

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN DİZEL MOTORLARDA YAKIT OLARAK
KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yılmaz AKDERE

Balıkesir, Temmuz - 2006

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN DİZEL MOTORLARDA YAKIT
OLARAK KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yılmaz AKDERE

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Sınav Tarihi : 06 TEMMUZ 2006

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Bedri YÜKSEL (Danışman-BAÜ)

Doç.Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ)

Yrd.Doç.Dr. Nadir İLTEN (BAÜ)

Balıkesir, Temmuz – 2006

ÖZET

SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN DİZEL MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Yılmaz AKDERE

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL)

Balıkesir, 2006

Dünya nüfusunun artması, ve hızlı sanayileşme enerjiye duyulan ihtiyacı artırmıştır. Mevcut enerji kaynaklarının sonlu olması yeni ve yenilenebilir kaynakların araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Dünya genelinde tüketilen petrolün büyük kısmı motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda içten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif enerji kaynaklarının araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada soya yağı metil esteri (SME)'nin dört zamanlı, dört silindirli, direkt püskürtmeli ve turboşarjlı bir dizel motorunda kullanım imkanı deneysel olarak araştırılmıştır. Dizel yakıtı ve SME deney motorunun orijinal püskürtme avansı (15^0) de test edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Moment ve güç değerlerinde ortalama olarak sırasıyla %2,04-%1,98 düşüş, özgül yakıt tüketiminde %13,07 artış ve duman koyuluğu değerlerin de yaklaşık %50 oranında düşüş tespit edilmiştir.

Değişik püskürtme avanslarında SME kullanılarak aynı testler tekrar yapılmış ve dizel yakıtı kullanılarak 15^0 de yapılan test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Püskürtmenin öne alınması (18^0) motor güç ve momentinde ile duman koyuluğu değerlerinde artışa, özgül yakıt tüketiminde azalmaya sebep olmuştur. Püskürtmenin geciktirilmesi (12^0) motor güç ve momentinde azalmaya, özgül yakıt tüketimi ve duman koyuluğu değerlerinde artışa sebep olmuştur.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Soya Yağı Metil Esteri, Alternatif Yakıt, Biyodizel, Dizel Motoru.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USE OF SOYBEAN OIL METHYL ESTER AS FUEL IN DIESEL ENGINES

Yılmaz AKDERE

**Balikesir University, Institute of Science, Department of
Mechanical Engineering**

(M. Sc. Thesis / Supervisor :Asst.Prof.Dr. Bedri YÜKSEL)

Balikesir-Turkey, 2006

Excessive increase in the world population and rapid industrialization have augmented the demand for energy. Because the sources of energy are finite, it has become a necessity to look for new and renewable sources. Most of the oil is consumed as engine fuel throughout the world. Therefore it is of great importance to search for new and renewable alternative energy sources in internal combustion engines.

In this study the use of soybean oil methyl ester(SME) was tested experimentally in a turbo charged diesel engine which has 4 cycles, 4 cylinders and direct injection. Diesel fuel and SME were tested in the experiment engine at 15⁰ injection time and the results were compared. It was found that there is a decrease of 2,04%-1;98% respectively at the engine torque and power, an increase of 13,07% in the specific fuel consumption and a decrease of 50% at smoke density.

By using SME the same tests were conducted again of different injection timing and compared to test results of SME and diesel fuel (15⁰). Early injection (18⁰) caused an increase in engine power and torque, smoke density and a decrease in specific fuel consumption. On the other hand, late injection (12⁰) caused a decrease in engine power and torque, an increase in specific fuel consumption and smoke density compared to diesel fuel test results.

KEY WORDS : Soybean Oil Methyl Ester, Alternative Fuels, Biodiesel, Diesel Engine.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER | ii |
| ABSTRACT, KEY WORD | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SEMBOL LİSTESİ | vi |
| ŞEKİL LİSTESİ | vii |
| ÇİZELGE LİSTESİ | ix |
| ÖNSÖZ | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Literatür Araştırması | 5 |
| 2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ | 33 |
| 2.1 Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtlar | 33 |
| 2.1.1 Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtların Özellikleri | 33 |
| 2.1.1.1 Viskozite | 34 |
| 2.1.1.2 Isıl değer | 35 |
| 2.1.1.3 Setan sayısı | 36 |
| 2.1.1.4 Akma noktası | 36 |
| 2.1.1.5 Yoğunluk ve API | 37 |
| 2.1.1.6 Parlama ve alevlenme noktası | 37 |
| 2.1.1.7 Uçuculuk | 37 |
| 2.1.1.8 Korozyon etkisi | 38 |
| 2.2 Biyokütle Enerjisi ve Biyodizel | 38 |
| 2.2.1 Biyokütle Enerjisi | 38 |
| 2.2.2 Dünyada Biyokütle Kullanımı | 40 |
| 2.2.3 Türkiyede Biyokütle Kullanımı | 43 |
| 2.3 Biyodizel | 45 |
| 2.3.1 Biyodizelin Tanımı | 45 |
| 2.3.2 Biyodizelin Özellikleri | 45 |
| 2.4 Bitkisel Yağlar | 48 |
| 2.4.1 Bitkisel Yağların Yapısı | 48 |
| 2.4.2 Yağ Asitleri | 50 |
| 2.4.2.1 Doymuş Yağ Asitleri | 50 |
| 2.4.2.2 Doymamış Yağ Asitleri | 50 |

| | |
|--|-----|
| 2.4.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri | 53 |
| 2.4.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri | 54 |
| 2.4.4.1 Tuz Teşkili | 54 |
| 2.4.4.2 Ester Teşkili | 54 |
| 2.4.4.3 Çift Bağlarla ilgili Reaksiyonlar | 55 |
| 2.4.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları | 55 |
| 2.4.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri | 56 |
| 2.4.5.1.1 Bitkisel Yağların Isıl değeri | 60 |
| 2.4.5.1.2 Bitkisel Yağların Viskozitesi | 60 |
| 2.4.5.1.3 Bitkisel Yağların Setan Sayısı | 61 |
| 2.4.5.1.4 Bitkisel Yağların Yoğunluğu | 61 |
| 2.4.5.2 Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi | 62 |
| 2.4.5.3 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini iyileştirme Yöntemleri | 63 |
| 2.4.5.4 Bitkisel Yağların Doğrudan Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı | 64 |
| 2.4.5.5 Seyreltme Yöntemi İle Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 66 |
| 2.4.5.6 Mikroemülsiyon Yöntemi İle Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 67 |
| 2.4.5.7 Piroлиз Yöntemi İle Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 67 |
| 2.4.5.8 Transesterifikasyon Yöntemi İle Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 69 |
| 2.4.6 Biyodizelin Çevresel Özellikleri | 71 |
| 2.4.7 Dünyada Biyodizel Uygulamaları | 73 |
| 2.4.8 Biyodizel Standartları | 75 |
| | |
| 3. MATERYAL VE METOT | 78 |
| 3.1 Materyal | 79 |
| 3.1.1 Deney Motoru | 79 |
| 3.1.2 Motor Test Cihazı | 81 |
| 3.1.3 Soğutma Kulesi | 82 |
| 3.1.4 Egzoz Emisyon Ölçümünde Kullanılan Cihaz | 83 |
| 3.1.5 Deney Yakıtı | 84 |
| 3.2 Metot | 87 |
| 3.2.1 Yakıt Ölçümü | 87 |
| 3.2.2 Efektif Verim Hesabı | 88 |
| 3.2.3 Ortalama Efektif Basınç Hesabı | 88 |
| 3.2.4 Deneyin Yapılışı | 88 |
| | |
| 4. SONUÇ VE TARTIŞMA | 90 |
| 4.1 Güç Değişimleri | 90 |
| 4.2 Moment Değişimleri | 93 |
| 4.3 Özgül Yakıt Tüketimi Değişimleri | 96 |
| 4.4 Efektif Verim | 98 |
| 4.5 Ortalama Efektif Basınç Değişimleri | 100 |
| 4.6 Egzoz Sıcaklık Değişimi | 102 |
| 4.7 Işık Absorbsiyon Katsayısı Değişimleri | 104 |
| 4.8 Duman Koyuluğu Değişimi | 106 |
| 4.9 Genel Sonuçlar | 108 |

| | |
|---|-----|
| EKLER : | 113 |
| EK A 15 ⁰ Püskürtme Avansında Yapılan Deney Sonucu Değerleri | 113 |
| EK B SME ile 12 ⁰ ve 15 ⁰ Püskürtme Avansında Yapılan Deney Sonucu Değerleri | 114 |
| EK C Özgöl Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi için Örnek Hesaplama | 115 |
| KAYNAKÇA | 116 |

SEMBOL LİSTESİ

| <u>Simge</u> | <u>Adı</u> | <u>Birimi</u> |
|--------------|---|--------------------|
| be | Özgül Yakıt Tüketim | g/kWh |
| CSt | Centi Stoke (Kinematik Viskozite) | mm ² /s |
| Pe | Efektif Motor Gücü | kW |
| Pem | Ortalama Efektif Basınç | kpa |
| η_e | Efektif Verim | % |
| K | Işık Absorbsiyon Katsayısı(K) | m ⁻¹ |
| N | Duman Koyuluğu | % |
| ASTM | Amerikan Test ve Materyalleri Birliği | |
| DI | Direk Enjeksiyon | |
| D.İ.E | Devlet İstatistik Enstitüsü | |
| IDI | İndirek Enjeksiyon | |
| KMA | Krank Mili Açısı | |
| LPG | Sıvılaştırılmış Petrol Gazı | |
| TEP | Ton Eşdeğer Petrol | |
| MTEP | Milyon Ton Eşdeğer Petrol | |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü | |
| BY | Bitkisel yağ | |
| BYME | Bitkisel yağ metil esteri | |
| YAME | Yağ asidi metil esteri | |
| YAMAE | Yağ asidi mono alkil esteri | |
| FME | Fındık Yağı Metil Esteri | |
| SME | Soya Yağı Metil Esteri | |
| JME | Jojoba Yağı Metil Esteri | |
| PYME | Pamuk Yağı Metil Esteri | |
| RME-KME | Rapseed Metil Ester (Kanola Metil Esteri) | |
| D | Dizel yakıt | |
| ID | İyot değeri | |
| KA | Karbon atığı | |
| KV | Kinematik viskozite | |
| S | Kükürt içeriği | |
| SD | Sabunlaşma değeri | |
| SS | Setan sayısı | |
| TED | Tespit edilemeyen değer | |

ŞEKİL LİSTESİ

| <u>Şekil Numarası</u> | <u>Adı</u> | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------|---|---------------------|
| Şekil 2.1 | Yağ Asitlerinin Gliserinle Esterleşmesi | 49 |
| Şekil 2.2 | Basit ve Karışık Trigliseritin Yapısı | 49 |
| Şekil 2.3 | Doymuş ve Doymamış Yağ Asitleri | 51 |
| Şekil 2.4 | Biyodizel Üretimi 63 | |
| Şekil 2.5 | Bitkisel Yağların Viskozitesinin Azaltılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemler | 64 |
| Şekil.3.1 | Deney Düzeneginin Genel Görünümü | 78 |
| Şekil.3.2 | Deney Düzeneginin Şematik Yapısı | 79 |
| Şekil 3.3 | Deney Motorunun Genel Görünümü | 80 |
| Şekil 3.4 | Kontrol Paneli | 82 |
| Şekil 3.5 | Gaz Analiz Cihazı | 83 |
| Şekil 3.6 | Yakıt Ölçme Düzenegi | 87 |
| Şekil 4.1 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel Yakıtı ve SME'ne Ait Güç Değişimleri | 91 |
| Şekil 4.2 | Değişik Avanslardaki Güç Değişimlerinin Karşılaştırılması | 92 |
| Şekil 4.3 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel Yakıtı ve SME'ne Ait Moment Değişimleri | 93 |
| Şekil 4.4 | Değişik Avanslardaki Moment Değişimlerinin Karşılaştırılması | 95 |
| Şekil 4.5 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel Yakıtı ve SME'ne Ait Özgül Yakıt Tüketimleri | 96 |
| Şekil 4.6 | Değişik Avanslardaki Özgül Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması | 97 |
| Şekil 4.7 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel Yakıtı ve SME'ne Ait Efektif Verim Değerleri | 99 |
| Şekil 4.8 | Değişik Avanslardaki Efektif Verim Değerlerinin Karşılaştırılması | 99 |
| Şekil 4.9 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel yakıtı ve SME'ne Ait Ortalama Efektif Basınç Değerleri | 101 |
| Şekil 4.10 | Değişik Avanslardaki Ortalama Efektif Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması | 101 |
| Şekil 4.11 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel yakıtı ve SME'ne Ait Egzoz Sıcaklık Değerleri | 102 |
| Şekil 4.12 | Değişik Avanslardaki Egzoz Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması | 103 |
| Şekil 4.13 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel Yakıtı ve SME'ne Ait Işık Absorbisyon Katsayısı Değerleri | 104 |
| Şekil 4.14 | Değişik Avanslardaki Ait Işık Absorbisyon Katsayısı Değerlerinin Karşılaştırılması | 105 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Şekil 4.15 | 15 ⁰ Püskürtme Avansında Dizel yakıtı ve SME'ne Ait Duman Koyuluğu Değerleri | 107 |
| Şekil 4.16 | Değişik Avanslardaki Duman Koyuluğu Değerlerinin Karşılaştırılması | 108 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| <u>Çizelge Numarası</u> | <u>Adı</u> | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------|--|---------------------|
| Çizelge 1.1 | Dünya Fosil Yakıt Rezervleri | 2 |
| Çizelge 2.1 | Dizel Yakıt Tiplerine Ait Bazı Fiziksel Özellikler | 34 |
| Çizelge 2.2 | Türkiye’de Gerçekleşen ve Öngörülen Biyokütle Enerjisi Üretimi | 44 |
| Çizelge 2.3 | Çeşitli Bitkisel Yağ Esterlerinin Setan Sayıları | 46 |
| Çizelge 2.4 | Dizel Yakıtı ve Biyodizelin Yakıt Özellikleri | 47 |
| Çizelge 2.5 | Başlıca Doymuş Yağ Asitleri | 52 |
| Çizelge 2.6 | Başlıca Doymamış Yağ Asitleri | 52 |
| Çizelge 2.7 | Dizel Motorlarında Kullanılan Bitkisel Yağların Özellikleri | 57 |
| Çizelge 2.8 | Bitkisel Yağların Yağ Asidi Kompozisyonları | 58 |
| Çizelge 2.9 | Piroliz Yöntemleri, Değişkenleri ve Oluşan Ürünler | 69 |
| Çizelge 2.10 | Bazı Bitkisel Yağların Metil Esterlerinin Yakıt Özellikleri | 71 |
| Çizelge 2.11 | Biyodizel ile Çalışan Üç Motorun Emisyon Değerleri | 73 |
| Çizelge 2.12 | Avrupa Ülkelerinin Biyodizel Üretimi | 75 |
| Çizelge 2.13 | Çeşitli Ülkelerdeki Biyodizel Standartları | 76 |
| Çizelge 3.1 | Motorun Teknik Özellikleri | 80 |
| Çizelge 3.2 | Motor Test Cihazının Teknik Özellikleri | 81 |
| Çizelge 3.3 | Soya Yağının Asit Kompozisyonu | 84 |
| Çizelge 3.4 | Dizel Yakıtı ile Soya Yağı Metil Esterinin Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması | 86 |

