik asittir. Doğada yer alan bazı monoenik yağ asitleri ve buldukları yerler Çizelge 2.2’de verilmiştir (Nas *et al.* 1992).

Çizelge 2.2 Doğada bulunan başlıca bir çift bağlı yağ asitleri (Nas *et al.* 1992).

Yaygın adı	Sistemik adı	Kapalı formülü	Bulunduğu yerler
Miristoleik asit	9-tetradesenoik asit	$C_{14}H_{26}O_2$	Balık ve balina yağında
Palmitoleik asit	9-heksadesenoik asit	$C_{16}H_{30}O_2$	Balık, balina, tereyağı ve bitkisel yağlar
Petroselinik asit	Tr-6-oktadesenoik asit	$C_{18}H_{34}O_2$	Şemsiyegiller familyası tohum yağlarında (yaban havucu)
Oleik asit	9-oktadesenoik asit	$C_{18}H_{36}O_2$	Tüm bitkisel ve hayvansal yağlarda
Erusik asit	13-dokosenoik asit	$C_{22}H_{42}O_2$	Haçlıgiller familyası tohum yağlarında (kolza)

2.1.3 Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Dizel yakıtların tutuşma özelliğini belirleyen setan sayısı, uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonlarda yüksektir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Karbon kalıntısı bakımından bitkisel yağların, dizel motorlarındaki en önemli etkisi; piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmasıdır. Bu birikintiler, çalışma süresi ile birlikte artmakta ve olumsuz etkilere neden olmaktadır. Karbon kalıntısı bitkisel yağlarda, % 0,22-0,30 arasında bulunmuştur (Erdoğan *et al.* 1994).

Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtının setan sayısından fazladır. Yakıt özellikleri ile ilgili araştırmalarda ağırlığı, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması yönündeki çalışmalar oluşturmaktadır. Motorla ilgili çalışmalar ise, daha iyi atomizasyon karakteristiği sağlamak, püskürtme basıncının arttırılması ve yanmanın iyileştirilmesi için yakıt püskürtme zamanının değiştirilmesini içermektedir (Erdoğan *et al.* 1994).

Biyodizel üretiminde kullanılabilir yağ kaynakları şunlardır:

- Bitkisel Yağlar: Kanola (Kolza), Soya, Ayçiçeği, Palm, Pamuk vs.
- Geri Kazanım yağları: Bitkisel yağ endüstrisi yan ürünleri (Hurda Yağlar).
- Hayvansal Yağlar: Çeşitli hayvansal yağlar.
- Atık Bitkisel Yağlar: Kullanılmış yemeklik yağlar (Karaosmanoğlu 2002).

Bitkisel kökenli yağlarda esterleşme işleminin ardından elde edilen biyodizel (metil ester) % 1 ile % 100 arasında değişik karışım oranlarında fosil kökenli dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılabilir. Biyodizelin dizel yakıtı ile karışımları aşağdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : % 5 Biyodizel + % 95 Dizel

B20 : % 20 Biyodizel + % 80 Dizel

B50 : % 50 Biyodizel + % 50 Dizel

B100 : % 100 Biyodizel (Karaosmanoğlu 2002).

Gıda sektöründe kullanılabilen bitkisel yağların fiyatı dizel yakıttan fazla olmasından dolayı, atık bitkisel yağlar ve yenilmeyen ham yağlar biyodizel üretiminde ön plana çıkmaktadır. Gıda sektöründe ve evlerde büyük ölçüde kullanılmış bitkisel yağın ortaya çıkması ve bu artıkların büyük bir kısmının değerlendirilmeden atılması ülke ekonomisine ve çevreye büyük zararlar vermektedir. Atık bitkisel yağların biyodizel yakıtıya dönüştürülerek değerlendirilmesi hem ekonomiye hem de çevreye yarar sağlayacaktır (Gonzalez *et al.* 2000).

2.2 Fındık Bitkisinin İncelenmesi

2.2.1 Fındık Bitkisi

Fındık, bitkisel literatürde, Fagales takımının Betulaceae familyası *Corylus* cinsi içinde yer almaktadır. Bu cins bitkilerin özelliği kışın yaprakları döken çalı ve ağaçlar olmalarıdır. Fındıklarda kromozom sayısı 22 ya da 26 olarak bildirilmektedir. Bu nedenle fındık türlerinin sınıflandırılmasında ayırt edici farklılık olarak bitkinin morfolojik, pomolojik ve zuruf özellikleri kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 1).

Corylus cinsi içindeki bütün türler, monoik -diklin çiçek yapısına sahiptir ve rüzgar ile tozlanmaktadır (İnt. Kyn. 1).

Çiçekleri bir evcikli ve bir eşemlidir. Erkek çiçekler, kış aylarında olgunlaşır ve tozlarını saçarlar. Bu dönemde dişi çiçeklerde ne yumurtalık ve ne de yumurta hücresi oluşmamıştır. Dişilerde yumurta hücresi ilkbahar aylarında olgunlaşır ve döllenme tozlaşmadan 3-5 ay sonra gerçekleşir (İnt. Kyn. 1).

Corylus cinsi, çiçeklerini bu özellikleriyle diğer bitki cinslerinden ayıran bir özellik gösterir. Çiçeklenmenin kış aylarında oluşu herhangi bir yerde ekonomik anlamda fındık yetiştiriciliğini sınırlayan ve belirleyen önemli unsurlardan biridir. (İnt. Kyn. 1).

2.2.2 Fındık Yağı

Fındık yağı, fındık meyvesinin fiziksel işlem yoluyla elde edilen, kimyasal işleme tabi olmayan oleik tabanlı bitkisel bir yağ çeşididir. Farklı bitkisel yağlara göre oleik tabanlı, yani tek-çift bağ yapısı bulunmasından dolayı bilinen bütün sıvı yağlara göre acılaşıma ve oksitlenme süresi düşük ve erime noktası daha uzundur (Kesgin 2011).

Rafine edilmiş fındık yağı bisküvi ve pasta sanayisinde, yemeklik olarak, fındık ham yağı ise kozmetik, boya, sabun sanayi gibi farklı endüstri alanlarında yaygın kullanıma sahiptir (İnt. Kyn. 2).

Yapılan analizlerde çeşitlerin ortalama iç oranı % 54,00, tane ağırlığı 1,85 g olarak tespit edilirken nem % 3,39, yağ % 63,6, protein % 16,38, selüloz % 3,1 ve kül % 2,04 olarak belirlenmiştir. Fındık yağında ortalama % 71,37 değeri ile oleik asit en yüksek oranda bulunan yağ asididir. Oleik asit sırasıyla % 7,77, % 4,52 ve % 1,99 değerleri ile linoleik, palmitik ve stearik asit izlemiştir. Palmitoleik ve eikosenoik asitler ise bazı çeşitlerde eser miktarda bulunurken bazı çeşitlerde hiç belirlenememiştir. Örneklerin mineral içerikleri ortalama 6208 mg/kg potasyum, 3237 mg/kg fosfor, 1795 mg/kg kalsiyum, 1703 mg/kg magnezyum, 57,9 mg/kg mangan, 34,4 mg/kg demir, 28,9 mg/kg bakır ve 25,8 mg/kg çinko olarak belirlenmiştir (İnt. Kyn. 3).

Ülkemizde fındık stoklarının azaltılması amacıyla fındık yağa işlenerek piyasaya sunulmaktadır. Arz fazlası stoklar, yağ imalatına verilmektedir. Bu kapsamda 37 000 ton kabuklu fındığın yağ imalat işlemleri 6 (4 kırım, 2 yağ fabrikası) ayrı fabrikada sürdürülmektedir. Alımlar ile meydana gelen 694 000 ton kabuklu fındık stokunun; 143 000 tonu kabuklu olarak satış, 29 000 tonu kavrulmuş iç fındık, kıyılmış iç fındık ve fındık ezmesi imalatlarında, 290 000 tonu ise yağ imalatlarında olmak üzere toplamda % 67'sine tekabül eden 462 000 tonluk kısmı değerlendirilmiştir (TMO 2011).

2.2.3 Fındığın Türk ve Dünya Ekonomisindeki Yeri

Dünyanın en büyük fındık üreticisi ve ihracatçısı Türkiye'dir. Dünyada fındık üreten başlıca ülkeler Türkiye başta olmak üzere İspanya, İtalya, Yunanistan ve ABD'dir. Dünya fındık üretim alanının % 82,96'sı ülkemizde, % 10,81'i İtalya'da, % 3,55'i İspanya'da, % 1,86'sı ABD'de, % 0,92'si Yunanistan'da bulunmaktadır. Buna karşılık bu ülkelerin fındık üretimindeki payları da aynı sıra ile % 77,31, % 15,6, % 2,45, % 3,93 ve % 0,74'tür. Rusya, Romanya, İran ve Fransa'da da fındık yetiştirilmekte fakat bu ülkelerin dünya fındık ticaretinde etkinlikleri bulunmamaktadır (Demiral 2002).

Fındık, Türkiye'nin tarımında olduğu kadar genel ekonomisi ve sosyal yaşantısında da önemli derecede rol oynayan bir üründür. Fındık bir yandan tanındığı bölgede sevilen bir çerez, özellikle çikolata endüstrisinin önemli bir katkı unsuru; diğer taraftan da sahip

olduğu yüksek yağ ve protein içeriği nedeniyle çok kıymetli bir gıda maddesidir (Demiral 2002).

Ülkemizde fındık tarımı, en çok 750 m'ye kadar olan yüksekliklerde, en az % 12 meyilli arazilerde, ılıman iklime sahip bölgelerde yapılmaktadır. Türkiye, dünyadaki fındık üretim alanlarından birisi olup, 2005 yılında yayımlanan FAO verileri baz alınarak dünyadaki fındık üretiminin % 68,7' sini ve 2006 yılı INC verileri bilgilerine göre ise dünya iç fındık üretim miktarının % 75,8' ini tek başına sağlamıştır. Türkiye iç fındık üretiminde, üretimdeki payı açısından dünya pazarının % 85'ine kadar tek başına üretimi sağlayabilmektedir. Türkiye dışında fındık üreten ülkeler olarak İtalya, İspanya, ABD, İran ve Çin Halk Cumhuriyeti ile çok az miktarda olmak üzere Fransa, Yunanistan ve Rusya Federasyonu sayılabilir. Fındık ihracatında Türkiye dünyada lider durumdadır (Kesgin 2011).

Çizelge 2.3 2000–2010 yılları arası ülkeler bazında fındık üretimi (İnt. Kyn. 4).

Yıl	Türkiye	İtalya	İspanya	A.B.D	Diğer	Toplam
2000	495000	90000	15000	18000	20000	618000
2001	725000	115000	25000	40000	30000	935000
2002	610000	100000	20000	15000	30000	775000
2003	515000	60000	20000	34000	25000	654000
2004	360000	100000	25000	30000	25000	540000
2005	580000	70000	20000	25000	30000	725000
2006	780000	110000	25000	30000	40000	985000
2007	570000	100000	15000	22000	50000	757000
2008	860000	112000	23300	30000	60000	1085300
2009	440000	105000	26000	32000	60000	663000
2010	580000	90000	18000	25000	70000	783000

*2010 yılı ürünleri tahminidir.

Çizelge 2.4 2006-2011 yılları arasında gerçekleşen fındık ihracatı (İnt. Kyn. 5).