ÖNSÖZ

Tez Çalışmalarım sırasında tecrübe ve bilgisi ile beni yönlendiren, deneysel çalışmalarımda kullandığım cihaz, yöntem ve metotlar konusunda yardımlarını esirgemeyen saygı değer hocam Prof.Dr. Bedri YÜKSEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda her türlü imkanı sağlayan başta okul komutanım Kurmay Alb. Burhan HASIRCI olmak üzere tüm Astsubay Meslek Yüksek Okulu personeline, çalışmalarımda kullandığım deney motoru ve test cihazlarının hazırlanmasında desteğini esirgemeyen atölye teknisyeni Osman YILMAZ'a, deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen Öğ.Ütm. M.Süreyya KOÇAK'a ve Öğ.Ütğm.Erol İLERİ'ye, testlerde kullandığım test yakıtının temin edilmesinde yardımını esirgemeyen Öğ.Yzb.Abdurrahman DİNÇBAŞ'a şükranlarımı bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bana sonsuz destek veren, kendilerine ait olan zamanlarından fedakarlık ederek çalışmamın tamamlanmasında her zaman yanımda olan eşim Şefika , Oğlum K.Berk ve Erdem 'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2006

Yılmaz AKDERE

1.GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının vazgeçilmez bir parçasıdır. Ayrıca kişi başına enerji tüketimi bir ülkenin gelişmişlik göstergeleri arasında yer almaktadır. Sosyo-ekonomik kalkınmayı destekleyecek ve sürdürülebilir gelişmeyi devam ettirecek bir şekilde enerjinin yeterli, kesintisiz ve güvenilir bir biçimde sağlanması enerji teminine yönelik süreçlerde verimlilik ve etkinliğin artırılması gerekmektedir [1].

Kaynakların sınırlı olması ile birlikte sürekli olarak artan enerji ihtiyacı, içinde bulunduğumuz yüzyılda ve gelecekte ülkemizi ve tüm dünyayı sıkıntıya sokabilecek çözüm bekleyen bir problemdir. Enerji ihtiyacını fosil yakıtlara bağımlı olarak dışarıdan karşılayan Türkiye gibi ülkeler için ise bu problem, çözülmesi gereken acil bir sorundur.

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

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hızla artan tüketimleri ile birlikte artan dünya nüfusunun ihtiyaç duyduğu enerjinin karşılanabilmesi maksadıyla bütün dünya ülkelerinin yeni tür enerji kaynağı arayışları sürmektedir.

Enerji üretiminde mümkün olduğu kadar yerel kaynaklar kullanılmalıdır. Bunun yanında çevrenin korunması, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliği ve süreklilik sağlanması da önem arz etmektedir. Enerji politikalarında temel alınması gereken unsur; teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılamak üzere sürekli, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yönelmektir [2].

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

Kısacası bilinen enerji kaynaklarının sınırlı ve yenilenemez oluşu, nüfus artışına ve sanayileşmeye paralel olarak hızla artan enerji gereksinimi, enerjinin akıllı kullanımı ve enerji tasarrufu gibi kavramları gündeme getirmiş ve ucuz enerji devrinin sona erdiğini göstermiştir [3].

Sürdürülebilir ekonomik büyüme için uygun teknolojilerle yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma sunulması gerekmektedir. Çizelge 1.1’de dünyadaki enerji kaynaklarının bilinen rezervleri görülmektedir [4].

Çizelge 1.1 Dünya fosil yakıt rezervleri [4]

| Bölge | Petrol [Milyar Ton] | D.Gaz [Trilyon m ³] | Kömür [Milyar Ton] | |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------|--------|
| | | | Taşkömürü | Linyit |
| Kuzey Amerika | 8,3 | 7,6 | 120,2 | 137,6 |
| Orta ve Güney Amerika | 13,7 | 7,2 | 7,8 | 14,0 |
| Avrupa | 2,6 | 4,9 | 47,5 | 77,9 |
| Eski SSCB Ülkeleri | 9,1 | 56,1 | 97,4 | 132,6 |
| Ortadoğu | 93,3 | 55,9 | 1,7 | - |
| Afrika | 10 | 11,2 | 55,2 | 0,2 |
| Asya ve Okyanusya | 5,9 | 12,3 | 189,3 | 103,1 |
| TOPLAM DÜNYA | 142,9 | 155,1 | 519,1 | 465,4 |

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Ayrıca linyit kömürü ve hidrolik enerji potansiyeli açısından da önemli kaynaklara sahiptir. Türkiye'nin petrol ihtiyacının karşılanmasında büyük ölçüde dış kaynaklara bağımlı olması ekonomik gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizin petrol üretimi, tüketimi karşısında çok sınırlıdır. Petrol ihtiyacımızın % 80' den fazlası petrol ithalatı ile karşılanmaktadır. Bu konudaki sıkıntı devam ettiği sürece yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının önemi artmaktadır. Otomotiv sanayinde petrol yerine enerji olarak, bitkisel yağlar, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) kullanımı araştırılmaktadır. Yeni enerji arayışına neden olan bir başka konu ise temiz ve yenilenebilir yakıt düşüncesidir [2].

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

Ülkemizin enerji politikasındaki ana hedefi; sosyal kalkınma hamleleri ile birlikte hedeflenen ekonomik ve sanayi büyümesini gerçekleştirmek amacıyla, yeterli, çevresel etkiyi göz önüne alan, ekonomik olarak elde edilebilen enerji sağlamaktır. Enerjinin üretim ve tüketiminin farklı trendlerde gelişim göstermesi 1976 yılında da % 76 olan üretimin tüketimi karşılama oranının 1996 yılında % 40'a düşmesine sebep olmuştur. Daha sonraki yıllar için yapılan projeksiyonlarda bu azalmanın devam ederek 2020 yılında % 26'ya düşmesi beklenmektedir. 1998 yılında petrolün % 12'si, doğal gazın % 2,6'sı, taş kömürünün % 25'i, linyitin % 97'si yerli üretimle karşılanabilmiştir [2].

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük kısmı yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Bu durum yapılacak olan çalışmaların yeni ve yenilenebilir yakıtlar üzerinde olmasını gerekli kılmıştır. Sadece enerji ihtiyacı değil dünyamızın doğal dengesinin bozulmaması için de temiz yakıtlara ihtiyaç vardır.

Yeni, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar için çalışmalar yapıldığında bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Bu çerçevede ülkemizin ekili alanları dikkate alındığında bitkisel yağlar milli kaynaklar kullanılarak üretilebilecek ve kullanılacak yakıtlardır. Bitkisel yağlar tohumlardan ve meyve çekirdeklerinden elde edilmektedir. Bu nedenle enerji bitkileri ülkemizde ve dünyada araştırma konusu olmaktadır. Ülkemizde meyvesinden yağ üretmek için zeytin, fındık, tohum ve çekirdeğinden yağ üretmek için ise keten, aspir, kolza (kanola), ayçiçek, soya, susam, yer fıstığı, pamuk mısır, kenevir gibi bitkiler yetiştirilmektedir [5].

Biyodizel üretmek ve kullanmak için ülkemiz yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Ülkemizde kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohumlu bitkilerin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Alınan son tasarruf önlemleri kapsamında tarımda sadece kanola, soya ve ayçiçeği ekimine destek verilme kararı alınmıştır. Bu durum, çiftçiye bir yön vermektedir [6].

GAP Bölgesi'nde 2010 yılı itibariyle 1.8 Milyon hektar alanda sulu tarım olanağı vardır; bölgede pamuk yanı sıra dönüşümlü olarak kanola ve/veya soya ekimi olumlu olacaktır. Enerji amaçlı tarımın ülkemizde tarım politikası içinde yer alması, çiftçinin yönlendirilmesi açısından yararlı olacaktır [7].

Bu çalışmada, dünyada özellikle ABD'de bitkisel yağ ve biyodizel üretiminde faz geçilemez bir ürün olarak kullanılan fakat Türkiye'de üretimi ve kullanımı yaygınlaşmamış soya yağından elde edilmiş biyodizelin dizel motor performansı ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın, soya bitkisinin ülkemizdeki üretiminin artırılmasına ve soya yağının biyodizel üretiminde kullanılmasının teşvik edilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Amaç; ülkemizde üretim şartlarının uygun olmasının yanında çok geniş kullanım sahası ve yüksek bir ekonomik değere sahip soya bitkisini aynı zamanda dizel motorlarında bir alternatif yakıt kaynağı olarak da değerlendirilebileceğini ispatlamaktır.

1.1 Literatür Araştırması

Bitkisel yağların ve yağ esterlerinin dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı dünyada birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

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

Braun ve Stephenson, dizel yakıtı, soya yağı, etanol ve bunların % 40-40-20 ve % 30-40-30 oranlarındaki karışımlarıyla elde ettikleri alternatif yakıtların, viskozitelerini ve yanmalarını incelemiştir. Motor testi sonuçlarında elde edilen güç değerleri dizel yakıtından sağlanan gücün % 40-40-20 karışımlarında % 98.5, % 30-40-30 karışımlarında % 95.9 oranında gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır [8].

Sims ve arkadaşlarının, Yeni Zelanda' da yaptığı çalışma bitkisel yağların, özelliklede kanola yağının dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini göstermiştir. Kısa süreli motor testlerinde %50 bitkisel yağ karışımının motora olumsuz bir etki yapmadığını fakat uzun süreli motor testlerinde enjektörlerde ve ilk çalışmada bazı problemlerin ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Yanma odalarındaki karbon birikintilerinin %100 dizel yakıtı kullanılan motorlardakiyle yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda kanola yağının dizel yakıtına önemli bir alternatif bir yakıt olduğunu fakat daha fazla ve geliştirmeye yönelik testlerin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir [2].

Schoedder, kanola yağı ile yaptığı çalışmada kısa süreli motor testleri sonucunda kanola yağının verdiği enerjinin dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında birbirine yakın

sonuçlar elde etmiştir. Fakat kanola yağı ile yapılan uzun süreli (100 saatten sonra) motor testleri sonucunda ise piston segmanlarında, valflerde ve enjektörlerde kalıntılar meydana geldiğini tespit etmiştir [2].

Baranescu ve Lusco, yaptıkları çalışmada, alternatif yakıt olarak % 25, 50, 75 oranlarında ayçiçek yağı-dizel yakıt karışımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemişler, yakıt karışımlarının enjektörlerde püskürtülmesini incelemişler, birbirleriyle mukayese etmişlerdir. Ayrıca % 50 ayçiçeği ile % 50 dizel yakıtı karıştırarak 200 saatlik deneme sonunda motorun çeşitli parçalarında meydana gelen değişmeleri incelemişler, kısa süreli testlerde motor parçalarında herhangi bir kurum birikmesinin meydana gelmediğini belirtmişlerdir [8].

Wagner ve Peterson, kanola yağı karışımını dizel yakıtı olarak kullanımını araştırmış ve kanola yağı ile çalışan kısa süreli motor testlerinde çeşitli motor hasarlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir. %70 kanola yağı ve dizel yakıtı karışımının kullanıldığı uzun süreli testlerde [850 saat] ise motorda önemli bir aşıntı, yağlama yağının kirlenmemesi veya güç kaybı meydana gelmeden başarı ile çalıştırılmıştır [9].

Tahir ve ark., çalışmalarında ayçiçek yağı transesterifikasyonu sonucu elde ettikleri ayçiçeği metil esterinin, fiziksel özelliklerini belirleyerek motorlarda yakıt olarak kullanmışlar, dizel yakıtı ile mukayese etmişlerdir. Motor denemeleri sonucu elde edilen güç eğrilerinde önemli bir değişme olmadığını buna karşılıklı maksimum gücün % 60'ında özgül yakıt tktiminin dizelden % 6 daha fazla olduğunu; bunun nedeninin ayçiçeği metil esterinin ısıl değerinin dizel yakıtından % 13 daha düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir [8].

Blumberg ve Ford, dokuz farklı çeşit yakıt [Hacimsel olarak; %30 pamuk çekirdeği yağı, %70 2D motorin; %50 pamuk çekirdeği yağı, %50 2D motorin; %65 pamuk çekirdeği yağı, %35 2D motorin; %80 pamuk çekirdeği yağı, %20 2D motorin; %50 pamuk çekirdeği yağı, %50 transesterified pamuk çekirdeği yağı; %50 transesterified pamuk çekirdeği yağı, %50 2D motorin ve %100 pamuk çekirdeği metil esteri] kullanarak kısa ve uzun (200 saat) periyotlu motor performansı ve

emiyon testleri yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda kısa periyotlu sonuçların uzun periyotlu sonuçlara göre daha cazip olduğunu belirlemişlerdir. Uzun periyotlu testler yanma odasında karbon birikintileri, kül ve aşıntı ve yakıt sistemi parçalarında reçine gibi olumsuzlukların meydana geldiğini göstermiştir [2].

Ziejeswski ve Kaufinan, yaptıkları çalışmada, % 25/75 oranında ayçiçek yağı ile dizel yakıtını karıştırarak dizel motorlarında denemişler; çıkan sonuçları dizel yakıtı denemeleri ile mukayese etmişlerdir. Denemeler sonucunda enjeksiyon memelerinde tıkanma, egzoz manifoldunda karbon birikmesi gibi problemlerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir [10].

Bitkisel yağlarla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, dizel motorlarında hiç bir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağlarla dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ile alt ısı değeri arasında fazla fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtınıninkinden yaklaşık 10-20 kat daha fazladır. Bitkisel yağların avantajı motorlarda minimum değişiklik ile kullanılabilmesidir. Bu yakıtlarının az dizel yakıtı kadar güvenilir olduğu ve dizel yakıtının yerini alacağı tahmin edilmektedir [11].

Engler ve arkadaşları tarafından kullanılan bitkisel yağ türlerinde pamuk yağı için performans değerleri olumlu bulunmuş olup bu sonuçlar çeşitli yerlerde yayımlanmıştır. Bununla beraber pamuk yağı için çeşitli olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bunlar enjektör memesi üzerinde aşırı derecede karbon birikimi, motor parçalarının korozyonu olarak belirtilmektedir [12].

Bitkisel yağlarla ilgili yapılan bir çok araştırmada, yanma odasında özellikle enjektör memesinde karbon birikimi olduğu gözlenmiştir. Yakıt atomizasyonunun azalması sonucu, yanma veriminin düşmesi, yağlama yağının katılaşması, piston sekman yapışması gibi problemlerin de ortaya çıktığı ve bu durumlara karşı yeni tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bunun için de farklı deneylerin yapılması tavsiye edilmiştir [13].

Klopfenstein ve arkadaşları, yağ asitleri olan laurik, myristik, stearik, linoleik ve linolenik asitlerinin metil esteri, oleik asitin etil ve butil esterlerini dizel motoru yakıtı olarak etkilerini ölçmek amacıyla dizel motorlarında kullanmışlardır. Motor momenti ve güç düşüşü gibi olumsuz ve kirletici emisyonların düşüşü gibi olumlu sonuçlar bulmuşlardır [14].

Pryde vd. Küçük dizel motorlarında yakıt olarak soya yağı kullanılarak yapılan çalışmada, kullanılan soya yağı rafine edilmiş olup, ısıl değeri 30531 kJ/kg ve yoğunluğu 0,923 kg/l, viskozitesi 60 °C sıcaklıkta dizel yakıtından [2D] 11 kez daha yüksektir. Yakıt tüketiminde ise artış olduğu ve özgül yakıt tüketiminin % 13-14 daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Deneyde soya yağı kullanıldığında dizel yakıtına göre efektif gücün, % 3 daha yüksek olduğu bildirilmiştir [15].

Vellguth tarafından, düz yanma odalı dizel motorlarında bitkisel yağ ve esterleri dizel yakıtı olarak kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda kısa ve uzun süreli yakıt kullanımında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Uzun süreli çalışmalarda motor elemanlarında çeşitli arızalar olduğu belirlenmiştir. Deneyde, kolza yağ esterleri kullanıldığında motor piston yüzey partiküllerinin, rafine edilmiş kolza yağı kullanımına göre daha temiz olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak kolza yağ esterinin dizel motorlarında kısa süreli kullanılmasına karşın, uzun süreli kullanıldığında bazı problemler meydana geldiği tespit edilmiştir [16].

Strayer, yaptığı çalışmada, kolza yağının metil esteri ve onun bileşenlerini alternatif yakıt olarak iki ve altı silindirli motorda kullanmış ve dizel yakıtına yakın güç değerleri elde etmiştir. Özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtında % 6 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ilk çalışma zorluğu görülmemiş ve partikül madde emisyonlarında düşüş olduğu gözlenmiştir. Kolza yağının ısıl değerinin dizel yakıtı ısıl değerinden % 14 daha düşük olduğu tespit edilmiştir [17].

Geyer ve ark. , ayçiçek yağı, pamuk tohumu yağı ve bunların metil esterleriyle yaptıkları çalışmada elde ettikleri yakıtları, tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denemişlerdir. Denemeler esnasında emisyon değerlerini incelemişler, sonuçta tam yükte ayçiçek yağı hariç diğer bitkisel yağların partikül artıklarının dizel

yakıtından daha fazla, metil ester yakıtların partikül artıklarının dizel yakıtından daha az çıktığını belirtmişlerdir [18].

Wagner tarafından, soya yağının etil, metil ve butil esterleri direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda test edilmiş performans olarak dizel yakıtı ile esterler arasında fazla fark olmadığı, HC, CO ve partiküllere bakıldığında da dizel yakıtına benzerlik gösterdiği, NO_x emisyonlarında ise esterlerin yüksek çıktığı gözlenmiştir [19].

Yahya'nın yaptığı çalışmada John Deere marka traktör motorunda soya yağı metil esteri ve tallow yağı metil esteri yakıt olarak kullanılmıştır. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek, değişik püskürtme avansı ve basınçlarında dizel yakıtı ile bu yakıtların mukayesesi yapılmıştır. Püskürtme basıncı artırıldığında yakıt tüketiminin % 6,4 – 7 civarında azaldığını tespit etmiştir. Düşük devirlerde her iki esterinde yüksek devre göre % 5,6-8 daha fazla efektif güç sağladığı belirtilmiştir [20].

Schinstock, direkt enjeksiyonlu bir motorda, rafine edilmiş soya ve ayçiçek yağını dizel yakıtıyla 25/75 hacimsel oranında karıştırmış ve kullanımının performansa etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçların elde edilmesi için, 200 saat süreyle sabit güç testi uygulamıştır. Yanma odalarında görülen aşırı birikintilerin deney yapılan motorda bu yakıtların kullanımını engelleyecek düzeyde olmadığını ifade etmiştir [21].

Hemmerlein, Korte, ve Richter' in altı değişik dizel motorunda yaptığı test sonuçlarına göre kanola yağı ile çalışan motorların;

- Tork, güç ve NO_x emisyonları 5 motorda motorin ile çalışan motorlara göre daha iyi sonuç vermiştir.
- HC emisyon değerleri 5 motorda motorin ile çalışan motorlara göre daha kötü sonuç vermiştir.
- CO emisyon değerleri kanola yağı ile çalışan bütün motorlarda kötü sonuç vermiştir.

- Kanola yağı ile çalışan motorların ikisinde dayanıklılık test sonuçları daha iyi sonuç vermiştir.
- Bütün motorların enerji tüketim değerleri her iki yakıtta da yaklaşık aynı olduğu görülmüştür.

Hemmerlein vd., tarafından bir dizel motorunda bitkisel yağ kullanımı ile ilgili yapılan kısa süreli çalışmalarda bitkisel yağın uygun olduğu fakat uzun süreli çalışmalar için bazı problemler olduğu belirtilmiştir. Bu problemlerin bitkisel yağlarla uzun süreler çalışmaya engel olacağı, bunun yerine bitkisel yağlarda bazı modifikasyonlar yapıldıktan sonra kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir [22].

Bruwer vd. Ay çiçek yağını yakıt olarak kullandıkları bir araştırmada, bu yakıtın kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uzun süreli çalışmalarda ise; yağlama yağı problemleri, segmanların yapışması ve enjektör memelerinin karbon atıkları ile tıkanması, motorda mekanik olumsuzluklara yol açtığı ifade edilmiştir. Aynı yayında Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada, hava soğutmalı, ön yanma odalı bir motorun; % 100 ayçiçek yağı ve % 70 yükü, 2300 saat süre ile başarı ile çalıştığı belirtilmiştir [20].

Schumacher , bir Dodge kamyonunda yakıt olarak soya yağı metil esteri denemiş ve soya yağı metil esterinin dizel motorlarında kolayca kullanılabileceğini sonucuna varmıştır. Aynı zamanda motorlarda hacimsel olarak %10-20-30-40-50 soya yağı metil esteri - motorin karışımlarının kullanımı sonucunda; karışımdaki soya yağı metil esteri oranının artmasıyla güç, islilik oranı, CO ve HC emisyon değerlerinin düştüğü, NO_x emisyonları ve yakıt tüketiminin arttığını tespit etmiştir [23].

Işığgür, deneme amaçlı aspir bitkisi yetiştirmiş, bu bitkiden elde edilen yağın viskozitesinin seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleriyle düşürülerek alternatif dizel yakıtı olabileceği belirtilmiştir. Motor denemesi yapılarak emisyon değerleri çıkarılmıştır. Motor denemeleri sonucu, motor karakteristik eğrilerinin dizel yakıtına yakın değerlerde çıkmasına karşın emisyon değerlerinde düşme olduğunu belirtmiştir [24].

Scholl ve Sorenson tarafından 1992 yılında yapılan bir çalışmada, bitkisel yağların metil esterleri dizel motorlarında alternatif yakıt olarak önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda dizel yakıtı ile soya yağı metil esterini karşılaştırmaktır. Yapılan çalışmada motor performansı, egzoz emisyonları ve ısı kayıpları araştırılmış, deneysel ölçümleri yapılmış değişik meme çapları ile değişik enjeksiyon zamanlamasının performansa etkileri araştırılmıştır. Soya metil esterinin performans ve ısı kaybı açısından dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Metil esterin HC emisyonu ve duman koyuluğu bakımından dizel yakıtından daha iyi olduğu görülmüştür [25].

Hasan ve Hasset , yaptıkları çalışmada ayçiçek metil ester üretimi yaparak sıkıştırma ateşlemeli motorda kullanmışlardır. Metil ester üretiminde ayçiçek yağı ile metil alkol karışımına sodyum ilave ederek karıştırılmış ve bu karışım büyük bir kazanda 62-65 °C 'de 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Karışımın dibinde gliserin toplanmaya başlayınca karışım soğumaya bırakılmış ve dipte toplanan gliserin karışımdan ayrılmıştır. Daha sonra karışım sıcak su ile yıkanarak karışımda kalan gliserin, reaksiyona girmeyen metanol ve katalizör ham esterden ayrılmıştır. Distilasyon yapılarak saf metil ester elde edilmiştir. Üretilen ester dizel motorda yakıt olarak kullanılmış ve testlerde motor orta yükte ve orta hızda iken performans değerleri tespit edilmiştir [26].

Çelik ve Cerrahoğlu , çalışmalarında, motorin ve ayçiçek yağının belirli oranlarda karıştırılarak dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında tek silindirli dört zamanlı, direk püskürtmeli bir dizel motoru kullanmışlardır. Denemelerde %20, %40, %80 ayçiçeği-motorin karışımları kullanılmış, bütün denemeler 1400 d/d da yapılmıştır. %100 motorin çalışması da 1400d/d da yapılmıştır. araştırmacılara göre motor devir sayısı belirli oranlarda yağ ilave edilmesi ile bir miktar azalmaktadır. Bu azalma; 1400 d/d da motorun yüksüz çalışmasında 10- 25 d/d arasında gerçekleşmiştir. Yakıt tüketim miktarı da %100 motorine göre daha fazla olmuştur [3].

Ryon ve Ragby , yaptıkları araştırmalarında, ayçiçek yağı, bir kere rafine edilmiş pamuk yağı, soya yağı ve fıstık yağını yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta

azot içerisine enjekte etmişlerdir. Yakıtın silindir içerisine enjeksiyonunda sorunla karşılaşılmasını Bu yağların enjeksiyon esnasında numuneleri toplanmış, numunelerin kimyasal analizleri sonucunda, enjeksiyon işlemi sırasında yağlarda önemli kimyasal değişikliklerin oluştuğunu göstermiştir. Görülen en büyük değişim C18:2 ve C18:3 yağlı asitlerde düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin oluşmasıdır [27].

Police , bitkisel yağların motor aksamı üzerinde hiçbir değişiklik yapılmaksızın dizel yakıtları ile karşılaştırılabilir derecede önemli performanslar gösterebildiğini belirtmiştir. Bununla beraber uzun süreli kullanımlar sonunda, sert karbon birikintileri, enjektör memesi tıkanmaları ve segman yapışması olduğunu da açıklamıştır. Yağların metil, etil ve bütil esterlerinin kullanılması ile bu etkilerin azalacağını belirtmiştir. Bu yakıtların formülünde oksijen varlığı ve üretimindeki sülfür yokluğundan dolayı ester kullanımının ümit verici olduğunu vurgulamıştır [28].

Culshaw , yaptığı araştırmada kolza yağının metil esterini dizel motoru üzerinde hiç bir değişiklik yapmadan rahatlıkla kullanmıştır. Bu yağın metil esterinin fiziksel ve kimyasal özellikleri yani ısı değeri, yoğunluğu, viskozite ve setan sayısı gibi değerleri dizel yakıtına çok yakındır. Bu yakıt traktörde kullanıldığı zaman dizel yakıtına oranla %5'e varan güç kaybı görülmüştür. Buna karşılık azot oksit emisyonlarının seviyelerinin diğer yakıtlardan daha düşük olduğu görülmüştür. CO emisyonunda da düşüş gözlenmiştir [29].

Wolfensberger, yaptığı araştırmada, kolza metil esterini dört değişik marka ve model traktör ve otobüste deneyerek, emisyon değerlerini tespit etmiş ve dizel yakıtıyla karşılaştırmıştır. Araştırmada kolza metil esterini 48 kW'lik Same traktörde, 35 kW'lik Steyr traktörde, 46 kW'lik John Deere traktörde ve 177 kW'lik Mercedes otobüste denemiş ve emisyon değerlerini ölçerek karşılaştırmıştır. Sonuç olarak CO değerinin John Deere traktörde yüksek, diğerlerinde dizel yakıtından daha düşük çıktığını, HC değerinin Mercedes otobüste yüksek diğerlerinde dizel yakıtından daha düşük çıktığını, NO_x değerinin hepsinde dizel yakıtından yüksek çıktığını en fazla da John Dere traktörde meydana geldiğini ortaya koymuştur [8].

Könler , Almanya ve Avrupa'da kolza yağının yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda, kolza metil esterinin dizel yakıtına göre avantajlarının aşağıdaki gibi açıklamıştır.

- Kolza yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin olumlu olduğunu,
- Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisinin olumlu sonuçlar verdiğini ve % 15-30 oranında daha az zararlı gaz açığa çıktığını,
- Biyodizelin zehirsiz ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiğini,
- Biyodizelin, dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- Biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşmadığını,
- Biyodizelin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazlar, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NO_x, %22 daha az partikül, %50 daha az is ve %10 daha düşük ısıl değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğunu bildirmiştir [16].

Erdoğan ve Onurbaş, küçük bir dizel motorunda bazı bitkisel yağların yakıt olarak kullanılma olanaklarını incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; %25, %50, %75 oranında bitkisel yağ karışımı [ayçiçeği, pamuk, mısır özü yağları] ile motorin karışımını ve %100 bitkisel yağ karışımını yakıt olarak kullanmışlardır. Araştırmacılara göre tüm yakıtlarda, ilk hareket zorluğu görülmemiştir. Püskürtme pompasında bir değişiklik yapılmamış ve motorlarda güç düşüklüğü görülmüştür. Karışımların özgül yakıt tüketimi, normal dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Tüm yakıtların kullanımında motor düzgün çalışmıştır. %100 yağ karışımı ile yapılan deneylerde düşük devirlerde daha sık devir sayısı değişimi, soğutma ve yağlama sistemlerinde yetersizlikler saptanmıştır [3].

Höck, 1994 yılındaki araştırmasında rafine kolza yağı, kolza yağı metil esteri ve dizel yakıtını yakıt olarak kullanmıştır. Çalışmasında 55 adet traktör ve iş makinesi ile 7 adet motorlu taşıtta denemeler yapmıştır. Traktörlerle 35 000 saat ve diğer araçlarla 100 000 km ye yakın bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak; rafine

yağ kullanımı sonucu yakıt boruları ve rekorlarda arıza ortaya çıktığı, filtrelerde bozulma olduğu ve bu yüzden bir enjektörün arızalandığını, yağlama yağında incelmeler olduğunu, yakıt pompasında tıkanmalar olduğunu, boşta çalışmalarda beyaz duman atıldığını, deponun kirlendiğini, soğukta ilk hareket zorluğu olduğunu, metil ester kullanımında ise bu sorunların çoğunun ortadan kalktığını, motor üzerinde bir değişiklik yapılmadan ester yakıtların kullanılabilceğini ve atmosferdeki CO₂ miktarının bu sayede azaltılabileceğini belirtmiştir [16].