Dönem	Türkiye üretimi (kabuklu ton)	İhracat miktarı (İç/ton)
2006-2007	661	248.664
2007-2008	530	207.287
2008-200	801	244.628
2009-2010	500	213.142
2010-2010	600	205.564

Ülkemizde, Karadeniz bölgesinde yaklaşık 25 yüzyıldan beri yetiştirilen fındığın en önemli üretim üssü Ordu ili ve çevresidir. Ordu ili, üretilen toplam kabuklu fındık üretiminde yaklaşık olarak % 38 oranında paya sahiptir. Bu bölgeyi sırasıyla takip eden diğer üretim alanları ise; Akçakoca (Düzce), Giresun ve Trabzon bölgeleridir. Kalite açısından üretim sıralamasında üçüncü sırada yer alan Giresun ilinde yetiştirilen fındık, dünyadaki üretilen fındık sıralamasında en üstlerde yer almakta ve bundan dolayı Türk fındığı rakiplerine göre tüm dünyada aranan bir ürün haline gelmiştir (Dölekoğlu 2002). Türkiye ekonomisinde bitkisel ürünler içinde en yüksek döviz getiren ürün olan fındık, 80 ülkeye ihraç edilmekte ve yıllık yaklaşık 700 milyon dolar gelir elde etmektedir. Eylül başından itibaren fındık sezonunun 29 haftalık bölümünden yaklaşık 1 milyar doları aşkın gelir sağlanmaktadır. Fındık sezonunun 29 haftalık bölümünde toplam fındık ihraç miktarı 156 300 ton olup, ihracatın 131 900 tonu (% 83,89'u) AB ülkelerine gerçekleştirilmektedir (Dölekoğlu 2002).

2.2.4 Türkiye’de Yetiştirilen Fındık Çeşitleri

Türkiye’de yetiştirilen başlıca fındık türleri; Adi fındık (*Corylus avellana*), Lambert fındığı (*Corylus maxima*) ve Türk fındığı (*Corylus colurna*)’dır. Bu çeşitler içerisinde en çok Adi fındık ile Lambert fındığının çaprazlanması ile elde edilmiş melez türler yetiştirilmektedir (Palme *et al.* 2002).

Sivri Fındık: Uzunluğunun genişliğine oranı $1,3\pm 0,1$ olan fındık çeşididir. Sivri, badem, ince kara, kuş fındığı, acı fındık, değirmendere ve kanfındığı olarak bilinen fındıklar

sivri fındık çeşidine girmektedir. Kırılma esnasında daha fazla zayıt verdiğiinden marketlerde kabuklu ve iç fındık olarak pazarlanmaktadır (Özdemir 1997).

Uzun Fındık: Uzunluğunun genişliğine oranı 1,4 üzerinde olan fındık çeşididir. Yuvarlak badem ve yassı badem, uzun fındık çeşidine örnektirler. Yapı, tat ve kalite faktörleri orta değer olan bu fındıklar, uluslararası ticarete şekillerinden ve sert-kuru yapılarından dolayı tercih edilmezler. Bundan dolayı yerel marketlerde taze olarak tüketilmektedirler (Özdemir 1997).

Türkiye ve Dünyada çerez olarak da tüketilen fındığın % 90'a yakın kısmı kavrulmuş, beyazlatılmış, kıyılmış, dilinmiş, un ve püre halinde çikolata, bisküvi, şekerleme sanayinde, tatlı, pasta ve dondurma yapımı ile yemek ve salatalarda yardımcı madde olarak kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 6).

Yaklaşık beş bin yıldır bilinen fındık, meyvesinden odununa kadar birçok yerde insanlığa büyük yararlar sağlamaktadır. Fındıkkağu ülkemizde özellikle fındık üretilen bölgelerde çok değerli ve yüksek kalorili bir yakacak olarak kullanılmaktadır. Ayrıca fındık odunundan sepet, baston, sandalye, çit ve el aletleri yapımında faydalanılır. Bazı türleri park ve bahçelerde süs bitkisi olarak yetiştirilir. Fındık yaprağı ile meyve zurufleri de, gübre olarak kullanılmaktadır. Üretim fazlası fındıklar yağlık olarak değerlendirilmektedir. Fındık ham yağı rafine edilerek yemeklik yağ olarak, fındık küspesi ise yem sanayinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 6).

2.3 Biyodizel

2.3.1 Biyodizel Yakıtının Özellikleri

Biyodizel çoğunlukla 16-20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık % 11'ini oksijen oluşturur. Bu özellikleri ile birlikte biyodizel, dizel yakıtına belirli oranda karıştırılarak kullanıldığında, egzoz emisyonlarından CO, HC ve partikül madde (PM) miktarında azalma tespit edildiği belirtilmektedir. Bunların

yanı sıra NO_x emisyonlarında ve özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmektedir (İnt. Kyn. 7).

Isıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıtı değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması avantaj sağlayan yakıt özelliklerindedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği, dekstrozunkine (şeker) benzemektedir. Biyodizeli oluşturan C₁₆–C₁₈ metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur ve 10 000 mg/l'ye kadar olumsuz bir mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında 28 günde biyodizelin % 95'i, dizelin ise % 40'ı bozunabilmektedir. Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizel yakıtından daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulutlanma noktaları uygun katkı maddelerin (anti-jel vb.) kullanımı ile düşürülebilmektedir (Karaosmanoğlu 2002).

2.3.2 Setan Sayısı

Setan sayısı tutuşma kalitesi açısından çok önemlidir. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtına göre fazladır. Yüksek setan sayıları (55-60) genellikle dizel emisyonlarını iyileştirmektedir, ancak bu değerlerin üzerinde emisyonlarda çok az bir değişim görülmektedir (Sheehan *et al.* 1998).

Biyodizelin setan sayısı yağa veya donyağının hammaddesine bağlıdır. Yağ asitleri karbonil gruplarına bağlanmış uzun zincir karbon atomlarından oluşmaktadır. Donyağları ve yağlar değişen uzunluklarda karbon zincirlerinin tipik olarak 10'dan 18'e kadar olabilen sayıda (C₁₀-C₁₈ zincirleri gibi) karbon dağılımını içermektedir. Bazı karbon zincirleri farklı lokasyonlarda karbonil grupları ve karbonlar arasında 0, 1, 2 ya da daha fazla çift bağ içermektedir. Setan sayısı zincir uzunluğu ile artar, çift bağların sayısı ve lokasyonu ile azalır ve karbonil grubunun çeşitli lokasyonları ile değişmektedir. Bağlar veya karbonil zincirin merkezine doğru ilerlerken, setan sayısı azalır. Biyodizeldeki yağ asitlerindeki karbonların sayısı arttıkça, setan sayıları 47,9'dan 75,6'ya kadar artmaktadır. Yağ asitleri zincirlerindeki karbonların sayısı C₁₂'yi geçerse,

setan sayısı 60'ı geçer. Soya metil esteri için setan sayılarının aralığı 45,8'den 56,9'a kadardır (Sheehan *et al.* 1998).

Genel olarak, setan sayısı biyodizel harmanı ve dizel yakıtları için lineer bir fonksiyona yakındır ve yakıtların katkısız setan sayılarının ortalamasına eşittir. Bu da şu anlama gelmektedir: Biyodizel ve dizelin katkısız setan sayıları tüm biyodizel ve dizel karışımlarının setan sayıları tahmin edilebilir (Sheehan *et al.* 1998).

Uluslararası biyodizel standartlarında setan sayısına ilişkin şu alt sınırlar verilmiştir: ASTM D 6751: min. 47,0, DIN E 51606: min. 49,0, prEN 14214: min. 51,0 (Sheehan *et al.* 1998).

2.3.3 Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite, içten yanmalı motorlarda ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak silindirler içinde iyi bir atomizasyon sağlanmasını ve dolayısıyla verimli yanma elde edilmesini sağlar. Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıt daha küçük zerrelere ayrılır ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir yanmanın sağlanması gerçekleşmektedir (Safgönül 1999).

2.3.4 Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu, genellikle yağ çeşidine göre değişmesine rağmen 15 °C'de 880–920 kg/m³ gelmektedir. Bu belirleme DIN EN ISO 3648 veya DIN EN ISO 12185'e göre yapılmaktadır. Elde edilen biyodizelin yoğunluğu ise yağa göre düşmekte ve motorinin seviyesine inebilmektedir.

2.3.5 Isıl Değer

Isıl değer, yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısıl değer artar, doymamışlık arttıkça ısıl değer

azalır. Biyodizel oksijen içeriğinden dolayı dizel yakıtına oranla % 11 daha az ısı değere sahiptir (İnt. Kyn. 8). Düşük ısı değerin sonucu olarak, motor gücü ve momentinde bir miktar düşüş görülebilir. Ancak, yüksek yoğunluktan dolayı, motorda ısı değere bağlı olarak meydana gelebilecek önemli orandaki güç kaybı kısmen azalır (Karabektaş 2002).

2.3.6 Akış Özellikleri

Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizelden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Biyodizel-dizel karışımları 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin dizel üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir. Eğer harmanda soğumaya bağlı olarak kristal yapılar oluşursa, harmanın tekrar normal görünümünü kazanması için bulutlanma noktası üzerinde ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir (İnt. Kyn. 9).

2.3.7 Parlama Noktası

Parlama noktası, sıvı buharında parlayabilir bir atmosferin meydana geldiği minimum sıcaklık olarak tanımlanabilir. Biyodizelin dizele oranla en üstün özelliklerinden birisi parlama noktasının daha yüksek olmasıdır. Bu özellikten dolayı biyodizel depolama kolaylığı ve güvenliği de beraberinde getirmektedir. Parlama noktasının minimum uluslararası standartlardaki değerleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir (İnt. Kyn. 10).

Çizelge 2.5 Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri (İnt. Kyn. 11).

ASTM	D6751	min °C 130
DIN	E51606	min °C 100
PrEN	14214	min °C 120

2.3.8 Yağlayıcılık

İçten yanmalı motorlar içerisinde dizel motorların çalışma prensipleriyle alakalı olarak yakıtın yağlayıcılığına duyulan ihtiyaç, teknolojinin hızla gelişmesiyle de artmıştır. Özellikle yeni nesil dizel motorlarda çok yüksek basınçlarda yakıtın püskürtülmesi, yakıt pompasının birkaç milisaniyelik çalışması süresinde olmaktadır. Bununla beraber bu kısa zaman aralığında pompanın yakıt basıncını sisteme göre 900–2000 bar'a kadar yükseltmesi, yakıt miktarını ayarlaması ve gelecek stroklara hazırlanması gerekmektedir. Dizel motorun kalbi sayılan yakıt pompasının imalatı da ileri teknoloji gerektirmektedir. Çalışma anında ise yakıt pompasının en uygun işleme şartlarının sağlanması gerekmektedir ki; pompanın yakıtla yağlanması bu noktada önem kazanmaktadır. Dizel yakıtlar rafinerilerde üretildiklerinde doğal yapılarında yeterli yağlayıcılığa sahip olmadıkları için yakıt şirketleri tarafından motorun sağlıklı çalışması ve daha uzun ömürlü olabilmesi için yağlayıcı katkı maddeleri eklenmektedir (Wielligh 2002).

Keith ve Conley (1995), tarafından çevresel nedenlerden dolayı kükürt oranı düşürülmüş daha temiz bir dizel yakıtının üretiminin dizel yakıtının yağlayıcılık özelliğini düşürebileceğini belirtilmiştir. Onlar, dizel yakıtın yağlayıcılık kalitesinde 1993 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin kükürt oranında 500 ppm sınırlamasını getirmesi üzerine önemli bir şekilde düşüş olduğunu belirtmektedirler. Hatta 2006 Haziran'ından sonra kükürt oranına getirilen 500 ppm sınırlamasının 15 ppm'e kadar çekilmesinin meydana getireceği yağlayıcılık problemine çözüm bulunması gerekliliğini dile getirmişlerdir (Schumacher 2005).

2.3.9 Toksik Etkisi

Biyodizelin olumsuz bir toksik (zehirleyici) etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte % 4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel–dizel yakıtı karışımlarının kullanımında; dizel yakıtı için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir (Karaosmanoğlu 2008).