Çetinkaya, yaptığı araştırmada enjeksiyon öncesinde ısıtılan ve enjeksiyon basıncı arttırılan ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı + dizel yakıtı karışımlarının türbülans odalı bir dizel motorunun performansına etkilerini incelemiştir. Deney sonuçları, ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımlarının performans açısından dizel yakıtına yakın olduğunu, ancak ayçiçek yağının viskozitesinin yüksek oluşu, zamanla kuruma ve düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi nedeniyle çözümlenmesi gereken akış ve atomizasyon problemleri olduğunu belirtmiştir [20].

Schlick, Hanna ve Schnstock , soya ve ayçiçek yağlarını dizel yakıtı ile hacimsel yüzde olarak 25/75 bitkisel yağ/dizel yakıtı karışımını, dizel motorlarında yaklaşık 200 saatlik bir teste tabi tutarak performans testleri yapmışlardır. Deneyde kullanılan soya ve ayçiçek yağının ısı değerleri 39100 kJ/kg ve 39900 kJ/kg, dizel yakıtının ise 45010 kJ/kg, yağların yoğunluğu, soya yağının 0.846 kg/dm³ , ayçiçek yağının 0.842 kg/dm³ ve dizel yakıtının ise 0.824 kg/dm³ olduğu belirtilmektedir. Yapılan deneyde özgül enerji sarfiyatı ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı, soya yağı/dizel yakıtı karışımından daha düşük olduğu, moment-devir grafiğinde ise ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı olarak kullanıldığında elde edilen değerlerin, her ikisi yalnız dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür [20].

Karaosmanoğlu ve ark. yaptıkları araştırmalarında, bitkisel yağların transesterifikasyon reaksiyonu neticesinde elde edilen yakıtları biyomotorin olarak adlandırmışlar, bu biyomotorinin çeşitli ülkelerdeki uygulamaları konusunda bilgi vermişlerdir. Türkiye' de her tür yağlı tohum ziraatının mümkün olduğunu, mevcut

teknolojiler ile biyomotorin üretiminin yapılabileceğini ve uygulamaya geçilebileceğini belirtmişlerdir [8].

Çetinkaya , yakıt olarak ayçiçek yağı kullanarak dizel motorlarının performansı üzerine çalışmıştır. 4 silindirli türbülans odalı bir traktör motorunda atomizasyon problemlerini gidermek için püskürtme basıncını arttırarak denemeler yapmıştır. Motor devrine bağlı olarak, motorin, ayçiçek yağı ve motorin + ayçiçek yağı karışımlarının egzoz sıcaklıklarını ölçmüştür. Yağ karışımlarının egzoz sıcaklığının motorinden % 1,5 – 15 daha yüksek olduğunu saptamıştır. Bunun yanmanın gecikmesi dolayısı ile egzoz zamanında yanmamış yakıt kalıntılarının fazla olmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Ayçiçek yağı karışımı kullanımından sonra enjektör ve silindir kapağı sökölerek incelenmiş ve ince bir karbon tabakası ile kaplandığı görülmüştür. Bu tabakanın motorun çalışmasına engel olmayacağını belirtmiştir [3].

Peterson ve ark. çalışmalarında, bitkisel yağların üstünlüklerini; yenilenebilir enerji kaynağı olması, emniyetli olması, biyolojik ayrışabilir olması ve egzoz gazı atıklarının daha az olması şeklinde sıralamışlar; fiyatlarının fazla olmasını önlemede, kızzartma artığı yağlarının yakıt olarak değerlendirilmesi durumunda yüksek fiyatı azaltıcı bir yol olduğunu bildirmişlerdir. Elde ettikleri Soya etil esterini 4 silindirli direkt püskürtmeli John Deere 4239 T turboşarjlı dizel motorda kısa süreli testlerde denemişlerdir. Sonuç olarak güç ve moment değerlerinde %5 düşme olduğunu, yakıt tüketiminde %7 artış olduğunu, emisyon testlerinde ise HC da %54, CO de %46, NO_x de %14.7 azalma meydana geldiğini; CO₂ değerinde ise %14 artma meydana geldiğini bildirmişlerdir [8].

Sapuan tarafından Malezya’da yapılan bir çalışmada, bir traktör ve kamyonda iki ay süre ile palmiye yağı yakıt olarak kullanılmıştır. Kullanım esnasında traktörün yakıt tüketimi %5, kamyonun ise %8 oranında artmıştır. Her iki taşıtın ilk hareketi kolay olmuş, motor vuruntusuz ve düzgün çalışmış ve çok az güç kaybı olduğu görülmüştür. Supap yüzeylerinde ince bir karbon tabakası oluştuğu ve bu tabakanın normal dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında normal sınırlarda kaldığı görülmüştür [28].

Peterson ve Reece , tarafından yapılan çalışmada Kolza yağı etil esterinde;

- HC ve CO emisyonlarına azalma, CO₂ de artma ölçülmüştür.
- Etil esterde katalitik konvertör kullanıldığında NO_x de azalma görülmüş, katalitik konvertör kullanılmadığında NO_x de % 20-50 arasında artma gözlemlenmiştir.
- Yapılan testler 1 yıl sonra tekrarlandığında ilk yapılan testlere göre HC emisyonunda azalma, CO ve CO₂ emisyonunda artma görülmüştür [30].

Schmidt ve Gerpen , tarafından yapılan çalışmada direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda yapılan testlerde emisyonlar ölçülmüş ve özgül yakıt sarfiyatı esterli yağlarda daha yüksek ölçülmüştür. Fakat termik verimde farklılık gözlenmemiştir. Biodizel/Dizel yakıtı karışımlarında NO_x değişimleri oldukça küçüktür. NO_x emisyonunda tüm esterlerde % 0-5 arasında fark görülmüştür. HC emisyonu, ester kullanımında dizel yakıtına göre daha düşük ölçülmüştür [31].

Zang ve Gerpen tarafından, soya yağı metil, vintelize metil, isopropil esterleri ve bunların dizel yakıtı ile karışımları 4 zamanlı 4 silindirli turboşarjlı, 16.8:1 sıkıştırma oranlı motorda test edilmiştir. Motor performans eğrisinin ester/dizel yakıt karışımlarında dizel yakıtına benzer olduğu görülmüştür. Özgül yakıt sarfiyatında ester/dizel yakıt karışımlarının daha yüksek olduğu ölçülmüştür. NO_x emisyonları dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni esterlerde % 10 civarında kütlelesel oksijen bulunmasıdır. Ayrıca esterle yapılan çalışmalarda testlerden sonra enjektörde karbon birikintileri gözlenmiştir [32].

Cıgızoğlu ve ark. yaptıkları araştırmada, kullanılmış. ayçiçek yağını % 20/80 oranlarında dizel yakıt ile karıştırarak elde ettikleri yakıt ön yanma odalı dizel motorunda denemişler; kısa süreli testlerde bulunan motor karakteristik değerleri dizel yakıt ile elde edilen karakteristik eğrilere benzerlik gösterdiğini; ayrıca dizel yakıtından daha az duman emisyonu yaydığını bildirmişlerdir [33].

Erdoğan ve Mohammed, mısır özü, ayçiçek yağı ve soya yağlarının uygulanabilirliği üzerine yaptıkları çalışmalarda, direkt püskürtmeli, 5.5 kW gücünde

bir dizel motorda saf olarak ve dizel yakıtıyla %50 oranında karıştırarak kullanmışlardır. Sonuç olarak 90 °C ön ısıtmaya tabi tutulan saf bitkisel yağlarla çalışmada ve dizel yakıtıyla % 50 oranında karıştırılan yağlarla elde edilen performans değerlerinin, dizel yakıtıyla elde edilen değerlere yakın olduğunu bildirmişler; en iyi sonucu dizel yakıtı - ayçiçek yağı karışımlarında elde etmişlerdir [8].

Demirsoy ve Kındıroğlu, dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel yağların, dizel yakıtı ile belirli oranlardaki karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında, pamuk, soya ve ayçiçek yağlarının dizel yakıtı ile %15 ve %85'lik karışımlarını ve %100 dizel yakıtını kullanmışlardır. Performans, yakıt tüketimi ve emisyon testleri yapmışlardır. %85 dizel ve %15 pamuk yağı karışımının yapılan denemelerde %100 dizel yakıtına ve diğer karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini, ancak özgül yakıt tüketiminde dikkate değer bir artış olduğunu, yanma odasında karbon birikintilerinin arttığını belirtmişlerdir. Bu olumsuzlukları azaltmak için, yağlar yerine, bunların metil esterlerinin kullanılmasını önermişlerdir [34].

Montagne, yaptığı çalışmada kolza metil esterinin % 5 ve % 20 oranında dizel yakıtı ile karıştırması ile ve dizel yakıtı ile 4 yıl süren 18 araç ile 64 kamyon üzerinde ve 7 500 000 km yol testi sonucunda % 5 lik kolza metil esteri karışımında dizel yakıtına göre emisyon, yağlama, yakıt sarfiyatında kayda değer değişim görülmemiştir. Aynı çalışmada kolza yağının metil esterinin kalitesinin iyileştirilmesi ile gelecekte dizele alternatif olabileceğini göstermiştir [35].

Aytaç, küçük güçlü bir dizel motorunda bitkisel yağların[ayçiçek ve soya] oransal karışımlarını kullanmış ve bazı performans değerlerinin saptanması üzerine bir araştırma yapmıştır. Deneylelerinde, bitkisel yağların motorinle karışım oranlarının, motordaki indike basınç, devir, yakıt tüketimi, emme ve egzoz gazları sıcaklığı, motor gürültüsü, yağ basıncı, pompa eleman aşınması ve hacimsel verim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Karışım oranlarını %25, 50, 75 bitkisel yağ + motorin olacak şekilde belirlemiş ve %100 motorinle mukayese yapmıştır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- Hava emme giriş sıcaklıkları kullanılan yöntemlere göre değişmektedir. Bu, yakıtların kimyasal enerjileri nedeni ile yanma zamanlarının farklı ve ortam sıcaklığının değişken olmasından kaynaklanmaktadır.
- Soya yağının kinematik viskozitesinin yüksek olmasından dolayı en yüksek egzoz sıcaklığı %75'lik soya yağı + motorin karışımında ölçülmüştür.
- Emilen hava miktarı, ortam sıcaklığı, hava yoğunluğu, motorun iç ısısı gibi etkenlere bağlı olduğundan kullanılan yöntemlere göre farklılıklar göstermiştir.
- Gürültü miktarları, genel olarak karışım yakıtlarda daha azdır.
- Yakıt tüketimi, karışım yakıtlarda daha yüksektir.
- Motor yağının, karışım yakıt kullanılması sonucu incilmesi ve kirlenmesinden dolayı yağ basıncı karışım yakıtlarda yüksektir.
- Silindir indike basınçlarında önemli bir değişme olmamıştır.
- Karışım yakıtları kullanımı sonunda silindirdeki aşınma miktarı normal, krank yatağındaki aşınma %0,5 olarak tespit edilmiştir.
- İlk harekete geçişte zorluklar yaşanmamıştır
- Duman koyuluğu, karışım yakıtlarda dizel yakıtına göre daha azdır. Soya yağı karışımlarında egzozda çok miktarda sıvı atık ve ağır koku oluşmuştur [3].

Radu ve Mircea, bitkisel yağların, yenilenebilir, düşük sülfür içeren, güvenli depolanabilen ve sağlıklı olmasından dolayı alternatif dizel yakıtı olabileceği fakat direkt püskürtmeli motorlarda düşük ısı değer ve yüksek viskozitelerinin problem olduğu gözlenmiştir. Direkt püskürtmeli, 3 silindirli, 17:1 sıkıştırma oranlı dizel motorunda dizel yakıtı yerine ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı kullanılmıştır. Bu yakıt ile karşılaştırma yapmak üzere sedimente edilmiş ayçiçek yağı, yağ asitleri alınmış ayçiçek yağı ve ham ayçiçek yağı ile bu üç yağın dizel yakıtı ile karıştırılması ile 6 ayrı yakıt ile testler yapılmıştır. Motor, % 20, % 40 ve tam yükte testlere tabi tutularak, maksimum güç, moment, yakıt sarfiyatı testleri yapılmıştır. Test sonuçlarında yağ ve yağ/dizel karışımlarını düşük yanma ısısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğu, yağ/dizel yakıtı karışımlarının ham olarak kullanılan yağlara göre güç, moment ve yakıt sarfiyatında daha iyi olduğu ölçülmüştür.

Araştırmaların çıkış gücünü arttırmaya yönelik sürdürülmesini tavsiye etmişlerdir [36].

Oğuz , dizel yakıtı ile ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanılma imkanlarını araştırmıştır. Çalışmasında; viskozite haricinde ayçiçek yağı ve dizel yakıtının fiziksel özelliklerinin yakın olduğunu belirtmiştir. Yağın viskozitesini iyileştirmek için seyreltme yöntemini kullanmış ve dizel yakıtına hacimsel olarak %20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında ayçiçek yağı karıştırarak seyreltme işlemini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği bu yakıtları, dört zamanlı ve üç silindri bir dizel traktör motorunda hiç bir değişiklik yapmadan kullanmış ve %100 dizel yakıtı ile mukayese etmiştir.

Sonuç olarak; ayçiçek yağı ve motorin karışımlarının motorine göre, motor performansında önemli bir değişikliğe yol açmadığını, yağın ısı değerinin motorinden düşük olması nedeni ile karışımların özgül yakıt tüketimlerinin motorine göre yaklaşık %10-12 arttığını, karışımlarının duman yoğunluklarının motorinden daha düşük çıktığını, CO, HC ve CO₂ miktarlarının motorinden daha fazla çıktığını bildirmiştir [8].

Altın, çalışmasında, soya ve ayçiçek yağları ile bunların metil esterlerini tek silindri bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Deneylerinde saf ayçiçek yağı, saf soya yağı, %50 ayçiçek yağı + %50 motorin, %50 soya yağı + %50 motorin, saf ayçiçek yağı metil esteri, saf soya yağı metil esteri, %50 ayçiçek yağı metil esteri + %50 motorin, %50 soya yağı metil esteri + %50 motorin ve %100 motorin olarak belirlediği yakıt çeşitlerini test etmiştir. Saf yağ kullanımı esnasında viskoziteyi azaltmak için yağı ön ısıtma işlemine tabi tutmuştur. Motorda tam gaz değişik hız ve sabit devir değişik yük testleri ile emisyon ölçümü yapmıştır. Motor elemanlarının durumunu incelemek için de relantide 25 saat, %50 yükte 1300 d/d'da 25 saat olmak üzere 50 saatlik dayanıklılık testi de yapmıştır. Araştırmacı aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- Bitkisel yağlar bazı alternatif yakıtlara göre [metanol gibi] yüksek ısı değere sahiptir.

- Bitkisel yağların ve özellikle metil esterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtına benzemektedir.
- Bitkisel yağların ve metil esterlerinin kısa süreli performans ve emisyon testlerinde motorine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Motorda oluşan birikintiler uzun süreli çalışmalar için problem teşkil edebilir. Bu nedenle bitkisel yağların iyileştirilmesi gereklidir. Metil esterler saf yağlara göre çok daha avantajlıdır.
- Özellikle soğuk havalarda yağların yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklanan problemlerin giderilmesi için ön ısıtma faydalı olmaktadır.
- Bitkisel yağlar dünyanın her yerinde marketlerden ve sanayiden kolayca temin edilebilir.
- Sülfür oranı çok düşük olduğu için bitkisel yağlar ve metil esterleri çevre dostudur.[bitkisel yağlarda: 0,0012, motorinde: 0,2]

Bitkisel yağların en büyük avantajı yenilenebilir olmasıdır. Bitkisel yağ kullanımı sonucu atmosfere ilave bir CO₂ verilmez ve hızlı bir CO₂ sirkülasyonu sağlanır. Yani fotosentez ile atmosferden bitkiler tarafından alınan CO₂, yağın yakılması ile tekrar atmosfere verilir [20].

Thompson et all., tarafından yapılan çalışmada Kolza yağı metil ve etil esteri üretilmiş ve 24 ay bekletilmiştir. Motorlarda dizel yakıtı, yeni üretilmiş kolza yağı metil ve etil esteri ve bekletilmiş kolza yağı metil ve etil esteri kullanılmıştır. Testler direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda yapılmıştır. Etil ve metil esterinin moment, güç, özgül yakıt sarfiyatı eğrileri birbirine yakın görülmüştür. Etil esterinin yoğunluğu daha düşük ölçülmüştür [37].

Yanmaz , pamuk tohumu yağının alternatif fuel oil ve yakıt özellikleri üzerinde çalışmıştır. Pamuk yağının yoğunluğunun, fuel oil yoğunluğuna yakın olduğu, alevlenme noktasının fuel oil'den yüksek olduğu, akma noktasının fuel oil'den düşük olduğu, kükürt ve kül içeriğinin fuel oil'den daha az olduğu, pamuk yağının su ve tortu içermediği, pamuk yağının fuel oil'e benzer korozyon etkisi yaptığı ve üst ısı değerinin fuel oil'den %5 düşük olduğu sonuçlarına ulaşmıştır.

Aynı şekilde, pamuk yağıının yoğunluğunun, motorinin yoğunluğuna yakın olduğu, alevlenme noktasının motorinden yüksek olduğu, akma noktasının motorinden düşük olduğu, kükürt ve kül içeriğinin motorinden daha az olduğu, bulutlanma ve soğukta filtre tıkanma sıcaklıklarının motorinden düşük olduğu, pamuk yağıının su ve tortu içermediği, pamuk yağıının motorine benzer korozyon etkisi yaptığı, pamuk yağıının setan indeksinin motorinden %12 yüksek olduğu ve üst ısı değeriinin motorinden %19 düşük olduğu sonuçlarına ulaşmıştır [38].

Yücel, çalışmasında, dizel motor alternatif yakıtı olarak pamuk yağı +motorin karışımlarının kullanılması halinde oluşabilecek problemleri ve performans ile emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Belirli oranlardaki pamuk yağı + motorin karışımlarının kullanılarak tek silindirli bir dizel motoru elemanlarının durumlarını da incelemiştir. Artan pamuk yağı yüzdesinin silindir içerisindeki kalıntı miktarını artırdığını tespit etmiştir.

Pamuk yağı +motorin karışımlarının kullanılması halinde, CO ve HC emisyonlarında motorine göre artış NOx de ise azalma olduğunu gözlemlemiştir. Motor gücünün yaklaşık aynı kaldığını, özgül yakıt tüketiminin ise arttığını belirtmiştir.

Kısa süreli çalışmalar için pamuk yağı + motorin karışımlarının motorda bir değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini uzun süreli çalışmalarda ise pamuk yağı oranının % 30-40'dan fazla olmaması gerektiğini rapor etmiştir [38].

Yücesu ve Altın, kanola yağıının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımını üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 900 d/d -1800 d/d aralığında 100d/d 'lık aralıklarla performans ve emisyon testleri yapmışlardır. Ticari dizel yakıtı ve kanola yağı ile yapılan testler sonucunda; motor devrine bağlı olarak dizel yakıtının kanola yağıından daha yüksek moment verdiği [maksimum fark 1800d/d' da %6], devir azaldıkça bu farkın azaldığı, benzer şekilde dizel yakıtının kanola yağıından daha yüksek güç verdiği [maksimum fark 1800d/d' da %6], özgül yakıt tüketiminin kanola yağıında dizel

yakıtına göre daha yüksek olduğu, kanola yağının termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu, CO emisyonunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu, NO_x oluşumunun ise dizel yakıtı kullanımında daha yüksek çıktığı, duman koyuluğunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu ve motor momenti arttıkça her iki yakıtta da arttığı bildirilmiştir.

Araştırmacılar, kanola yağının dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olması, viskozitesinin daha yüksek olması, performans ve emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre kötü sonuçlar vermekle beraber aradaki farklılıkların çok fazla olmadığı ve kanola yağının kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtına alternatif olabileceğini belirtmişlerdir [39].

Ulusoy, ayçiçek, kolza, pamuk ve soya yağlarının motorinle değişik oranlardaki karışımlarının yakıt olarak dizel motorlarında kullanılmasını incelemiştir. Araştırmacı aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- Karışım yakıtlarının tümünün dönme momenti ve güç değerleri %100 motorinden düşüktür. En yakın değerler %25'lik yağ oranındaki karışımlardan elde edilmiştir. Bu sonuç yağların yüksek viskozite ve düşük ısı değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.
- Karışımların yağ oranı arttıkça, saatlik yakıt tüketimi artmaktadır.
- Karışımların özgül yakıt tüketimleri birbirine yakındır.
- Karışımların genel verimi %100 motorine göre daha düşüktür.
- Karışımların gürültü ve egzoz sıcaklık değerleri motorine yakın çıkmıştır. Motor yakıt pompasının konumunun değiştirilmesi ile her iki kriter yükselmiştir.
- Genel bir değerlendirme ile motorine en yakın değerler nötr kolza yağında, en uzak değerler ise nötr ayçiçek yağında çıkmıştır.
- Nötr ayçiçek yağı ile yapılan çalışmada, avans değerinin artırılması ile moment ve güç değerleri bir miktar artmakta, buna bağlı olarak egzoz sıcaklığı ve gürültü de artmaktadır [16].

İlkılıç, yaptığı çalışmada ayçiçek yağı ve pamuk yağı metil esterini, %100 ester ve hacimsel olarak %50 oranında motorinle karıştırılmış ester şeklinde karıştırarak %100 motorinle mukayese etmiştir. Yakıtları, tek silindirli bir dizel motorunda motor performansı ve emisyonlar bakımından incelemiştir. Yapılan testlerde enjeksiyon basıncı 150 bar dan 250 bar a kadar değiştirilerek motorun performansı ve emisyonları da incelenmiştir. Çalışmasında şu sonuçlara ulaşmıştır:

- Pamuk ve ayçiçek yağı metil esterlerinin fiziksel özellikleri motorine yakındır.
- Pamuk ve ayçiçek yağı metil esterlerinin ısı değerleri motorine yakındır.
- Bitkisel yağların metil esterleri performans bakımından motorine iyi bir alternatiftir.
- Pamuk ve ayçiçek yağı metil esterlerinin özgül enerji tüketimleri, ısı değerinin motorinden az olmasından dolayı fazla çıkmıştır.
- Yenilenebilir olması, bitkisel yağları önemli bir motorin alternatifi yapmaktadır.
- Bitkisel yağlar bütün yerleşim birimlerinde kolayca temin edilebilmektedir.
- Pamuk ve ayçiçeği ülkemizde ve dünyanın bir çok yerinde kolaylıkla ve bol miktarda yetiştirilmektedir.
- Yağ esterleri motorda bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
- Ester yakıtlar, motorine göre %10-12 düşük NO_x oluşturur.
- Duman koyuluğu ve partikül oluşumu motorinden azdır.
- Esterlerin oluşturduğu CO ve diğer zararlı gazlar motorine göre daha az orandadır [28].

McDonnell ve arkadaşları, yarı rafine edilmiş kanola yağı ile yaptıkları çalışma sonucunda karbon birikintileri nedeniyle enjektör ömrünün kısaldığını, motor aşınmasına veya yağlama yağına olumsuz bir etkide bulunmadığını rapor etmişlerdir [40].

Kavalcı , çalışmasında bazı bitkisel kökenli yakıtların [ayçiçek,soya, susam, kolza, yer fıstığı, keten, pamuk, mısır, ethanol ve methanol yakıtlar] dizel motorlarda kullanılma imkanlarını incelemiştir. Methanol ve ethanol yakıtlar hakkında bilgiler

vermiştir. Bitkisel yağların üst ısı değer, yoğunluk ve viskozite bakımından birbirlerine yakın değerlere sahip olduğunu ve setan sayısı bakımından da dizel yakıtına yakın olduğunu bildirmiştir.

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

Yağların alevlenme sıcaklıklarının 240⁰C civarında olduğunu, bunun da yangın tehlikesini azaltıcı etkisi olduğunu, yağların karbon birikintisi oluşturmasının ise önemli bir dezavantaj olduğunu rapor etmiştir [41].

Kaplan, ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı konusunda bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında motorin ile ayçiçek yağı metil esterini performans ve emisyon bakımından karşılaştırmıştır. Ayçiçek yağı metil esterinin kullanımı ile motorine göre %1-10 arasında tork ve güç düşüşü olduğunu bildirmiştir. Bu düşüşlerin, ayçiçek yağının viskozitesinin motorinden yüksek, ısı değerinin ise düşük olmasından kaynaklandığını rapor etmiştir.

Özgül yakıt tüketiminin ise motorinden %2-5 yüksek olduğu ve bunun da ayçiçek yağının motorinden daha düşük bir ısı değere sahip olmasından kaynaklandığı sonucuna varmıştır. Ayrıca duman koyuluğunun motorinden az, HC miktarının motorine göre %10 düşük ve CO miktarının da yine motorine göre daha düşük çıktığını göstermiştir [20].

Altın, Yücesu ve Çetinkaya, çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmişlerdir. Deneylerde No 2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ [ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı] kullanılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motoru tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük

deneyine tabi tutmuşlardır. Araştırmacılara göre; yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NOx emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu görülmüştür. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir [42].

He ve Bao, kanola yağını alternatif bir yakıt olarak tek silindirli bir motorda test etmiştir. Test sonucunda optimum yanma karakteristiklerinin %30 kanola yağı ve %70 dizel yakıtı karışımından elde edildiğini tespit etmişlerdir. Özgül yakıt tüketimi ve ısı verimin en iyi sonuç verebilmesi için yakıt dağıtım açısının 20° olması gerektiği dizel yakıtında ise 2-3° avans verilmesi gerektiği belirtilmiştir [43].

Yamık , çalışmasında ham ayçiçek yağından metil ve etil ester üreterek, fiziksel özelliklerini tespit etmiştir. Tek silindirli bir dizel motorunda dizel yakıtı, ayçiçek yağı metil esteri ve etil esterinin tam yük değişik devir ve sabit devir değişik yük deneylerini yapmıştır. Deneyler sonucunda her yakıt için performans haritaları çıkartmıştır. Araştırmacı tarafından, tam yük değişik devir deneylerinde etil ester performansı dizel yakıtı ve metil estere göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Emisyonlar bakımından etil ester emisyon değerleri metil esterinkine yakın değerlerde ölçülmüştür. Ayçiçek yağı metil esterinin ısı değer ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği saptanmıştır. Deneyler sırasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu belirlenmiştir. Her yakıt için maksimum momentin meydana geldiği optimum avans değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda metil esterinin performans bakımından dizel yakıtına alternatif olabileceği saptanmıştır. Etil esterinin motor gücü ve momentinin ise dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiş buna karşılık özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyetlerinin etil esterde diğer yakıtlara göre yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bitkisel yağ metil esterlerinin dizel yakıtına alternatif olabileceği görülmüştür [2].

Al-Vidyan et al. tarafından yapılan çalışmada, restoranlardan toplanan atık palmiye yağları transesterifikasyon yöntemiyle etil alkol esterine dönüştürülmüş ve dizel yakıtıyla çeşitli oranlarda karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorunda test edilmiştir. Elde edilen karışımlar, %100 dizel yakıtına göre daha iyi bir yakıt ekonomisine ve daha düşük CO, HC emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak %100 ester ve 75:25 ester/dizel [25D] karışımlarıyla en iyi performans değerleri elde edilmiştir. Egzoz emisyonları göz önüne alınmadığında ise en iyi performans değerine 50:50 ester/dizel karışımıyla ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında bitkisel yağların alternatif bir dizel yakıtı olduğu vurgulanmıştır [44].

Yücesu ve İlkılıç, çalışmalarında pamuk yağı metil esterinin egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılara göre; yüksek viskoziteden dolayı püskürtme zorlukları ortaya çıkmakta ve iyi bir atomizasyon sağlanamamaktadır. Araştırmacılar tarafından viskozite probleminin çözümü için pamuk yağından metil esteri elde edilmiş ve hacimsel olarak dizel yakıtı ile %50 oranında karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunun değişik enjeksiyon basınçlarında denenmiş ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Tam gaz değişik enjeksiyon basınçlarında yapılan deneylerde CO emisyonu maksimum moment devrindeki motor hızında PYME-DY karışımının kullanılması ile dizel yakıtına göre bir azalma göstermiştir. Genellikle dizel yakıtına karşılık karışımın CO düşüşü bütün devirlerde birbirine yakındır. Azot oksit emisyonlarında maksimum moment ve maksimum güç devirlerinde % 11 ve % 13 oranında bir düşüş mevcuttur. Karbondioksit miktarı ise dizel yakıtına oranla karışımda daha düşük çıkmaktadır. Dizel yakıtına göre karışım iyi bir yanma göstermemektedir.

Egzoz emisyon değerleri, dizel yakıtı kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları pamuk yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının dizel yakıtına göre kirletici miktarında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Sonuçta pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karışımının bir dizel motorunda dizel yakıtına alternatif olarak kullanılabilmesi ortaya çıkmıştır [45].

Nwafor, kanola metil esteriyile çalışan dizel motorunun emisyon karakteristiklerini incelemiş ve CO emisyonlarının dizel yakıtı ile benzerlik gösterdiğini tespit etmiştir. Test sonuçları HC emisyonunun dizel yakıtına göre çok düşük olduğu ve yakıt tüketiminin ise biraz yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca egzoz sıcaklıklarının dizel yakıtıyla benzer olduğu rapor edilmiştir [46].