2.3.10 Biyobozunabilirlik

Biyodizeli oluşturan metil esterler doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur. Yapılan biyolojik ayrışabilirlik testlerinde yaklaşık olarak, biyodizelin suda 28 günde % 95'inin, dizel yakıtının ise % 40'nin ayrışabildiği tespit edilmiştir. Biyodizelin % 100 biyolojik ayrımı şekere benzer ve zehirli değildir (İnt. Kyn. 10).

2.3.11 Oksidasyon Kararlılığı

Oksidatif stabilite havadaki oksijen ile yakıt temas ettiğinde, oksidasyon prosesi boyunca yakıtta oluşan değişikliklerle ilgilidir (Monyem 1998). Biyodizel havaya maruz kaldığı takdirde oksidasyona karşı hassas olup, oksidasyondan çabuk etkilenmektedir. Oksidasyon prosesi de nihayetinde yakıt kalitesini etkilemektedir (Knothe 2005).

Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, biyodizel daha kolay bozunabilmektedir ve biyodizel bozunurken organik asitler ve polimer maddeler oluşur. Organik asitler metal korozyonuna ve polimer maddeler yakıt pompası ve enjektörlerde problemlere neden olur. Buradan da açıkça anlaşıldığı üzere, oksidasyon stabilitesi biyodizel yakıtları için çok önemlidir. Belirtildiği gibi oksidasyon stabilitesi biyodizel yakıtının çok önemli özelliğidir ve oksidasyon stabilitesinin gelişimi yüksek kalitede biyodizel yakıtı elde

etme açısından bir anahtar teknoloji niteliğindedir. Çizelge 2.6’da biyodizel standartlarında oksidasyon kararlılığına bağlı olan teknik özellikler görülmektedir.

Çizelge 2.6 Biyodizel standartlarında oksidasyon kararlılığına bağlı teknik özellikler (Knothe 2006).

Teknik özellik	Metot	ASTM D6751	EN14213	EN14214
Oksidatif kararlılık (110 °C’de)	EN14112	3 sa dk	4 sa dk.	6 sa dk.
YAME içeriği ≥ 4	-	-	1 maks.	1 maks.
Çift bağ (% m/m)				
Linoleik asit içeriği (% m/m)	EN14103	-	-	12 maks.
İyot değeri (g iyot/100 g)	EN14111	-	130 maks.	120 maks.
Kinematik viskozite (mm ² /s)	D445; ISO 3104/3105	1.9-6,0	3.5-5,0	3.5-5,0
Asit değeri	D664 ; EN14104	0,50 maks.	0,50 maks.	0,50 maks.

Diğer taraftan, biyodizelin oksidasyon bozunması sıcaklık, hava, nemli metal ve ışık gibi dış faktörler tarafından artırılabilir. Otomotiv yakıt sisteminde, bazı farklı metaller kullanılmaktadır. Beta karoten gibi doğal antioksidanların varlığı ile biyodizelin oksidasyon stabilitesi geliştirilebilir. Örneğin, metal örneklerinin varlığı, palmye yağı metil esterinin oksidasyon stabilitesinin düşmesine meyleder. Bilhassa, bakırın bulunması oksidasyon stabilitesini epeyce düşürür (Shiotani 2007).

2.3.12 Karbon Artığı

Karbon kalıntısı terimi standartlarda, numunenin buharlaşması ve termal bozulması sırasında oluşan karbonlu kalıntıları tarif etmekte kullanılır. Kalıntı tümüyle karbondan oluşmayıp daha sonraki bozunmalarla bileşimi değişebilen kok’tur. Karbon kalıntısı miktarı, ester yakıtının kalitesinin bir göstergesidir. Gliseritlerden, sabunlardan ve diğer organik kalıntılardan arındıklarını gösterir (İnt. Kyn. 11).

2.3.13 Kükürt İçeriği

Bitkisel yağların kullanılması durumunda dizel yakıtıyla karıştırıldığı zaman kükürt miktarlarında azalma olduğu görülür. Yakıtta yağlayıcılık özelliği kazandıran kükürt oranının uygulamaya konulan yeni emisyon standartlarında 10 ppm'den de aşağıya çekilmesinin hedeflenmesi, dizele biyodizelin katılmasını zorunlu hale getirmektedir (İnt. Kyn. 12).

2.3.14 Su İçeriği

Bitkisel yağ yapılarında normal durumlarda su mevcut değildir. Fakat bitkisel yağ üretim ve depolama sırasında üretilen miktara su karışabilmektedir. Kullanılan yakıtlarda eser miktarda su içermelerinin motorlar açısından olumsuz bir etkisi yoktur. Yakıt/su emülsiyon oranında uygun olması halinde yanma sıcaklığı ve NO_x emisyonlarını düşürebilir. Fakat yüksek basınç enjeksiyon sisteminde yakıttan su ayrılarak enjektör sistemlerinde çürümeye sebep olabilir (Altınsoy 2007).

2.3.15 Yağlama Yağının Seyrelmesi

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında ortaya çıkan olumsuzluklardan biri, yağlama yağının seyrelmesidir. Yağ seyrelmesi motor yaşının büyüklüğü ile veya motorun çalışma süresinin fazlalığı ile artış gösterir. Piston-silindir arasındaki aşınma ve yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama yağına karışır ve sonuçta yağ bozar. Dizel yakıtı 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 (Karabektaş 2002).

2.4 Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar

Akçay (2006), tarafından yapılan çalışmada, soya yağının bazik katalizli ester değişimi reaksiyonunda, reaksiyon şartları değiştirilerek soya yağı metil esteri için optimum

reaksiyon şartları belirlenmiştir. Sıcaklık, reaksiyon süresi, katalizör ve metanol miktarları değiştirilerek soya yağının ester değişimi reaksiyonu gerçekleştirilmiştir (Akçay 2006).

Çaylak (2006), tarafından yapılan çalışmada, biyodizel-dizel yakıtı karışımları B5, B20 ve B50 oranlarında karıştırılarak dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda B5 ve B50 yakıtları kullanılarak elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Buna göre, değişken karışım oranlarının analizi neticesinde, B5 ve B50 yakıtları kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde dizel yakıtına oranla güç, moment ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, NO, NO_x, CO ve CO₂ emisyonlarında artış, ısı verim ve O₂ değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. B20 yakıtı kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde, özgül yakıt tüketiminde artış, moment, güç, ortalama efektif basınç, ısı verim, CO ve CO₂ emisyonlarında azalma meydana geldiği görülmüştür (Çaylak 2006).

Kaya (2006), tarafından yapılan çalışmada, ham bitki yağları ve atık bitki yağlarından transesterifikasyon ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Kanola, yer fıstığı, keten tohumu, bittim, susam, soya, ayçiçek yağı, bitkisel atık yağlar, pamuk ve aspir kullanılarak yapılan çalışmada değişik yağlar; yağ oranı, % C miktarı, parlama noktası, iyot sayısı, ısı değerleri, kinematik viskozite ve yoğunluk bakımından incelenmiştir (Kaya 2006).

Danışman (2008), tarafından yapılan çalışmada, pamuk yağı-hint yağı karışımı kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Pamuk yağı, mikrodalga ısıtma ile transesterifikasyonu gerçekleştirilip, optimum reaksiyon şartları (sıcaklık, katalizör oranı, süre) tespit edilmiştir. Hint yağında ise yüksek sıcaklık-yüksek basınç altında heptaldehit, ündisilenik asit ve 2 oktanon eldesiyle parçalanma reaksiyon parametreleri (sıcaklık, basınç, katalizör oranı) incelenmiştir (Danışman 2008).

Gök (2008), tarafından yapılan çalışmada, farklı bitkisel yağlar kullanılarak etil ester üretimi gerçekleştirilmiş, üretilen etil esterinin dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırılması ile motor performans değerleri tek silindirli bir motorda test edilmiştir.

Deneşler sonucunda, farklı karışım oranlarında motor performans karakteristikleri değeriendirildiğinde, motor momenti ve efektif güç değeriinde azalma, özgül yakıt tüketimi değeriinde ise artış olduğu tespit edilmiştir. Farklı karışım oranlarında CO, CO₂, HC ve NO_x emisyonlarında azalma tespit edilmiştir (Gök 2008).

Koç (2010), tarafından yapılan çalışmada, dizel motorlarda biyodizel kullanımının motora etkileri dizel yakıtı ile deneşsel olarak karşılaştırılarak incelenmiştir. Farklı test ve analiz cihazlarından faydalanılmış ve elde edilen sonuçlar değeriendirilmiştir. Belli periyotlarla motor yağından numuneler ICP spektrometresi ile elementel olarak analiz edilmiştir (Koç 2010).

Reşitoğlu (2010), tarafından yapılan çalışmada, atık yağlardan üretilmiş biyodizele ait motor performans ve emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Yağ tutucularından elde edilen ve yüksek oranlı serbest yağ asidi içeren atık yağlardan üretilimi gerçekleştirilen biyodizele ait dizel motorundaki performans ve emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Biyodizel, dizel yakıtı ile değerişik oranlarda karıştırılarak yakıt özellikleri belirlenmiştir. B10, B20, B30, B40, B50, B60, B70, B80 ve B90 yakıtlarının dizel motorda elde edilen performans ve emisyon testleri neticesinde B10, B20, B30 ve B40 yakıtlarının dizel yakıtına yakın değeriilere sahip olduğu belirlenmiştir (Reşitoğlu 2010).

Özdemir (2011), tarafından yapılan çalışmada, dizel motor biyodizel ve etanol yakıtları ile çalıştırılarak, dizel+biyodizel ve dizel+biyodizel+etanol yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Dizel-biyodizel karışımlarında motor moment ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış, CO ve HC emisyon değeriinde azalma, NO_x emisyon değeriinde ise artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Dizel+ biyodizel+etanol yakıt karışımında ise, motor momenti ve gücünde artış, yanma veriminde yükselme, özgül yakıt tüketiminde artış, CO ve HC emisyon değeriinde azalma ve NO_x emisyon değeriinde ise artış saptanmıştır (Özdemir 2011).

Kesgin (2011), tarafından yapılan çalışmada, fındık yağından ultrasonik yöntemle biyodizel üretilimi gerçekleştirilmiştir. Fındık yağının transesterifikasyon işlemleri, metanol ve etanol ile, potasyum hidroksit varlığında 20 kHz frekanslı (200W) homojenizatör ve

35 kHz (400W) frekanslı ultrasonik temizleyicide gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri; alkol/yağ mol oranı, reaksiyon sıcaklığı, katalizör miktarı ve reaksiyon süresidir. 3:1-9:1 aralığında değişen metanol/yağ mol oranı etkisinin incelendiği çalışmada, en yüksek verim, ester içeriği ultrasonik homojenizatörde 5:1 metanol/yağ mol oranında yapılan deneyde elde edilmiştir (Kesgin 2011).

Mesut (2011), tarafından yapılan çalışmada, atık ayçiçeği yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretilmiş, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Biyodizel % 50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak B50 yakıtı oluşturulmuştur. B100 ve B50 yakıtlarına ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı 40 °C sıcaklıkta, B50 yakıtı 40 °C ve 50 °C sıcaklıklarda, B100 yakıtı ise 40 °C, 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutularak motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Mesut 2011).

Servan (2011), tarafından yapılan çalışmada, baz alkali katalizörlerin varlığında yağlardan transesterifikasyon ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Kanola yağından metil esterleri eldesinde en uygun tepkime koşullarının 15:1 alkol/yağ oranı, % 15 $\text{LiNO}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3$ katalizör oranı, % 3 'lük katalizör miktarı, 65 °C reaksiyon sıcaklığı ve 5 saat tepkime süresi olduğu belirlenmiştir. Bu koşullar altında elde edilen biyodizeldeki ester miktarı % 90 olarak bulunmuştur (Servan 2011).