İlkılıç ve Öner , yaptıkları çalışmada viskozite probleminin çözümü için ayçiçek yağı metil esterini hacimsel olarak motorin ile %50 oranında karıştırmışlardır. Elde ettikleri karışımı, tek silindirli, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorun değişik devirlerinde denemişler, motor performansı ile egzoz gazı emisyonlarını ölçmüşlerdir. Bu değerleri motorin kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılara göre; deney sonuçları ayçiçek yağı esteri karışımının motorine yakın güç ve moment verdiği, kirlenici emisyon miktarlarında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Maksimum moment devrinde dizel yakıtına göre CO miktarı %21, NOx miktarı %11, maksimum güç devrinde ise CO %7, NOx'in % 12 azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak egzoz gazı emisyonları göz önüne alındığında çevre bakımından ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarında motorine alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceği görülmüştür [47].

Selim, Radwan ve Elfeky , yaptıkları çalışmada jojoba yağı metil esterinin dizel motorlarının performansına etkilerini incelemiştir. Deneylerinde ön yanma odalı bir dizel motoru kullanmışlar ve yapılan testlerde aşağıdaki uygulamalara yer vermişlerdir;

- Motor devri 1000 ile 2000 rpm arasındadır.
- Motor yükü 0,5 ile 21 Nm arasındadır.
- Yakıt enjeksiyon zamanı üst ölü noktadan [Ü.Ö.N] 20 ile 45° öncedir.
- Motor sıkıştırma oranı 22 ve 18 olmak üzere iki seviyede yapılmıştır.
- JME / motorin karışım oranı %0 [saf motorin], %25, %50, %75 ve %100 [saf JME]'dir.

Yapılan testlerin sonucunda aşağıdaki neticeler elde edilmiştir.

- Maksimum yanma basıncı, düşük devir ve yüksek devirlerin her ikisinde de yükselmiştir ve 1400 r.p.m devir civarında bütün karışım oranlarında minimum olmuştur.
- Saf JME için basınç ve basınç artış oranı motorinin özellikleriyle tamamen benzerlik göstermektedir. JME, motorinden daha yumuşak bir basınç artış oranına sahiptir ve bu özelliği yeni yakıtın bir avantajı olarak görünmektedir.
- JME tutuşma gecikmesine sahiptir.
- Test edilen bütün JME yakıtları için yük artırıldığında ön yanma odası içerisindeki maksimum basınç artış oranı azalmaktadır.
- Düşük yüklerde saf JME yakıtı, motorin ve onun karışımlarından biraz daha yüksek bir basınç artış oranı sergilemektedir.
- Enjeksiyon avansı genellikle maksimum basıncı ve maksimum basınç artış oranını artırmaktadır.
- JME için maksimum basınç artış oranı A.Ö.N' den 25° ile 35° aralığında saf motorininkine benzerdir. Çok erken [45°] veya çok geç [20°] enjeksiyon için JME çok yüksek basınç oranı meydana getirmektedir.
- Saf JME yakıtı için yüksek sıkıştırma oranı, basınç artış oranını azaltmaktadır.
- Saf JME yakıtı kullanıldığında; motorda periyodik değişkenlik gösteren motorin yakıtı kadar JME yakıtının 50 çevrim için maksimum basınç artış oranı ve maksimum basıncın standart sapması azdır. Motorinin yerine JME yakıtı kullanıldığında motorun çalışmasının pürüzsüzlüğü değişkenlik göstermemektedir.
- Test edilen bütün motor devirlerinde JME yakıtı, motorinin ürettiği güç ve torka yakın değerler üretmiştir.
- Tork ve güç üretimi, yanma sesi veya motor gürültüsü ve titreşimi, motorun sarsıntısız çalışması ve periyodik değişkenlik açılarından JME yakıtı motorinin yerine kullanılabilir iyi bir yakıttır [48].

Pramanik , çalışmasında; Jatropha Curcas yağının viskozitesini dizel yakıtının viskozite değerine düşürmeyi ve viskozitesi düşürülen yağın motor performansına etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Oluşturulan karışımlardan, %30 Jatropha Curcas yağı %70 dizel yakıtı karışımının viskozitesi dizel yakıtı viskozite değerine yakın olduğu tespit edilmiştir.
- %70 ve %60 Jatropha Curcas yağı karışımları 70-75 ve 60-65 °C' ye ısıtılarak yine dizel yakıtı viskozite değerine ulaşılabilir.
- %50 Jatropha Curcas yağı ve %50 dizel yakıtı karışımında özgül yakıt tüketimi ve ısıl verim kabul edilebilir değerlerde oluşmaktadır.
- Karışımlardaki Jatropha Curcas yağı oranı azaldıkça egzoz gaz sıcaklığının da azaldığı görülmüştür.
- %50 Jatropha Curcas yağı ve %50 dizel yakıtı karışımı dizel motorlarında herhangi bir çalışma zorluğu çekilmeden kullanılabilir.
- Yakıt olarak biyodizel kullanan motorların uzun süreli kullanımına yönelik daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir [49].

Demirel ve Şensöz , yenilenebilir enerji kaynağı olarak zeytin ve fındık küspeleri üzerinde çalışmışlardır. 500°C sıcaklıkta ve 10⁰C/dk ısıtma hızında proliz yöntemi ile biyoyakıt elde etmişlerdir. Bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyerek petrol türevi yakıtlarla mukayeselerini yapmışlar ve sonuçların biyoyakıt açısından oldukça ümit verici olduğunu belirtmişlerdir [50].

Altıparmak, Keskin vd. çalışmalarında, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmişlerdir. Fındık yağı metil esteri, tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 1800 – 3200 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Araştırmacılara göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla % 3.22 ve % %3,1 dir. Fındık yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi büyük oranda ısıl değerinin düşük olmasından ve yoğunluğun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı % 9.24 dür. CO emisyonlarının da ve ışık absorpsiyon katsayısının da sırasıyla %48.74 ve %66.7'e kadar düşmeler tespit edilmiştir.

Fındık yağının metil esterinin yenilenebilir olması, bünyesinde kükürt, aromatik hidrokarbonları ve ham petrol artıklarını içermemesi, dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi olması ve ayrıca ısı değeri, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine çok yakın olması alternatif yakıt olarak kullanımın da en önemli avantajlarıdır [51].

Raheman ve Phadatare, yaptıkları çalışmada, karanja metil esterini ve onun hacimsel olarak %20-%80 arasında dizel yakıtla yapmış olduğu karışımları dizel motorda test etmişlerdir. Testler sonucunda, karanja metil esterinin dizel yakıtla yapmış olduğu karışımların CO, duman yoğunluğu ve NO_x emisyonlarını ortalama olarak sırasıyla %80, %50 ve %26 azalttığı tespit edilmiştir. B40 [%40 karanja metil ester / %60 dizel yakıt] yakıtıyla çalıştırılan motorda gücün ortalama olarak %6 arttığı ve karışım içerisindeki biyodizel yüzdesinin artmasıyla gücün azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca B40 yakıtının dizel yakıtı yerine sorunsuzca kullanılacağı vurgulanmıştır [52].

Usta, Can vd. Fındık yağı üretimi ve rafinasyon işlemi sonucu ortaya çıkan sabun stoğu ile kızartmada kullanılmış atık ayçiçek yağından oluşan karışımdan elde edilen biyodizeli petrol kaynaklı dizel ile birlikte belirli oranlarda karıştırarak bir dizel motorunda kısa süreli performans testleri yapmışlardır. Araştırmacılar, performans yönünden atık bitkisel yağlar ile birlikte, yemeklik yağ üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkan sabun stoklarının ucuz biyodizel üretiminde önemli bir kaynak olabileceğini ortaya koymuşlardır [53].

Puhan et al. yaptıkları çalışmada, mahua yağı [Madhuca Indica çekirdeği yağı] metil esterini tek silindirli bir dizel motorda test etmişlerdir. Çalışmada, mahua yağına 6:1 mol oranında metanol eklenerek düşük viskoziteli [52 cSt] mahua metil ester elde edilmiş ve çevrim verimi %92 olarak ölçülmüştür. Mahua metil esterinin dizel yakıtla karşılaştırıldığında %12 oranında daha düşük ısı değere sahip olduğu, her iki yakıtın özgül ağırlıkları arasında fazla farkın bulunmadığı, metil esterinin kinematik viskozitesi [52 cSt] biyodizel standart limitleri içerisinde olmasına rağmen dizel yakıtın viskozite değerinden biraz daha yüksek olduğu, setan sayısının dizel yakıtından %10 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Performans testleri neticesinde

elde edilen sonuçlara göre; mahua metil esterinin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı göre %20 daha fazla ve ısı veriminin dizel yakıtı göre %13 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Mahua metil esterinin CO, HC, duman yoğunluğu ve NO_x emisyonları ise dizel yakıtı göre sırasıyla %30, %35, %11, %4 oranında azaldığı tespit edilmiştir [54].

Labeckas ve Slavinskas, yaptıkları çalışmada, Estonya’da üretilen ve bölgesel bir yağ olan shale yağını, doğal emişli, dört zamanlı, dört silindirli, su ile soğutmalı, direk enjeksiyonlu bir dizel motorda test etmişlerdir. Yapılan testler neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde belirtilmiştir:

Dizel motoru shale yağı ile tam yükte çalıştırıldığında, maksimum tork değerindeki özgül yakıt tüketiminin %12,3 ve güç oranının ise %20,4 arttığı tespit edilmiştir.

Isıl verim açısından her iki yakıt arasındaki farkın çok fazla olmadığı değerlendirilmiş ve ısı veriminin maksimum değerleri dizel yakıt için 0,36-0,37 ve shale yağı için 0,32-0,33 olarak tespit edilmiştir.

Motor kısmi yükte çalıştırıldığında, shale yağının meydana getirdiği toplam NO_x miktarının oldukça düşük olduğu fakat motor maksimum tork ve güç oranında çalıştırıldığında ise NO_x oranının %21,8’den %27,6’ya yükseldiği tespit edilmiştir. Motor tam yükte shale yağı ile çalıştırıldığında, duman yoğunluğu %30-35 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Egzoz gazındaki yanmamış hidrokarbon [HC] konsantrasyonu 10 ile 25 ppm arasında ölçülmüş ve bu değerler motor yüküne, hızına veya kullanılan yakıtı bağlı olarak çok değişmediği belirtilmiştir. Shale yağına ait HC emisyonlarının, düşük yük ve devirlerde biraz yüksek çıkmasına, başarısız yanma çevriminin ve kararsız motor performansının neden olduğu tahmin edilmektedir [55].

İleri, yaptığı çalışmada kanola yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Kanola yağı metil esteri, 4 silindirli direk

püskürtmeli ve turboşarjlı bir dizel motorunda 1750-4400 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Çalışmanın sonucuna göre; kanola yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla % 0,63 ve % 1,21 dir. Kanola yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi büyük oranda ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı % 11,1 dir. CO emisyonlarının da ve ışık absorpsiyon katsayısının da sırasıyla %18,83 ve %58,75 düşmeler tespit edilmiştir [6].

Koçak, çalışmasında, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Fındık yağı metil esteri, 4 silindirli direk püskürtmeli ve turboşarjlı bir dizel motorunda 1750-4500 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla % 1,16 ve % 1,61 dir. Fındık yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi, ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı %11,8 dir. Işık absorpsiyon katsayısında ortalama %68,6 düşme tespit edilmiştir [58].

2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ

2.1 Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtlar

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

İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar ve yaygın olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmıştır. Elde edildikleri yerlerde değerlendirilmek üzere hava gazı, metan, biogaz ve özellikle hava kirlenmesinin sorun olduğu şehir içi taşımacılığında sıvı petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Ayrıca ekonomik üretim ve emniyetli olarak depolama sorunlarının çözülerek hidrojenin de yakıt olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır [2].

2.1.1 Dizel Motorlarında Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Ham petrolün damıtımı esnasında 200-300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik, ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Mazot olarak tanımlanan yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan yakıtlar grubudur. Bu grup içerisinde, kullanım alanına bağlı olarak en ideal olan dizel motoru yakıt türü belirlenir [2].

Dizel yakıtların Sınıflandırılması;

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir.

a) No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.

b) No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden , No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.

c) No.4-D: Damıtık ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır [2].

Çizelge 2.1 Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler [2]

| Özellik | 1-D | 2-D | 4-D |
|-----------------------------------|-------|-------|--------|
| Setan Sayısı [Minimum] | 40 | 40 | 40 |
| Parlama Noktası [°F] | 100 | 125 | 130 |
| Viskozite Saybolt [S], [100°F] | 30-34 | 33-45 | 45-125 |
| Kül [% Kütlesel] | 0,01 | 0,02 | 0,10 |
| Kükürt [% Kütlesel] | 0,50 | 1,0 | 2,0 |

2.1.1.1 Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite kinematik ve dinamik viskozite olmak üzere ikiye ayrılır. Tanım olarak dinamik viskozite; birbirlerinden 1m uzaklıktaki iki düzlem arasında 1m² alanındaki sıvı tabakasının 1m/ s² hızla kayması için gerekli olan Newton kuvvetine denir.

Kinematik viskozite; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Kinematik viskozite birimi santistok (cSt) olup, 1 cSt= 1 mm/saniyedir ve ASTM D-88'e göre viskozite 40 °C de ölçülmelidir.

Viskozite değerleri, Engler (DIN 51560), Redwood (Institute of Petroleum, Standart Medhods IP 70/57), Saybold Unıversal ve Saybold –Furol viskozimetreleri ile belirlenmektedir [2].

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak ta silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir.

Viskozite küldüke enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerrelere ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir yanmanın sağlanması gerçekleşmektedir. Viskozitenin çok düşük olması durumunda ise püskürtme sisteminin farklı bölgelerinde kaçaklar oluşabilmektedir.

Viskozitenin büyük olması durumunda ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreler şeklinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamaz. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır.

Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki ettiğinden, viskozite her zaman sıcaklıkla bir verilmelidir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50 °C’ de 1.5-5 Engler derecesi olmalıdır. Viskoziteleri bu Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40-100 °C’a kadar ısıtılarak kullanılırlar [2].

2.1.1.2 Isıl Değer

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

Yakıtın ısıl değeri genellikle birim kütlesinin enerjisi ile verilmektedir (kj/kg veya kcal/kg) . Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak

bulduğundan, ısı değer, alt ısı değer olarak verilmelidir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısı değerini hidrojen miktarına, diğer bir deyişle özgül kütleyle aşağıdaki ampirik ifade ile bağlamak mümkündür [2].

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

Benzin veya dizel yakıtı için,

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

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

2.1.1.3 Setan Sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür.

Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesi (TG)' nin zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (dizel vuruntusu) [2].

2.1.1.4 Akma Noktası

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

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

2.1.1.5 Yoğunluk ve API

Özgül ağırlık veya yoğunluk; birim hacmin ağırlığı olarak tanımlanır. Yanmaya doğrudan bağlı değildir fakat yoğunluğu büyük olan yakıtlar fazla miktarda karbon atomu içerdikleri için ısı değerleri yüksektir. Ayrıca özgül ağırlığı ne kadar küçük ise yakıt o kadar kolay tutuşur. Genel olarak dizel yakıtlarının özgül ağırlıkları 0,815-0,934 gr/dm³ arasındadır [2].

2.1.1.6 Parlama ve Alevlenme Noktası

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

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

2.1.1.7 Uçuculuk

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

Düşük uçuculuk özelliğine sahip yakıtlar en iyi gücü temin edebilmek ve dumani azaltmak amacıyla yüksek hızlı motorlar için uygundur [2].

2.1.1.8 Korozyon Etkisi

Dizel yakıtında bulunan kükürt oranı hem koroziv hem de partikül oluşumunu artırıcı yönde etki ederek zararlı bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle düşük çalışma sıcaklıklarından motor parçalarında şiddetli korozyona sebep olmaktadır.

Kükürt miktarı ASTM0 129' da ve IP 3362 ye göre motor hızına bağlı olarak yüksek hızlı motorlarda %1'in altında olmalıdır [2].

2.2 Biyokütle Enerjisi ve Biyodizel

2.2.1 Biyokütle Enerjisi

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

Biyokütle enerjisi üretimi için kullanılacak başlıca kaynaklar, tarımsal ve hayvansal atıklar, organik içerikli evsel, kentsel ve endüstriyel atık/atıksular, biyolojik arıtma çamurları, enerji bitkileri, klasik ormanlar, enerji ormanları, sucul ekosistemlerde yetişen alg ve yosun gibi canlılardır.

Ayrıca biyokütlenin oluştuğu alanları şu şekilde özetlemek mümkündür.

- Kültür bitkileri, çayır, mera ve enerji bitkilerinin yetiştirildiği tarımsal alanlar,
- Klasik orman alanları ile enerji elde etmek amacıyla yetiştirilen ormanlık alanlar,
- Bitki kalıntıları ve hayvan atıkları,

- Belediyeye ait katı atıklar, biyolojik arıtma çamurları, endüstri atık ve artıkları,
- Sucul ekosistem [56].

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Canlı kütle ve dikili ürün deyimleriyle eş anlama gelen biyokütle, çoğu kez phytomass ve zoomass olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru kütledir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır [57].

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak karbonhidrat şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji oluşturan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ emisyonu açısından korunmuş olacaktır. Görüldüğü gibi bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır [6].

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

Enerji kaynakları arasında en çok bilinen ve ilk kullanılan odundur. Biyokütle enerjisi olarak odun, yetişmesi uzun yıllar alan ağaçların kesilmesi ile elde edildiğinden, ormanların yok olmasına ve büyük çevre felaketlerine yol açmaktadır. Günümüzde biyokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfa ayırmak olanaklıdır. Ağaç kesiminden elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit şekilde yakılması klasik biyokütle enerjisi olarak tanımlanırken, enerji bitkileri, enerji ormanları ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen bio-dizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır [57].

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirlilemeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Ayrıca, biyokütle içinde fosil yakıtlarda bulunan kanserojen maddeler ve kükürt olmadığı için, çevreye zararı son derece azdır. Bütün bunların ötesinde, bitki yetiştiriciliği, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır [57].

2.2.2 Dünyada Biyokütle Kullanımı

Güneş enerjisinin depolanmasına olanak sağlayan ve çevreye olumsuz etkisi olmayan biyokütle enerjisinin son zamanlarda, gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra gelişmiş ülkelerde de büyük oranlarda kullanılmaya başlandığı gözlenmektedir. Bunun başlıca nedenleri arasında, fosil yakıt kullanımı yüzünden dünyanın giderek artan boyutta çevre kirliliği problemi yaşaması gelmektedir. Biyokütlenin daha çok ve verimli yetiştirilmesi için hızlı büyüyen özel bitkiler ve genetik mühendisliği yardımıyla yeni tohumlar geliştirilmektedir. Dünya nüfusunun %80' nin 35° kuzey ve 35° güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa, bu bölgede metrekareye düşen güneş enerjisinin yılda 3000-4000 saati bulunduğu ve bunun da enerji olarak 2000 kWh/m² olduğu ortaya çıkmaktadır. Bütün bu verilerden yola çıkarak, güneş enerjisinden fotobiyolojik çevrim sonucu elde edilebilecek biyokütle enerjisinin büyüklüğü, çevre etkisi çok az olan bu kaynağın sağlayacağı yararların önemini açıkça göstermektedir [6].

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeyinin yükselmesi gibi etkenler yalnız Türkiye’de değil, dünyada da enerji tüketimini artırmış, bu da fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketimi 1900’lü yılların başlarında 2×10^{18} J iken 1998 yılında 17 kat artarak 3.4×10^{20} J değerine ulaşmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, gerek bu enerji açığını karşılamak gerekse çevre kirliliğini azaltmak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir [57].

Biyokütlenin ekonomik, bölgesel ve çevre dostu oluşu gibi özellikler , biyoenerji konusuna ilgiyi giderek artırmaktadır. Biyokütle sağlamak için harcanacak enerji miktarı %20 dolayındaki bir çevrim verimi esas alındığında, yılda 3000 MW lık bir enerji sağlanabileceği göz önüne alındığında biyoenerjiyi, geleceğin temel enerji kaynağı olarak değerlendirmek mümkündür. Özellikle biyokütle enerjisi karbondioksit salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

Brezilya biyokütlenin geniş çapta, özellikle taşıtlarda kullanılması yönünden dünyada ki en iyi örneklerden biridir. Bu ülkede yaklaşık 5 milyon taşıt, 1989’ dan beri yakıt olarak benzin yerine şeker kamışı veya benzeri ürünlerden elde edilen saf biyoetanolü, yine birçok araç da benzin/etanol karışımını kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkede bu biyokütle yakıtları ile doğrudan ilgili olarak 700.000, dolaylı olarak da 1,5-2 milyon yeni iş alanı yaratılmaktadır. 1976 ile 1987 yılları arasında petrol ithalatı yerine yerli üretim etanol kullanılmasından dolayı tasarruf edilen miktar 12,48 milyar dolar düzeyindedir. Ülke ekonomisine büyük katkı yapan bu program için yatırım ise sadece 6,97 milyar dolar olup, üretim maliyeti 1979’dan beri hâlâ her yıl yaklaşık %4 dolayında azalmaktadır. Yetiştirilen biyokütleden şeker elde edildikten sonra geri kalan posa kısmının yakıt olarak daha ekonomik kullanımı ile bu maliyetin daha da düşeceği sanılmaktadır [6].

Mauritius’ daki şeker kamışı endüstrisi tarafından üretilen biyokütle atıkları modern fırınlarda yakılarak elektrik üretilmekte ve enerji ihtiyacının %60’ ı karşılanmaktadır. Zimbabwe, 1983-1990 yılları arasında, şeker kamışından 40 milyon litre etanol üretmiş ve bu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmıştır [6].

Organik atıklardan havasız çürütme yöntemiyle biyogaz üretimi, oldukça basit ve hemen her yerde yapılabilecek bir işlemdir. Hindistan'da halen çeşitli büyüklükte bir milyondan fazla biyogaz üretim tesisi bulunmaktadır. Çin' de bir milyardan üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biyokütle kullanmakta olup daha çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için kullanılan biyogaz üretimi için 5 milyondan fazla küçük tesis yaklaşık 25 milyon insan tarafından işletilmektedir. Sayıları 10.000 dolayında olan orta ve büyük ölçekli tesislerden üretilen biyogaz ise elektrik üretimi ve büyük fabrikaların enerji gereksinimi için kullanılmaktadır. Çin'de büyüklüğü 10 kW ve üzeri olan 800 biyogaz üretim tesisinin toplam kapasitesi 8500 kW dolayındadır [58].

Ağırlığını ağaç ve etanolun oluşturduğu biyokütle Amerika enerji kullanımının %3' ünü karşılamaktadır. Gelecekte biyokütle kullanımının yıllık 348 milyon varile yani üç katına çıkması planlanmaktadır [59].

Avusturya'da 11000'den fazla biyokütle ile çalışan enerji üretim sisteminin toplam gücü 1200 MW' a ulaşmıştır. Bu ülke, enerji ihtiyacının %12,6' sını biyoenerjiden sağlamaktadır. Biyokütle ile ısıtılan konut sayısı azalmasına rağmen, düşük sıcaklık gerektiren sektörler için toplam biyokütlenin %75' inin oluşturan odun talaşı, ağaç kabuğu ve tahta parçaları çok önemli bir biyokütle kaynağıdır.

Belçika, enerji ihtiyacının %0,6' sını biyoenerjiden sağlamaktadır ve konutların %1,4' ü biyokütle ile ısıtılmaktadır. Belçika ormanlarından yıllık 0,8 Milyon metreküpten daha fazla biyokütle sağlanmasına rağmen biyokütle kullanımının giderek genişlemesi nedeniyle uzun periyotta biyokütle stok problemi ile karşılaşılabilir.

Enerji ihtiyacının %0,6' sını biyoenerjiden sağlayan Çek Cumhuriyeti' nde, biyokütlenin 2/3' ü konut ısıtmak için ve kalan bölümü ise endüstride kullanılmaktadır.

Finlandiya’ da biyokütlenin büyük bir kısmı (%60) ağaç işleme, kağıt ve kağıt hamuru endüstrilerinde kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik ve ısıtma talebinin karşılamak için de biyokütle kullanımı yaygındır. Finlandiya’ daki 2,3 Milyon konuttan 1 Milyonu bölgesel ısıtma sistemine geçmiş ve bunlardan sadece 0,3 Milyonunda biyokütle ile ısıtma yapılmaktadır.

Fransa, biyokütle enerjisinin %90’ nını konut ısıtmada geri kalan kısmını ise endüstride kullanmaktadır. 2,4 Milyon konut [toplam konut sayısının %10’u] biyokütle ile ısıtılmaktadır ve bu sayı giderek azalmaktadır. Diğer yandan 9 Milyon konut nükleer enerjiden sağlanan elektrik enerjisi ile ısıtılmaktadır.

İtalya, biyokütle potansiyelinin 2/3’ ünün hacim ısıtmak için kullanmaktadır. Turizm alanında yoğun olarak odun sobası ve şömine kullanımının neticesi olarak son yıllarda biyokütle [şömine odunu] tüketimi artmıştır. Isıtma işleminde kullanılan biyokütle enerjisinin %30’ unu odun ve odun selülozları oluşturmaktadır. 2010 yılında, toplam enerji tüketimi içerisindeki biyokütle enerji desteğinin 2 katına çıkması beklenmektedir.

Hollanda’ da biyokütle (%60’ ı atıklardan oluşmaktadır) enerjisi merkezi ısıtma ve güç üretiminde kullanılmaktadır. %26’ sını organik maddeler oluşturan ev ve endüstriyel atıklar, yakılarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemlerinin %70’ i biyokütleden elde edilen doğal gaz ile ısıtılmaktadır [6].

2.2.3 Türkiye’ de Biyokütle Kullanımı

Türkiye’de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz, kömür gibi ithal ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele, ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır [57].

Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye' nin enerji bütçesine bakıldığında, son on yıldır hemen hemen sabitleşmiş verilerle yılda 18 milyon ton odunun üretilip tüketildiği görülmektedir. Kesin istatistik veriler olmamakla birlikte hayvan ve bitki artışının üretim ve tüketimi son on yıldır 11 milyon tondan 6,6 milyon tona düşürülmüş bulunmaktadır. Söz konusu tüketim için ormanlar üretim kapasitesinin iki katı zorlanarak, önemli bir tarımsal girdi olan hayvan gübresi de yakılarak yok edilmektedir. Geçmişten bu yana süren klasik biyokütle kullanımı, dünya ortalaması altında enerji tüketen Türkiye' nin enerji sektörünün yeterince gelişmediğinin ve yetersizliğinin bir başka kanıtıdır. 1997 yılı verilerine göre yerli enerji üretiminin %25,5' i odun ve tezekten sağlanmış, toplam birincil enerji tüketiminin ise %9,8' i odun ve tezekle karşılanmıştır [60].

Türkiye' de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerjisi üretimi Çizelge 2.2' de görülmektedir. Dikkat edilecek olursa 1999 yılında toplam biyokütle enerji üretiminin %0,07' si modern biyokütle üretimi olarak gerçekleşirken, bu oran 2030 yılında %60 olması öngörülmektedir [56].

Çizelge 2.2 Türkiye' de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerji üretimi (Btep)
[60]

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

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

yılına kadar uzanan planlama ve projeksiyonlarında modern biyokütleyle hiç yer verilmemektedir [6].

2.3 Biyodizel

2.3.1 Biyodizelin Tanımı

Biyodizel kavramı, Rudolf Diesel' in 1895' de dizel motorda ilk olarak fındık yağını yakıt olarak kullanmasına kadar dayanmaktadır [61].

Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanmaktadır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda kullanılabilir [62].

Karaosmanoğlu' na göre biyokütle kökenli, en önemli dizel motoru alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel; bitkisel (Kanola, soya, fındık, ayçiçeği, pamuk, mısır v.b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır.

2.3.2 Biyodizelin Özellikleri

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

Biyodizel, petrol kaynaklı dizel yakıtı ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir ve bu özellik, petrol kaynaklı dizel yakıtının kalitesini

yükseltmektedir. Yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini azaltır, motordaki yağlanma derecesini artırır ve motor gücünü azaltan birikintileri çözer. Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizel yakıttan ayırmaktadır [7].

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

Çizelge 2.3' de çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları görülmektedir. Biyodizelin setan sayısı, kullanılan bitkisel yağlara bağlı olarak 46-60 arasındadır. Hayvansal yağlar ve restoranlardan alınan kızarmış yağlar gibi doymuş yağlardan elde edilen biyodizelin setan sayısı, soya yağı gibi az doymuş yağlardan yapılan biyodizelin setan sayısından daha yüksektir [63].

Dizel yakıtının silindire püskürtülmesi ile ilk alev çekirdeğinin oluşması arasındaki tutuşma gecikmesi olarak tarif edilen zaman, yüksek setan sayısına sahip yakıtlarda daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtının setan sayısından daha yüksek olduğu için tutuşma gecikmesi daha da kısalmakta ve motor daha az vurutulu çalışmaktadır [64].