Erman (2012), tarafından yapılan çalışmada, tek silindirli bir dizel motoru kullanılarak atık kızartma yağının esterlenmesi ile elde edilen biyodizel yakıtının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yakıt giriş sıcaklığının egzoz emisyonları ve motor performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, saf dizel yakıtı oranla atık kızartma yağından elde edilen biyodizel yakıtının daha düşük seviyede HC ve CO emisyonu yaydığı, ancak daha yüksek egzoz sıcaklığı ve daha yüksek NO_x emisyonu yaydığı tespit edilmiştir. Atık kızartma yağından elde edilen biyodizel kullanımı ile motor performans değerlerinin dizel yakıtına göre azaldığı görülmüştür (Erman 2012).

Akbin (2012), tarafından yapılan çalışmada, kanola yağı kullanılarak hidrotalsite tutuklanmış lipaz ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada lipazlar desteğe tutuklanarak katalizör amacıyla kullanılmıştır. Transesterifikasyon için kullanılacak katalizör, laboratuvar ortamında üretimi gerçekleştirilen Lipozyme (TL100L), Lipozyme CALB-L ve Palatase 2000L lipaz enzimleri Mg-Al hidrotalsite tutuklanarak üretilmiştir. Çat (2012), tarafından yapılan çalışmada, dizel motorda atık biyodizel kullanımının performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Testler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak motor; dizel yakıtı B50 (% 50 biyodizel + % 50 dizel yakıtı) ve B100 yakıtları ile farklı yüklerde sabit bir devirde (2800 dev/dk) test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, biyodizel kullanımı sonucu önemli bir performans kaybının olmadığı, CO, HC ve motor emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir (Akbin 2012).

Şen (2012), tarafından yapılan çalışmada, hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Atık balık yağı kökenli biyodizel ve petrol kökenli dizel yakıt karışımları ile çalışan, tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorun performans ve emisyon karakteristikleri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça dizel yakıtına oranla özgül yakıt tüketiminde artış ve motorun döndürme momentinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Dizel motorun emisyon değerleri incelendiğinde ise CO ve HC emisyonlarında azalma meydana gelirken, NO_x emisyonlarında ise artışın meydana geldiği görülmüştür (Şen 2012).

Deniz (2013), tarafından yapılan çalışmada, biyodizel-dizel yakıtı karışımlarındaki biyodizel yüzdesi ile karışımın bazı fiziksel özellikleri (kalori değeri, CFPP değeri, alevlenme noktası, bulutlanma ve akma noktaları, yoğunluk ve viskozite) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Dört farklı yağdan (fındık yağı, mısır yağı, kanola yağı ve ayçiçek yağı) aynı şartlar altında biyodizel üretimi gerçekleştirilmiş ve bu örnekler biyodizel yakıtı ile B10, B20, B30, B40, B50, B60, B70, B80 ve B90 oranlarında karıştırılarak kalori değeri, alevlenme noktası, soğuk filtre tıkanma noktası (CFPP), akma noktası, yoğunluk ve viskozite gibi fiziksel özellikleri analiz edilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda aynı şartlar altında gerçekleştirilen deneylerde biyodizel oranının

artması ile akma noktası, yoğunluk, viskozite, bulutlanma noktası ve alevlenme noktasının arttığı, kalori değerinin ise azaldığı görülmüştür (Deniz 2013).

Alptekin (2013), tarafından yapılan çalışmada, atık tavuk ve deri yağının serbest yağ asidi değerlerinin tek ve iki aşamadan oluşan ön iyileştirme reaksiyonu yardımıyla % 1'in altına düşürülmesi sağlanmıştır. Uygun reaksiyon şartlarına göre gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda ürün eldesi % 90 olarak saptanmıştır (Alptekin 2013).

Benek (2013), tarafından yapılan çalışmada, gemi dizel motorlarında biyodizel yakıtının kullanılması incelenmiştir. Dizel motorun güç strokunun matematiksel modellenmesi yapılırken, temel hava-yakıt reaksiyon denklemleri kullanılmıştır. Biyodizel yakıtları, farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak bu karışımlar için hava-yakıt reaksiyon denklemlerinin bulunması amacıyla, kimyasal denge prensipleri kullanılmıştır. Bulunan matematiksel modelin sonuçlarını tespit edebilmek için bilgisayar kodu oluşturulmuş ve seçimi yapılan biyodizel ve dizel yakıt karışımlarının dizel motordaki performans değerleri tespit edilmiştir (Benek 2013).

Kalafat (2013), tarafından yapılan çalışmada, fazla miktarda su ve serbest yağ asidi içeren yağlardan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. % 7,08'e kadar yüksek su içeriğine sahip ayçiçeği yağıyla dahi -serbest yağ asidi içermemek şartıyla- baz katalizör (KOH) eşliğinde transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. % 4'e kadar serbest yağ asidi (oleik asit) içeren ayçiçek yağı kullanılarak -nem içermemek şartıyla- baz katalizörlü (KOH) transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretilebilir olduğu tespit edilmiştir (Kalafat 2013).

Şahin (2013), tarafından yapılan çalışmada, keten yağı biyodizelinin ve dizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Keten tohumundan elde edilen biyodizel, B100, B2, B5, B20 ve B50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Çalışma sonucunda, keten tohumundan elde edilen biyodizel ve karışımlarının fiziksel özellikleri ve performans değerleri, standart dizel yakıtı ile benzerlikler göstermiştir. Deney yakıtlarından elde edilen azami moment değerlerine

bakıldığında en yüksek değer, dizel yakıtı ile 1000 (1/min)'de yaklaşık 59,6 Nm iken, B100 yakıtı ile 1200 (1/min)'de yaklaşık 53,8 Nm'dir. Maksimum güç değerlerine bakıldığında ise en yüksek değer dizel yakıtı ile 2100 (1/min)'de yaklaşık 10,96 kW iken, B100 yakıtı ile 2000 (1/min)'de yaklaşık 10,23 kW'tır (Şahin 2013).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deney Düzeneği ve Ekipmanlar

Bu çalışmada, fındık yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Alkol ve katalizör oranları, reaksiyon gerçekleşme sıcaklığı ve süresi gibi parametrelerin verime etkileri değerlendirilmiştir. Biyodizel retim sürecinde gerçekleştirilen deneylerde katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve alkol olarak ise metanol (CH₃OH) kullanılmıştır. B5 ve B20 metil esterleri, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli dizel motorunda farklı motor devirlerinde test edilmiştir. Üretilen biyodizelin motor performans ve egzoz emisyon değerleri üzerine etkisi incelenmiştir.

3.1.1 Biyodizel retiminde Kullanılan Ekipmanlar

Biyodizel retim sürecinde ve deney sırasında; geri soğutucu, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, termometre, reaktör kabı ve manyetik balık kullanılmış olup düzenek Resim 3.1' de gösterilmiştir.



Resim 3.1 Deney Düzeneği.

3.1.1.1 Terazi

Biyodizel üretimi sürecinde ve optimizasyon işleminde fındık yağının metanol ve katalizörün, reaksiyon sonucunda oluşan numunenin tartılmasında, Radwag marka ve AS 220/C/2 modeli terazi kullanılmıştır. Ölçüm sırasında kullanılan dijital terazinin ölçme hassasiyeti 0,1 mg.dır. Kullanılan terazi Resim 3.2’de gösterilmiştir.



Resim 3.2 Terazinin görünümü.

3.1.1.2 Manyetik Karıştırıcı

Biyodizel üretiminde ve optimizasyon sürecinde kullanılan manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, Dragon-lab marka, 340 °C sıcaklığa kadar sıcaklık ayarı yapabilen, seramik kaplamalı ve sıcaklık kontrol kapasiteli cihazdır. Manyetik karıştırıcı Resim 3.3’te gösterilmiştir.



Resim 3.3 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcının görünümü.

3.1.1.3 Metil Alkol (Metanol)

Bu çalışmada, fındık yağı ile biyodizel üretiminde Merck marka kimyasal formülü (CH_3OH) olan metanol kullanılmıştır. Kullanılan metanolün molekül ağırlığı 32,04 g/mol ve yoğunluğu 20 °C sıcaklıkta 0,791–0,793 kg/l'dir. Kullanılan metanol Resim 3.4'te gösterilmiştir.



Resim 3.4 Metil alkol.

3.1.1.4 Katalizör

Bu çalışmada, katalizör olarak 56,10564 g/mol molekül ağırlığında, saflık değeri % 97'den büyük, Carlo Erba marka sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Katalizöre ait Resim 3.5'te verilmiştir.

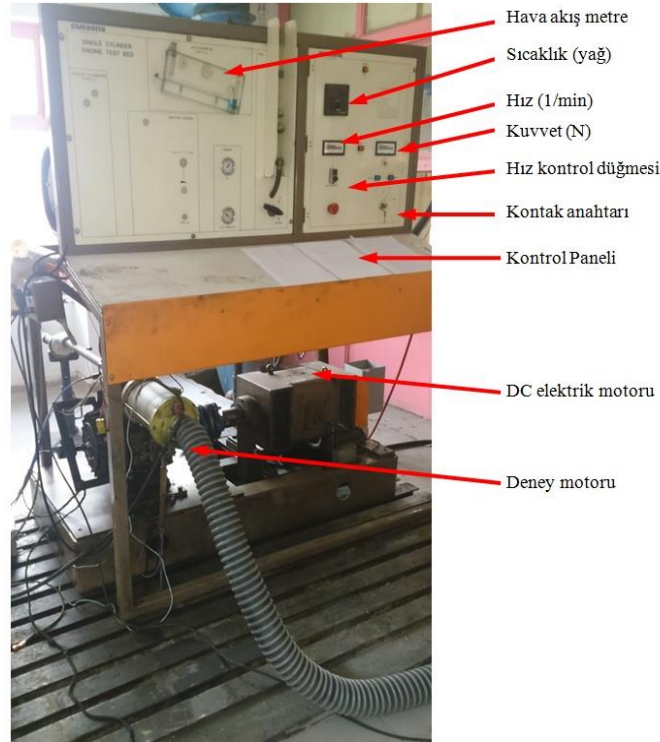


Resim 3.5 Sodyumhidroksit (NaOH).

3.1.2 Motor Testinde Kullanılan Ekipmanlar

Motor performans ve egzoz emisyon deneyleri Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler motor gaz keleşi tamamen açık ve sabit pozisyonda iken 1800, 2000, 2200, 2500, 2750 dev/dk şeklinde 5 farklı motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Testlere, motorun tam gazda ve yüksüz olduğu koşulda başlanmış ve dinamometre yardımıyla yüklenmesi sağlanarak motorun en az devirde çalışmasına kadar olan süreçte yükleme işlemi devam etmiştir. Egzoz emisyon değeri, motor devri, motor momenti ve yakıt tüketim değeri eş zamanlı kaydedilmiştir. Motor devri ve motor moment değeri, benzer şartlarda uygulanan ikiden az olmayan sonucun aritmetik ortalamaları alınarak kayıt edilmiştir. Yakıt sarfiyatı, kronometre ve hassas terazi kullanılarak ölçülmüş olup, 2 dakikadaki yakıt sarfiyatları referans alınarak kaydedilmiştir. Dinamometre kullanılarak motor

yüklenmiş, motor moment ve devrinin sabit tutulması sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra egzoz emisyonu değerleri ölçülmüştür. Dizel motora ait yakıt tüketimi Ohaus marka GT-8000 model, 0,1 g hassasiyete sahip azami 8 kg yakıt ölçebilen dijital terazi yardımıyla g/dk olarak kütleli debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Deneylede Cussons marka ve P8160 model, DC ve rejeneratif bir dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre azami 4000 dev/dk'da 10 kW güç absorbe edebilmekte olup, moment kol uzunluğu 0,25 m'dir. Dinamometre Resim 3.6'da görölmektedir.



Resim 3.6 Test düzeneği.

3.1.2.1 Test Motoru

Deneylede tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motor kullanılmıştır. Kullanılan motora ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Antor 6LD400 test motoru özellikleri.

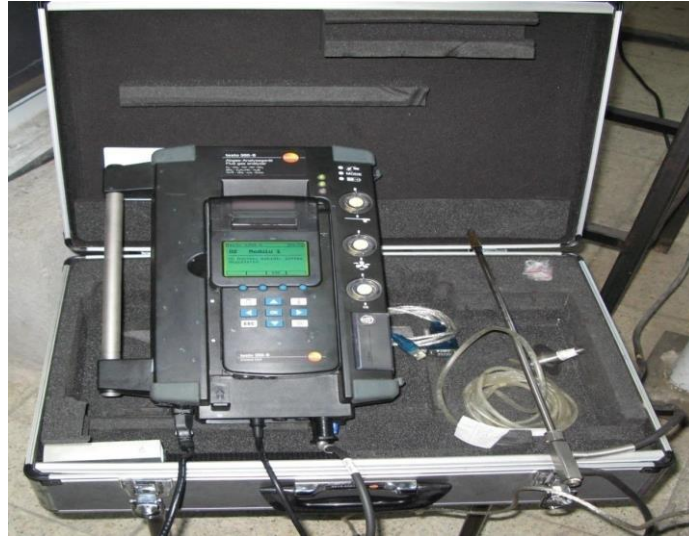
Marka	Antor 6LD400
Motor tipi	DI, Dizel
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	86
Kurs	68
Strok hacmi (cm ³)	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum motor devri (dev/dk)	3600
Maksimum motor gücü (kW)	5,4 (3000 dev/dk 'da)
Maksimum moment (Nm)	19,6 (2200 dev/dk 'da)
Yanma odası geometrisi	Meksika şapkası
Enjektör delik sayısı ve çapı	4x0,24
Enjektör uç açısı (°)	160
Enjektör püskürtme basıncı (MPa)	20
Püskürtme avansı	ÜÖN'den 24° KA önce
Em. açılma avansı (supap zamanlaması)	ÜÖN'den 7,5° KA önce
Em. kapanma gecikmesi (supap zamanlaması)	AÖN'den 25,5° KA sonra
Eg. açılma avansı (supap zamanlaması)	AÖN'den 21° KA önce
Eg. kapanma gecikmesi (supap zamanlaması)	ÜÖN'den 3° KA sonra

3.1.2.2 Emisyon Cihazı

Egzoz emisyon değerlerinin ölçümünde kullanılan Testo 350-S marka egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Resim 3.7'de kullanılan emisyon cihazı görülmektedir.

Çizelge 3.2 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler.

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO	0 ... +10.000 ppm CO	±10% ölç.değ. (+2.001 ... +10.000 ppm CO)
	±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. % CO ₂)
NO _x	+ 1% ölç.değ. (0 ... 25 Vol. % CO ₂)	0.01 Vol. % CO ₂
	0 ... +4.000 ppm NO _x	±10% ölç.değ. (+2.000 ... +4.000 ppm NO _x)
NO _x	±5% ölç.değ. (+100 ... +1.999 ppm NO _x)	±5 ppm CO (0 ... +99 ppm CO)
	0 ... +25 Vol. % O ₂	±0.8% tam ölçüm skalası (0 ... +25 Vol. % O ₂)



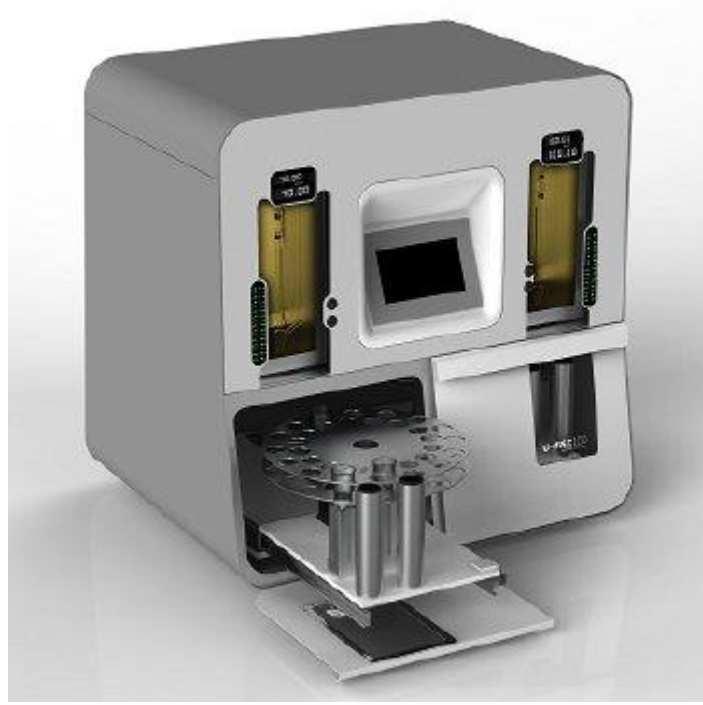
Resim 3.7 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı.

3.1.3 Yakıt Analizinde Kullanılan Ekipmanlar

3.1.3.1 Viskozite Tayini

Üretilmiş olan biyodizelin viskozite ölçümünde kullanılan viskozite analiz cihazı Omnitek U-Visc 200 tam otomatik tiptir. Cihazda birbirinden bağımsız olarak çalışan 2 banyo ve bu banyolardan her birinde iki tane U-Visc kaliper tüp mevcuttur. Sıcaklık

kontrolünün yüksek kalite analizi ASTM D445 standardı ile gerçekleştirilmiştir. Omnitek U-Visc 200 marka ve model viskozite tayin cihazı Resim 3.8’de gösterilmiştir.



Resim 3.8 Viskozite tayin cihazı.

3.1.3.2 Yoğunluk Tayin Cihazı

Deneylemler sonucunda elde edilen biyodizelle ait yoğunluk ölçümü Rudolph DDM 2911 cihazı ile yapılmıştır. Fuel oil, dizel ve benzin yakıtlarına ait yoğunluk ölçümü için kullanılan cihaz, Resim 3.9’da gösterilmiştir.



Resim 3.9 Yoğunluk tayin cihazı.

3.1.3.3 Kükürt Tayin Cihazı

Biyodizel yakıtlarında kükürt tayini amacıyla kullanılan cihaz, Biolab Sindie OTG marka analiz cihazıdır. Kükürt tayin cihazı aracılığı ile yapılan tüm analizler ASTM D7039 ve ISO 20884 standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Kükürt tayini ölçümünde kullanılan cihaz Resim 3.10’da verilmiştir.



Resim 3.10 Kükürt tayin cihazı.

3.1.3.4 Su Tayin cihazı

Biyodizel su tayin cihazı Aquamax KF markadır ve TS 6147 EN ISO 12937 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Kullanılan su tayin cihazına ait görünüm Resim 3.11’de verilmiştir.



Resim 3.11 Su tayin cihazı.

3.2 Deney Metodu

3.2.1 Biyodizel Optimizasyonu

Deney için kullanılan fındık yağı ticari bir firma aracılığı ile temin edilmiştir. Reaksiyonda katalizör olarak NaOH, alkol olarak CH₃OH kullanılmıştır.

NaOH ve CH₃OH tekrar soğutucu ile 60 °C’de 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ısıtıcı vasıtası ile ısıtılmıştır. Bu sayede katalizör ve metanol karışımlarının aktivasyonu sağlanmıştır. Reaksiyonun, 600 rpm karışım hızında ve 100 g fındık yağı kullanılarak gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Reaksiyon sonucunda gliserin faz ayrımını sağlamak için ayırma hunisi kullanılmıştır. Ayrım işlemi Resim 3.12’de gösterilmiştir. Hunide kalmış olan biyodizelin saflaştırılması amacıyla 90 °C’de saf su kullanılarak yıkama işlemi uygulanmıştır. Bu

uygulama, her numuneye 5'er kez yapılmıştır. Biyodizelden ortamda kalmış olan su ve alkolün uzaklaştırılması amacıyla 110 °C'ye kadar ısıtılması sağlanmıştır.

Bu çalışmada, optimum üretim şartlarının sağlanması amacıyla değişik parametreler (katalizör oranı, reaksiyon zamanı, metanol oranı, sıcaklık) kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklıkları 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C şeklinde değiştirilmiştir. Yağ-katalizör oranı % 0,2- %1 aralığında, yağ-metanol oranı % 10–30 aralığında, reaksiyon süreleri 15-75 dakika aralığında uygulanmıştır. Deney sonucunda edinilen biyodizele ait örnekler Resim 3.13'te gösterilmiştir.



Resim 3.12 Gliserin fazını ayırma işlemi.



Resim 3.13 Biyodizel örnekleri.

3.2.2 Motor Test Yöntemi

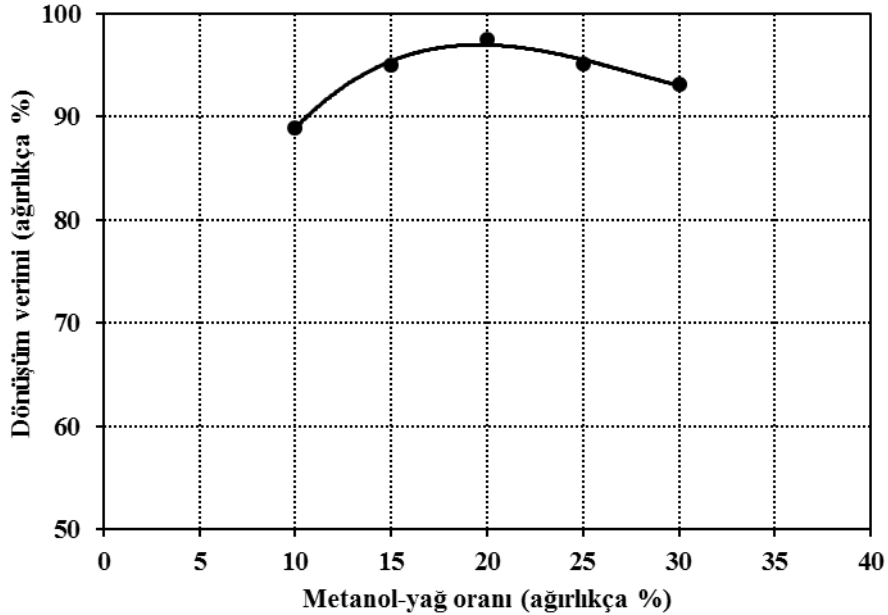
Yapılan testler, dizel motorda farklı değerlerde uygulanmıştır. Egzoz emisyon ölçümleri ve motor performansı, farklı yakıt karışımları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Dizel motor, ideal çalışma sıcaklığına geldikten sonra, dinamometre ile yüklenerek, motor devrinin istenen devirde sabit tutulması sağlanmıştır. Dizel ve hazırlanan dizel-biyodizel yakıt karışımları ile tam yükte 1800, 2000, 2200, 2500 ve 2750 dev/dk motor devirlerinde çalıştırılan dizel motorda motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri kayıt altına alınmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri

4.1.1 Metil Alkol Oranının Dönüşüm Verimi Üzerine Etkisi

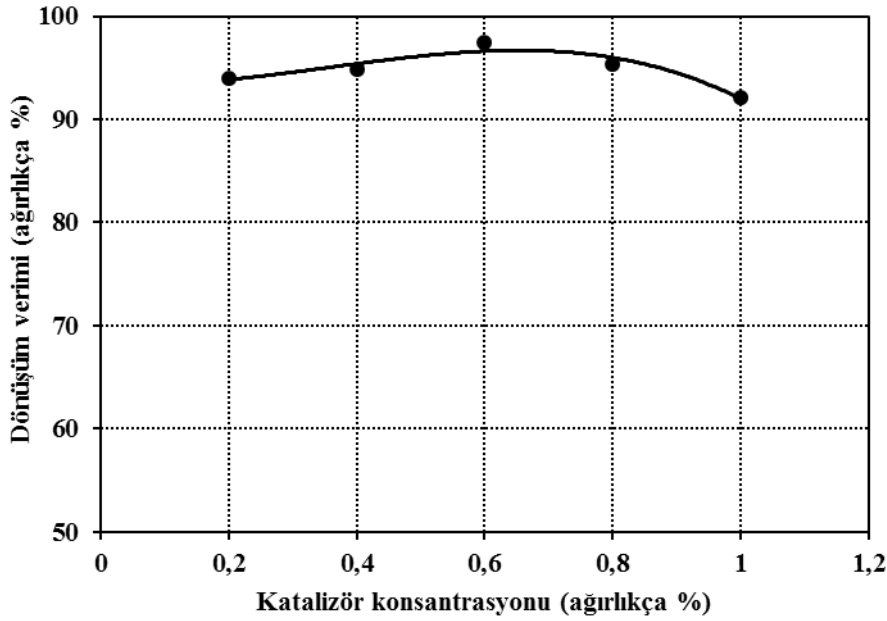
Şekil 4.1’de metanol-yağ oranının metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi görülmektedir. Metanol miktarı, kütlece yağın % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30’u olacak şekilde seçilmiştir. Diğer parametreler, reaksiyon sıcaklığı 60 °C, katalizör konsantrasyonu % 0,6, karıştırma hızı 600 dev/dk ve reaksiyon süresi 30 dakikada sabit tutulmuştur. Metanol-yağ oranı % 10’un altında olduğunda faz ayrılması gözlenmemiştir. Bu durum % 10 metanol-yağ oranının altında metanol miktarı reaksiyonu tamamlamak için yeterli olmadığını göstermektedir. Metanol-yağ oranı % 20 olduğunda maksimum dönüşüm verimi elde edilmiştir. Daha yüksek metil alkol oranlarında verim düşmeye başlamıştır. Metanol-yağ oranı % 20 den daha yüksek olduğunda gliserolün üründen ayrılması sırasında saflaştırma problemleri ortaya çıktığından verimde düşme görülmüş olabilir (Tütüncü 2013).



Şekil 4.1 Metanol-yağ oranının metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi.

4.1.2 Katalizör Konsantrasyonunun Dönüşüm Verimi Üzerine Etkisi

Şekil 4.2’de katalizör konsantrasyonunun metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi görülmektedir. Katalizör miktarı, yağın ağırlıkça % 0,2, % 0,4, % 0,6, % 0,8 ve % 1’i olacak şekilde seçilmiştir. Diğer parametreler, reaksiyon sıcaklığı 60 °C, metanol-yağ oranı % 20, karıştırma hızı 600 dev/dk ve reaksiyon süresi 30 dakikada sabit tutulmuştur. % 0,2’den daha düşük katalizör konsantrasyonları reaksiyonu tamamlamak için yeterli değildir. Maksimum dönüşüm verimi % 0,6 katalizör konsantrasyonunda elde edilmiştir. % 0,6 dan daha yüksek katalizör konsantrasyonlarında da verim düşmeye başlamıştır. Bitkisel ve hayvansal yağlar yapılarında belirli miktarda serbest yağ asidi ve su içerebilirler. Yüksek katalizör konsantrasyonlarında alkali katalizör serbest yağ asidi ile reaksiyona girerek sabun oluşturur (Tütüncü 2013).

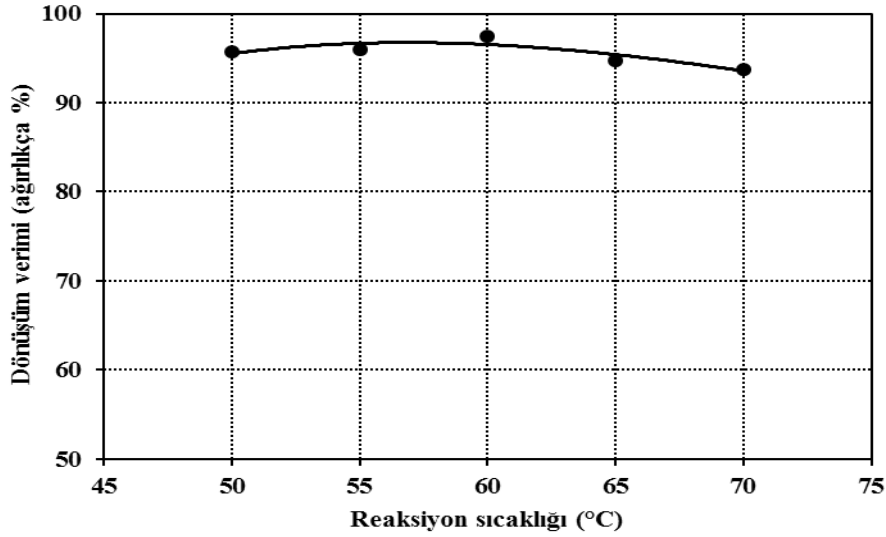


Şekil 4.2 Katalizör konsantrasyonunun metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi.

4.1.3 Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerine Etkisi

Şekil 4.3’de reaksiyon sıcaklığının metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi görülmektedir. Deneyler 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C ve 70 °C reaksiyon sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Diğer parametreler, metanol-yağ oranı % 20, katalizör

konsantrasyonu % 0,6, karıştırma hızı 600 dev/dk ve reaksiyon süresi 30 dakikada sabit tutulmuştur. Genellikle alkali katalizli reaksiyonlar alkolün kaynama noktasına yakın sıcaklıklarda yapılmaktadır. Metil esterin maksimum dönüşüm verimi 60 °C de elde edilmiştir. 60 °C sıcaklığa kadar sıcaklık artıka metil ester dönüşüm verimi de artmıştır. 60 °C sıcaklığın üzerinde ise verim düşmeye başlamıştır. Yüksek sıcaklıklarda reaksiyon daha hızlı gerçekleşir. Ancak yüksek sıcaklıklarda metanolün buharlaşmaya başlaması ve oluşan kabarcıkların metanol, katalizör ve yağ etkileşimini azaltıyor olmasından dolayı verimde azalma görülmüş olabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıklar sabunlaşma reaksiyonunu hızlandırdığından verimde düşmeye sebep olmuştur (Tütüncü 2013).

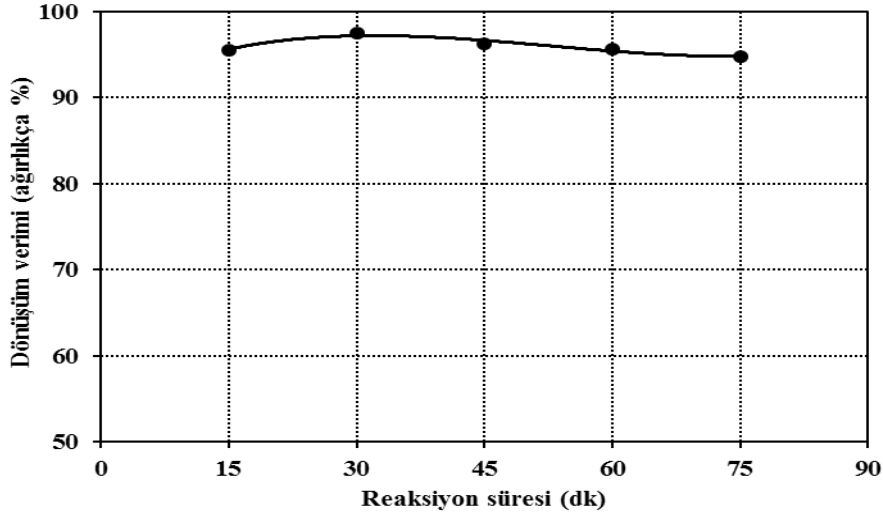


Şekil 4.3 Reaksiyon sıcaklığının metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi.

4.1.4 Reaksiyon Süresinin Verime Olan Etkisi

Şekil 4.4’de reaksiyon süresinin metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi görülmektedir. Deneyler 15 dk, 30 dk, 45 dk, 60 dk ve 75 dk reaksiyon sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Diğer parametreler, metanol-yağ oranı % 20, katalizör konsantrasyonu % 0,6, karıştırma hızı 600 dev/dk ve reaksiyon sıcaklığı 60 °C de sabit tutulmuştur. 30 dakikaya kadar reaksiyon süresi artıka metil ester dönüşüm verimi de artmıştır. Bu durum yağın yapısındaki doymuş yağ asitleriyle ilgili olabilir. Yağın

yapısındaki doymuş yağ asitleri yüksek aktivasyon enerjisine sahip olduğundan maksimum dönüşüm verimine ulaşmak için 30 dakika reaksiyon süresi gerekmektedir. 30 dakikadan sonra dönüşüm veriminde azalma meydana gelmeye başlamıştır. Transesterifikasyon da bir denge reaksiyonu olduğundan artan metil ester miktarı reaksiyonun girenler yönüne kaymasına neden olur. Bu durumda metil ester dönüşüm verimi düşmüş olabilir (Tütüncü 2013).



Şekil 4.4 Reaksiyon süresinin metil ester dönüşüm verimi üzerine etkisi.

4.1.5 Fındık Yağından Üretilen Biyodizelin Özellikleri

Yapılan deneylerde üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüş, bu ölçümler AKÜ Otomotiv Mühendisliği Akaryakıt Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

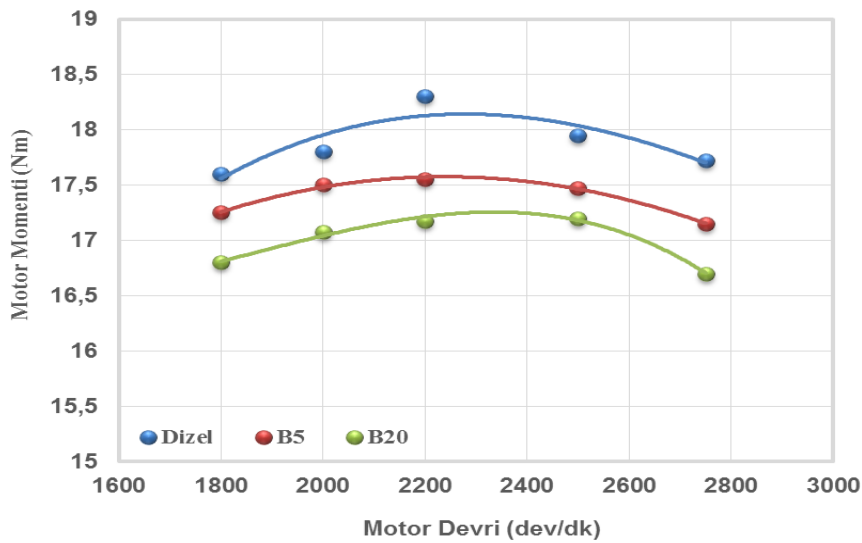
Çizelge 4.1 Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler.

Özellikler	Sonuçlar
Alt ısııl değer (kJ/kg)	39.573
Viskozite (mm ² /s)	4,655
Yoğunluk (g/cm ³)	0,877
Parlama noktası (°C)	173
Su (ppm)	380,7
Soğuk filtre tıkanma noktası (°C)	-11
Akma noktası (°C)	-18

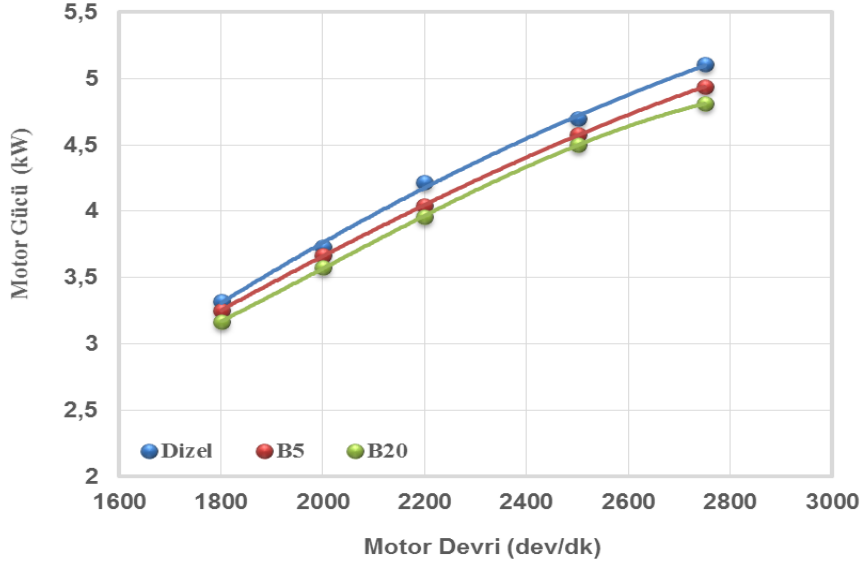
4.2 Motor Performans ve Emisyon Ölçümleri

4.2.1 Biyodizel Kullanımının Motor Performansı ve Özgül Yakıt Tüketimine Etkileri

Motor güç ve momenti; hava yakıt karışım kalitesine, atomizasyon karakteristiklerine, tutuşma gecikmesine, ısı yayılımı oranına, yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi parametrelere bağlıdır (Çelik 2015). Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da motor devrine bağlı olarak motor momenti ve motor gücü değişimleri sırası ile görülmektedir. B5 ve B20 yakıtları kullanımı ile dizel yakıtına göre motor momentinde ortalama olarak sırasıyla % 2,74 ve % 4,95 azalma meydana gelmiştir. Motor gücü motor devri ve motor momentine bağlıdır. Motor devrinin artması ile motor gücünde artış göstermektedir. B5 ve B20 yakıtları kullanımı ile motor gücünde ortalama olarak sırasıyla % 2,8 ve % 5 azalma elde edilmiştir. Karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artması ile motor gücünde ve motor momentindeki azalmanın biyodizelin düşük ısı değeri, yüksek yoğunluk ve viskozite değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek viskozite ve yoğunluk yakıtın atomizasyonunu etkilemektedir. Kötü atomizasyon sonucu hava ile yakıtın homojen karışım oluşturma özelliği azalmakta, tutuşma gecikmesi süresi uzayarak yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır (Albayrak 2014).



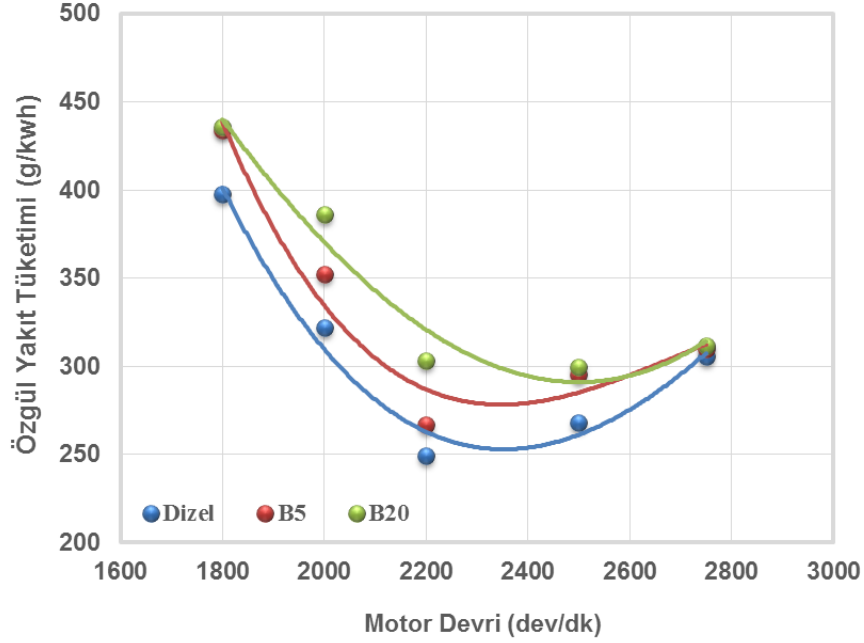
Şekil 4.5 Motor devrine bağlı dizel ve biyodizel yakıtlarına ait motor momenti değişim grafiği.



Şekil 4.6 Motor devrine bağlı dizel ve biyodizel yakıtlarına ait motor gücü değişim grafiği.

Şekil 4.7’de dizel, B5 ve B20 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri (SFC) motor devrine bağlı olarak verilmiştir. B5 ve B20 yakıtlarının kullanımı ile özgül yakıt tüketimi değerlerinde dizel yakıtına göre ortalama olarak sırasıyla % 7,45 ve % 12,58 artış gözlenmiştir. Biyodizelin dizel yakıtı içerisindeki yüzdesinin artmasına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri de artış göstermektedir. B5 ve B20 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin yüksek olmasının temel nedeni biyodizelin ısı değeri dizel yakıtına göre % 7,76 daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Özgül yakıt tüketimini etkileyen en önemli diğer iki parametre viskozite ve yoğunluktur. Biyodizelin viskozite ve yoğunluk değerleri dizel yakıtına göre daha yüksektir. Viskozite ve yoğunluk özellikle düşük motor devirlerinde yakıtın atomizasyon karakteristiklerini etkilemekte ve kötü atomizasyon yakıt reaksiyon bölgelerinde azalmaya neden olduğundan yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır (Özsezen ve Çanakçı 2009).



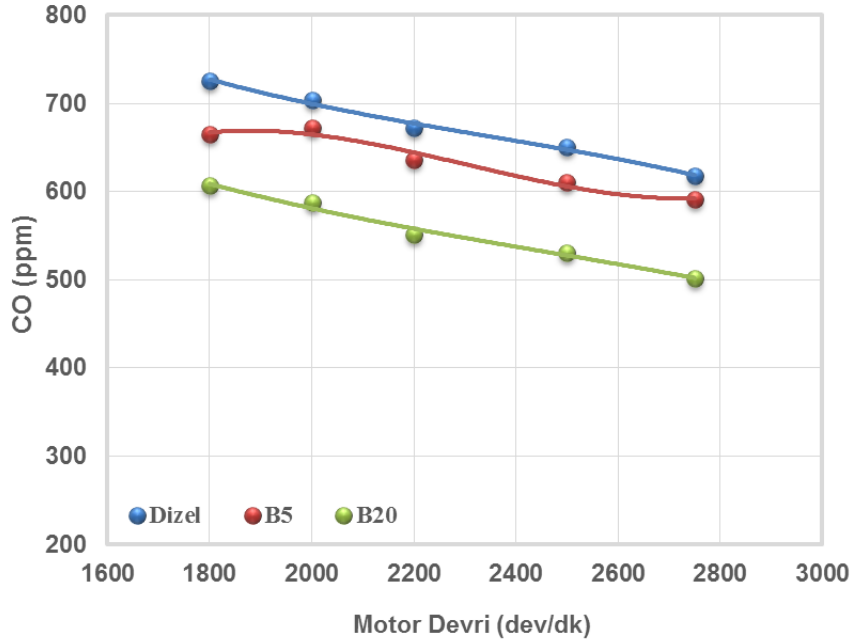
Şekil 4.7 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimleri değişim grafiği.

4.2.2 Biyodizel Kullanımının Egzoz Emisyonlarına Etkileri

İçten yanmalı motorlarda oluşan egzoz emisyonları yakıt tipi, yanma odası tasarımı, atomizasyon oranı, motor devri, hava yakıt oranı vb. etkenlerden etkilenmektedir. Özellikle egzoz gazlarındaki CO emisyonları yanma odasında yetersiz oksijen ve sıcaklığa bağlı olarak açığa çıkan eksik yanma ürünüdür. HC emisyonları ise özellikle soğuk silindir cidarlarına temas eden alevin sönmesine bağlı olarak açığa çıkan emisyonlardır. Yanma esnasında 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 *et al.* 2009).

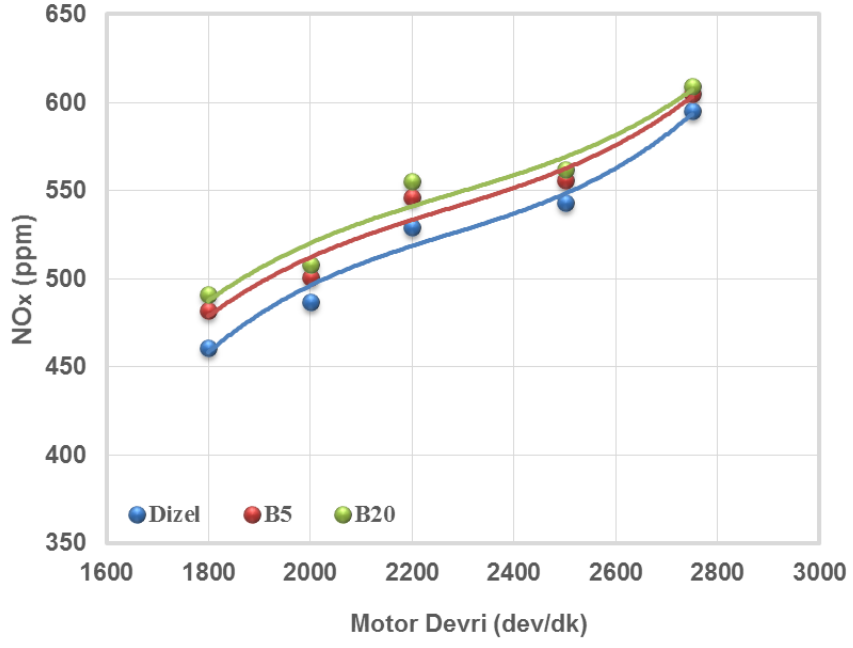
Motor devrine bağlı olarak dizel, B5 ve B20 yakıtları ile elde edilen CO emisyon değerleri şekil 4.8'de görülmektedir. B5 ve B20 yakıtlarının CO emisyonu değerleri dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama olarak % 5,82 ve % 17,6 daha az elde edilmiştir.

Dizel yakıtına göre biyodizel içinde oksijenin fazla olmasıyla daha kaliteli yanma gerçekleşmiştir. Biyodizel CO emisyon değerlerine olumlu etki etmesine rağmen motor gücü dizel yakıtı oranla daha düşüktür.



Şekil 4.8 Motor devrine bağlı olarak CO emisyonları değişimi.

NO_x emisyonunun motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. NO_x emisyonu değerleri dizel yakıtı oranla B5’de ortalama % 2,87 ve B20’de ortalama % 4,2 daha fazladır. Biyodizelin ses iletim hızı yüksek ve sıkıştırılabilirliği ise düşük olduğundan, yakıt pompasından çıkan basınç dalgaları biyodizel içinde daha çabuk ilerleyecek ve biyodizel bu basınç dalgalarını kendi içinde daha az sönmeyecektir. Bunların sonucunda kritik basınç olarak adlandırılan enjektör iğnesi kalkma basıncına (püskürtme basıncı) daha erken ulaşılmaktadır. Bunların sonucunda yanma daha erken başlamakta ve NO_x emisyonu artmaktadır. Bununla birlikte yüksek oksijen içeriğine sahip biyodizelin yanması sonucu oksijen ile azot molekülleri daha kolay reaksiyona girerek yanma sonu gaz sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda NO_x emisyonları yüksek yanma sonu gaz sıcaklıklarında açığa çıktığından karışım yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça NO_x oluşumunun arttığı gözlemlenmektedir (Şanlı ve Çanakçı 2004)



Şekil 4.9 Motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonları değişimi.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizdeki enerji ihtiyacının büyük bir kısmı yurt dışından karşılanmaktadır. Bu durum ülkemizden döviz çıkışına neden olmaktadır. İthal ettiğimiz petrol kaynakları arasında dizel yakıtın payı yüksektir. Bilimsel araştırmalar neticesinde bitkisel yağlardan elde edilen “biyodizel” dizel motorlarda uyumlu bir şekilde kullanılmıştır. Ülkemiz bir tarım ülkesidir. Soya ve fındık bitkilerinin doğal yetişme alanıdır. Soya bitkisinin ekimi Çukurova Bölgesinde yetişme ortamı bulmuştur. Fındık bitkisi Karadeniz bölgesinin vazgeçilmez bir ürünüdür. Üretim fazlası fındığın yağa işlenerek metil esterleştirme işlemine tabi tutulması ile biyodizel üretilebilecektir. Böylece fındık bitkisinin fiyat istikrarını sağlamada bir adım daha atılmış olacaktır.

Bu çalışmada fındık yağından tek basamaklı transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi; sıcaklık, reaksiyon süresi, metanol oranı ve katalizör oranı gibi parametrelerin verim üzerine etkileri incelemiştir. Üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. B5, B20 ve dizel yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir.

Fındık yağı biyodizelinde farklı parametrelerin kullanıldığı deneyler sonucunda en yüksek verim, 60 °C sıcaklık, 30 dakika reaksiyon süresi, % 0,6 katalizör oranı ve % 20 metanol oranı kullanımında % 97,48 olarak belirlenmiştir.

Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler; yoğunluk 0,877 g/cm³, parlama noktası 173 °C, alt ısıl değer 39.573 kJ/kg, viskozite 4,655 mm²/s, soğuk filitre tıkanma noktası -11 °C, akma noktası -18 °C ve su içeriği 380,7 ppm olarak belirlenmiştir.

B5 ve B20 yakıtlarının dizel motorda kullanılması ile motor momentinde dizel yakıtına göre % 2,74 ve % 4,95 azalma meydana gelmiştir. Meydana gelen azalmaların sebebinin biyodizelin düşük alt ısıl değere, yüksek viskozite ve yoğunluk sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

B5 ve B20 yakıtları motor güçleri açısından değerlendirildiğinde, dizel yakıtına oranla ortalama olarak % 2,8 ve % 5'lik azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmanın sebebi dizel yakıtına oranla metil ester içerikli yakıtın alt ısıl değerinin daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

B20, B5 biyodizel yakıt kullanılması ile, özgül yakıt tüketimi (SFC) değerleri artış göstermiştir. B5 ve B20 yakıtlarının kullanımı ile özgül yakıt tüketimi değerlerinde dizel yakıtına göre ortalama olarak sırasıyla % 7,45 ve % 12,58 artış gözlenmiştir. Biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olması, özgül yakıt tüketimi değerinin yüksek çıkma nedenidir. Ayrıca, yoğunluk ve viskozite değerleri atomizasyon kalitesini etkilemekte ve özgül yakıt tüketim değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır.

B5 ve B20 yakıtlarının CO emisyonu değerleri dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama olarak % 5,82 ve % 17,6 daha az elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre biyodizel içinde oksijenin fazla olması CO emisyon değerlerinin azalmasında etkili olmuştur.

B5 ve B20 yakıtlarının NO_x emisyonu değerleri dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama olarak % 2,87 ve % 4,2 daha fazla elde edilmiştir.

Biyodizelin avantajlarını ön plana çıkartarak kullanımını teşvik etmek ve üretimde maliyetlerin düşürülmesi amacıyla tüketicilerin özendirilmesi, devletin konu ile ilgili çalışan firmalara teşvik vermesi ve üretiminin yaygınlaşması amaçlayan program yürütülmesi, bununla beraber biyodizel yakıtında vergi indirimine gidilmesi gerekmektedir. Biyodizel katkısız araç yakıtı olarak kullanılsa dahi, dizel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak ülkeye fosil kökenli yakıt alınırken ödenen milli servet en aza indirilmiş olur.

Ülke ekonomimiz ve ekonomiden kaynaklı gereklilikler için biyodizel yakıtının çeşitlendirilmesi, verimi nispeten düşük arazilerde biyodizel elde edilebilecek daha uygun ürünlerin yetiştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte ülkeye ve dolayısıyla insanlığa katkı sağlanabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Akbin, H.M. (2012). Kanola Yağından Hidrotalsite Tutuklanmış Lipaz İle Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Akçay, H.T. (2006). Bazı Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aksoy, L. (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**: 45-52.
- Albayrak, S. (2014). Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon Ve Titreşimlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Altınsoy, A.S. (2007). Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alptekin, E. (2013). Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorda Kullanımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Alptekin, E., Çanakçı, M. (2011). Hayvansal kökenli yağlardan biyodizel üretimi. VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKS 2011), Kayseri, 1-9.
- Benek, G. (2013). Gemi Dizel Motorlarında Biyodizel Yakıt Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çat, S. (2012). Dizel Motorda Atık Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çaylak, A. (2006). Motorin-Fındık Yağı Metil Ester Karışımının Yakıt Olarak Kullanılmasının Motor Performansı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- :Çelik, M. (2015). Biyodizel ve Biyodizel Karışımlarının Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesi ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çildir, O., Çanakçı, M. (2006). Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **21**: 367-372.
- Danışman, A. (2008). Bitkisel Yağlardan Değerli Kimyasallar ve Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Demiral, I., Sensöz, S. (2002). Fındık Küspesinin Sabit Yatak Reaktöründe Pirolyzi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 871-875.
- Deniz, Ç. (2013). Biyodizel Dizel Karışımlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Biyodizel Oranı İle Değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dölekoğlu, T. (2003). Yağlı Tohumlar ve Bitkisel Yağlar. Türkiye’de Fındık. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Erdoğan, D., Onurbaş, A. (1994). Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunun Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağlarla Ölçülen Performans Değerleri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı*, **44**: 7-16.
- Erman, C. (2012). Tek silindirli Bir Dizel Motorda Ön Isıtmalı Biyodizel Yakıt Kullanımının Motor Performansı, Egsoz Emisyonları ve Silindir İçi Yanma Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gonzalez Gomez, M.E., Howard-Hildige R., Leahy J.J., O’Reilly, T., Supple, B., Malone, M. (2000). Emission and Performance Characteristics of a 2 Litre Toyota Diesel van Operating on Esterified Waste Cooking oil and Mineral Diesel Fuel. *Environ Monitor Assessment*, **65**: 13–20.
- Gök, C. (2008). Biyodizel Olarak Çeşitli Bitkisel Yağların Etil Ester Metoduyla Üretilerek Karakteristiklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Kalafat, M.Y. (2013). Fazla Miktarda Su ve Serbest Yağ Asidi İçeren Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Karabektaş, M. (2002). Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Karaosmanoğlu, F. (2002). Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir bir yakıt adayı: Biyomotorin. *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICCI 2002 Özel Sayısı*, **10**: 50-56.
- Kaya, C. (2006). Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Kesgin, C. (2011). Fındık Yağından Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Knothe, G., Gerpen, V.J., Krahl, J., (2005). "The Biodiesel Handbook". AOCS Press, Champaign, Illinois, USA.
- Knothe, G., (2006). Analyzing Biodiesel: Standards and Other Methods. *National Center for Agricultural Utilization Research, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, USA*.
- Koç, Ö. (2010). Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Motora Etkilerinin Dizel Yakıtı İle Deneysel Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Mesut, E. (2011). Atık Ayçiçeği Yağından Biyodizel Üretimi ve Ön Isıtma uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Monyem, A., (1998). The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions. Phd Thesis, Iowa State University, IA, USA.
- Nas, S., Gökalp, H.Y., Ünsal, M. (1992). Bitkisel Yağ Teknolojisi, Atatürk Üniversitesi Yayınları. No:723, Ziraat Fakültesi, No:312, Ders Kitapları Serisi, No:64, Erzurum.

- Özdemir, M. (1997). Türk Fındık Çeşitlerinin Özelliklerinin Kalite Açısından Değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojisi*, **2**: 46–52.
- Özdemir, M. (2011). Bir Dizel Motorda Biyodizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Özsezen, A.N., Çanakçı, 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, **4**: 629–636.
- Özsezen A.N., Çanakçı, M. (2009). Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı Bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15**: 173-180.
- Palme, A.E., Vendramin, G.G. (2002). Chloroplast DNA Variation, Postglacial Recolonization and Hybridization in Hazel, *Corylus avellana*. *Molecular Ecology*, **11**: 1769-1779.
- Reşitoğlu, İ.A. (2010). Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E., Soruşbay, C. (1999). İçten Yanmalı Motorlar. Birsen Yayınları, İstanbul.
- Şanlı, H., Çanakçı, M. (2004). Biyodizel Egzoz Emisyonundaki NO_x Artışının Nedenleri Üzerine Bir Değerlendirme. 8. Uluslararası Yanma sempozyumu, 418- 427, Ankara.
- Schumacher, L., Gerpen, J.V., Adams, B. (2003). Diesel fuel injection pump durability test with low level biodiesel blends. American Society of Agricultural Engineers, 036036.
- Servan, M.A. (2011). Bazı Alkali (Baz) Katalizörlerinin Hazırlanması, karakterizasyonu ve Bu Katalizörler Varlığında Yağlardan Transesterleşme Tepkimesi İle Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M., Shapouri, H. (1998). Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, USA.
- Shiotani, H., Goto, S. (2007). Studies of Fuel Properties and Oxidation Stability of Biodiesel Fuel. SAE Technical Paper, 2007-01-0073.
- Şahin, S. (2013). Keten Yağı Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şen, S. (2012). Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Dizel Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü (2011). Fındık Bülteni, sayı 2011/04.
- TS 3082 EN 590 (2005). Otomotiv Yakıtları-Dizel (Motorin)-Gerekler ve Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS EN 14214 (2009). Otomotiv Yakıtları–Yağ Asidi Metil Esterleri (Yame/Biyodizel), Dizel Motorlar İçin, Gerekler ve Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- Tütüncü, H. (2013). Transesterifikasyonla balık yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu. Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Wielligh, A., Burger, N., Wilcocks, T., (2002). Diesel engine failure due to fuel with insufficient lubricity. Dept. of Mechanical and Aeronautical Engineering. University of Pretoria.
- Yenioglu, V.K. (2009). Biyodizel sentezi ve biyodizel katkı maddelerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya/Hatay.
- Yüce, İ. (2008). Alternatif Yakıt Olarak Biyodizelin Türkiye ve Almanya'daki Durumu ile Taşıtlarda Kullanımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

6.1 İnternet Kaynakları

1- http://tb.org.tr	01.03.2016
2- http://www.fiskobirlik.com.tr	22.05.2016
3- http://www.gidadernegi.org	17.05.2016
4- http://www.fiskobirlik.com.tr	20.04.2016
5- http://www.tmo.gov.tr/Main.aspx?ID=84 , 16 Mayıs 2011	13.02.2016
6- http://www.ftg.org.tr	09.03.2016
7- www.ayargeb.kocaeli.edu.tr	28.02.2016
8- http://mim.bilecik.edu.tr/Dosya/Icerik/288	21.05.2016
9- http://biyokure.org/biyodizelin-yakit-ozellikleri/5464/	30.01.2016
10- http://tr.wikipedia.org/wiki/Biyodizel	04.04.2016
11- www.egebiyoteknoloji.com	26.03.2016
12- http://biodizel.tr.gg/Biodizel.htm	31.03.2016

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan NAMVER
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir 06.10.1978
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 533 379 76 73 / hakannamver@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Menemen E.M.L. 1996
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2008
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2016

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Tuvtürk 2010-2012