Çizelge 2.3 Çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları

| | Isıl değer [MJ/kg] | Setan sayısı |
|---------------------------|--------------------|--------------|
| Soya yağı metil esteri | 39,8 | 46,2 |
| Soya yağı etil esteri | 40,0 | 48,2 |
| Soya yağı butil esteri | 40,7 | 51,7 |
| Ayçiçek yağı metil esteri | 39,8 | 47,0 |
| Yer fıstığı metil esteri | - | 54,0 |
| Kanola yağı metil esteri | 40,1 | - |
| Kanola yağı etil esteri | 41,4 | - |
| Dizel No. 2 | 45,3 | 47,0 |

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

Çizelge 2.4' de dizel yakıtı ile biyodizelin yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge 2.4. incelendiğinde her iki yakıt arasında büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir [65].

Çizelge 2.4 Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri [65]

| Yakıt özellikleri | Birim | Sınır değeri Min-Max | Biyodizel | Dizel |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Kapalı formül | | | $C_{19}H_{35,2}O_2$ | $C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$ |
| Molekül ağırlığı | g/mol | | 296 | 120-320 |
| Alt ısı değeri | Mj/kg | | 37,1 | 42,7 |
| Kütlesel Hacimsel | Mj/L | | 32,6 | 35,5 |
| Özgül ağırlığı 15°C | kg/L | 0,875-0,900 | 0,87-0,88 | 0,82-0,86 |
| Kinematik viskozite [40°C] | mm ² /s | 2-4,5 | 4,3 | 2,5-3,5 |
| Tutuşma noktası | °C | 55 - ... | >100 | >55 |
| Kükürt içeriği | % Kütlesel | ... - 0,05 | <0,01 | <0,05 |
| Tutuşma katsayısı | Setan Sayısı | 49 - ... | >55 | 49-55 |
| Kül | % Kütlesel | ... - 0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Su miktarı | mg/kg | ... - 200 | <300 | <200 |

2.4 Bitkisel Yağlar

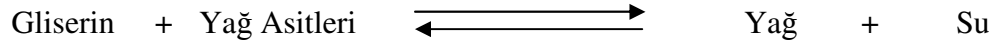
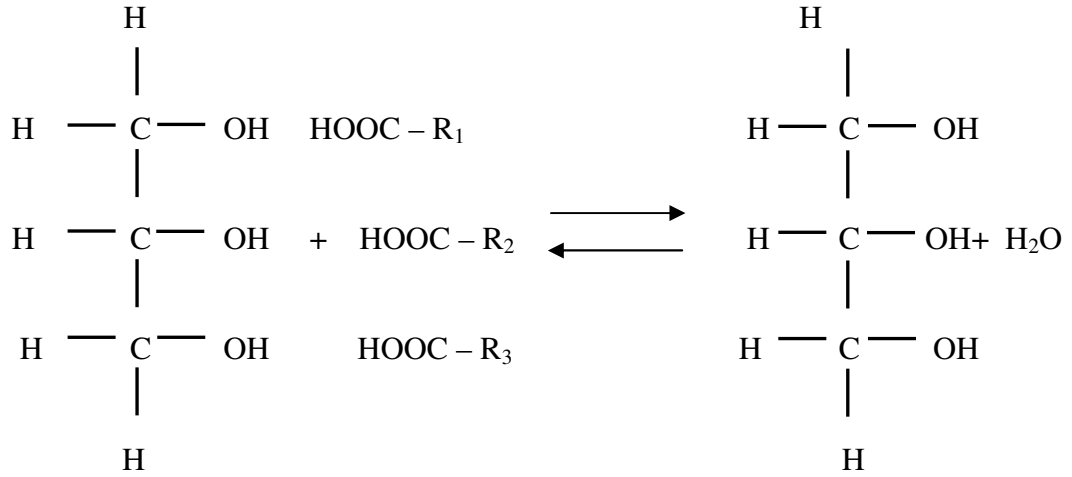
2.4.1 Bitkisel Yağların Yapısı

Yağlar organik bileşiklerin bir grubunu teşkil ederler. Karbonhidratlarda olduğu gibi yağların kimyasal yapılarına karbon, hidrojen, oksijen elementleri katılmaktadır. Katı ve sıvı yağlar, yağ asitleri ve gliserolün hakim olduğu triesterlerdir. Bu bileşikler suda çözünmediği halde pek çok organik çözücünde çözünürler ve sudan daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Normal oda sıcaklığında sıvıdan katıya kadar değişen bir erime aralığında bulunabilirler. Oda sıcaklığında katı formda iseler katı yağlar (fats), sıvı formda iseler sıvı yağlar (oils) olarak tanımlanırlar. Yağların katılık veya sıvılık durumu yağların fiziksel özelliğiyle ilgilidir [58].

Lipid terimi kimyasal maddelerin farklı gruplarını kapsamaktadır. Lipidler, 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 [2].

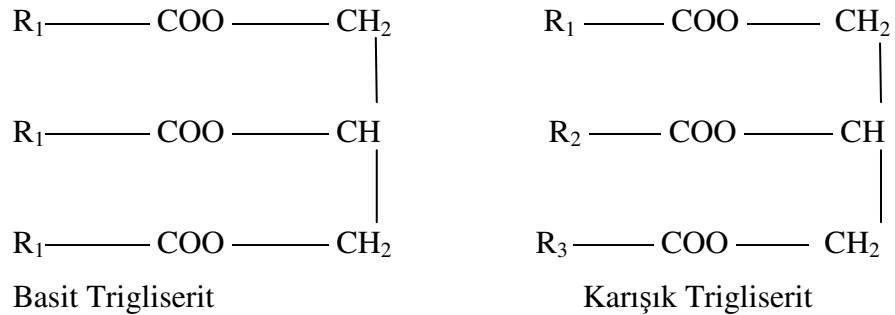
Lipidler, yüksek yağ asitlerini, bunların oluşturduğu doğal bileşikleri ve bunlarla kimyasal olarak bağlanan maddeleri kapsayan doğal bir madde grubudur. Suda çözünmezler. Ancak eter, benzen, kloroform gibi organik çözücülerde çözünürler. Yağ asitlerinin esteridirler veya esterleşebilirler. Canlı organizmalar tarafından kullanılabilirler. Lipidler önemli depo yakıt maddeleridir. Isıl değeri 9 kCal/g' dır. Karbonhidratlar için bu değer 4.5 kCal/g' dır [66].

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 yada 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

2.4.2 Yağ Asitleri

Yağ asitleri genel olarak çift karbon sayılı, cis konfigürasyonda, dallanmamış ve düz zincirli (asiklik) monokarboksilik asitlerdir. Az olmakla birlikte doğada trans konfigürasyonda (elaidik asit), tek karbon sayılı (propiyonik asit, valerik asit gibi) ve dallanmış yağ asitleri (tüberkülostearik asit veya laktobasillik asit metil grubu ile dallanma gösteren doymuş yağ asitleridir) ile siklik yağ asitleri (hidnokarpik asit ve şolmugrik asit) de bulunmaktadır.

Yağ asitlerindeki karbon sayısı 2-34 arasında değişmektedir. Yağ asidi molekülünde karbon sayısı 6 dan az ise kısa, 6-10 arasında ise orta ve 12 ila daha fazla ise uzun zincirli yağ asidi olarak tekrar bir alt gruplandırma oluşturulabilir. Yağ asitleri doğal sıvı ve katı yağlar içerisinde esterler halinde bulunurlar [66].

Bir yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri yağı oluşturan yağ asitlerinin cinsine bağlıdır. Yağ asitleri $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ genel formülü ile gösterilir. Yağ asitleri, hidrokarbon zincirdeki bağlara göre iki grupta incelenir.

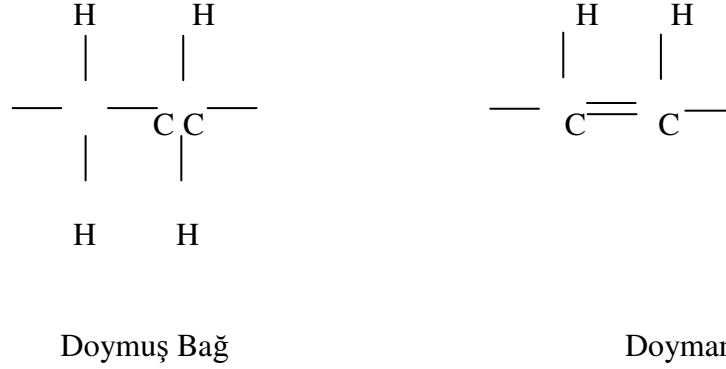
2.4.2.1 Doymuş Yağ Asitleri

Karbon-karbon (-C-C) bağları tek bağdan oluşan yağ asitleri, doymuş yağ asitleri olarak isimlendirilir. Genel formülleri R-COOH'dır. Burada R hidrokarbon zincirini gösterir. Bitkisel yağlarda doymuş yağ asitlerinden, stearik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$) ve palmitik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$) bulunur. Doymuş yağ asitlerinin erime ve kaynama noktaları zincir uzunluğu arttıkça artmaktadır [2].

2.4.2.2 Doymamış Yağ Asitleri

Doymamış yağ asitleri molekülde bir veya daha çok sayıda çift bağ ile gösterilirler. Zincir formunda dallanmamış mono karboksilli asitlerin içinde alken

asitleri grubuna dahildirler. Şekil 2.3' de doymuş ve doymamış yağ asitlerinin yapıları görülmektedir [2].



Şekil 2.3 Doymuş ve doymamış yağ asitleri

Doymamış bağların sayısı bir veya daha fazla olabilir ve doymamış yağ asitleri doymuş hale getirilebilir. Doymamış yağ asitleri kolaylıkla okside olabilirler. Özellikle çift bağın sayısının artması oksidasyonu kolaylaştırmaktadır. Metaller, ısı, ışık vb. oksidasyonu hızlandırmaktadır [66].

Yağ asitleri bir çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış veya monoenoik olarak isimlendirilir. Birden fazla çift bağ içeren yağ asitlerine çoklu doymamış veya polienoleik ismi verilir [6].

Hayvansal ve bitkisel yağlarda en çok bulunan başlıca doymuş ve doymamış yağ asitleri Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6' da görülmektedir [66].

Çizelge 2.5 Başlıca doymuş yağ asitleri

| | | |
|-----------------|-------------------|-------------------------|
| Asetik asit | $C_2H_4O_2$ | $CH_3 COOH$ |
| Propiyonik asit | $C_3H_6O_2$ | $CH_3 CH_2 COOH$ |
| Bütirik asit | $C_4H_8O_2$ | $CH_3 [CH_2]_2 COOH$ |
| Kaproik asit | $C_6H_{12}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_4 COOH$ |
| Kaprilik asit | $C_8H_{16}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_6 COOH$ |
| Kaprik asit | $C_{10}H_{20}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_8 COOH$ |
| Laurik asit | $C_{12}H_{24}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{10} COOH$ |
| Miristik asit | $C_{14}H_{28}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{12} COOH$ |
| Palmitik asit | $C_{16}H_{32}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{14} COOH$ |
| Stearik asit | $C_{18}H_{36}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{16} COOH$ |
| Araşidik asit | $C_{20}H_{40}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{18} COOH$ |
| Behenik asit | $C_{22}H_{44}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{20} COOH$ |
| Lignoserik asit | $C_{24}H_{48}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{22} COOH$ |
| Serotik asit | $C_{26}H_{52}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{24} COOH$ |
| Montanik asit | $C_{28}H_{56}O_2$ | $CH_3 [CH_2]_{26} COOH$ |

Bunlardan en basit doymuş yağ asidi 2 karbona sahip asetik asittir. 2, 3 ve 4 karbonlu yağ asitleri olan asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit' e uçucu yağ asitleri denir ve bunların ruminant metabolizmasında önemleri büyüktür. Palmitik ve stearik asitler hayvansal lipidlerde en çok bulunan yağ asitleridir.

Çizelge 2.6 Başlıca doymamış yağ asitleri

| | | |
|---------------------|-------------------|--|
| Palmitoleik asit | $C_{16}H_{30}O_2$ | $CH_3[CH_2]_5 CH = CH[CH_2]_7 COOH$ |
| Oleik asit | $C_{18}H_{34}O_2$ | $CH_3[CH_2]_7 CH = CH[CH_2]_7 COOH$ |
| Linoleik asit | $C_{18}H_{32}O_2$ | $CH_3[CH_2]_4 CH = CHCH_2CH = CH[CH_2]_7 COOH$ |
| Alfa-Linolenik asit | $C_{18}H_{30}O_2$ | $CH_3CH_2CH = CHCH_2CH = CHCH_2CH = CH[CH_2]_7 COOH$ |
| Araşidonik asit | $C_{20}H_{32}O_2$ | $CH_3[CH_2]_4 CH = CHCH_2CH = CHCH_2CH = CHCH_2CH = CH[CH_2]_3 COOH$ |

2.4.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri

Yağ asitlerinin hem fiziksel hem de fizyolojik özellikleri, karbon zincirinin uzunluğuna ve moleküldeki çift bağların sayısına (yağ asidinin doymamışlık derecesine) bağlıdır.

Karbon sayısı düşük olan (10' a kadar) yağ asitleri düşük sıcaklıkta sıvı ve uçucudur. Daha fazla sayıda karbona sahip olanlar (12:0 ve daha büyük zincirli doymuş yağ asitleri) vücut sıcaklığında katıdır. Bunların erime noktaları molekül ağırlığının artması ile yükselir.

Bilinen bütün doymamış yağ asitleri oda ısısında sıvıdır. Çift bağ sayısı arttıkça daha düşük derecelerde de sıvı kalabilirler. Örnek olarak 18:2 doymamış yağ asitleri 0 °C' de sıvıdır. Doymamış yağ asitleri taşıdıkları çift bağlar sayesinde yüksek reaksiyon yeteneğine sahiptir.

2-4 karbonlu yağ asitleri, asetik, propiyonik ve bütirik asitler her oranda su ile karışımlarına karşılık, karbon sayısı arttıkça suyla karışma yetenekleri azalır. Karbon sayısı 10' dan fazla olan doymuş yağ asitleri suda hiç erimezler.

Doğal olarak bulunan uzun zincirli doymamış yağ asitlerinin hemen hemen hepsi sis konfigürasyondadır (Açık zincirleri söz konusu çift bağın aynı tarafında ise bu bileşiğe sis denir. Birbirlerinin karşı tarafında iseler trans konfigürasyonda olur). Ancak, doymamış yağ asitlerinde çift bağın yerinin değişmesiyle izomerler türerse de daha çok görünen izomer şekli, çift bağın etrafındaki dizilişe bağlı olarak ortaya çıkan cis ve trans izomerlerdir. Örneğin oleik asidin erime noktası 13 °C ve cis şeklindedir. Oleik asit nitrit asitle mumamele edilirse trans şekli olan elaidik asit meydana gelir. Bunun ise erime noktası 45 °C' dir [66].

2.4.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri

2.4.4.1 Tuz Teşkili

Altı karbondan yüksek yağ asitlerinin metallerle yaptıkları tuzlara sabun denir. Sodyum ve potasyum sabunları suda erirler. Ancak diğer metallerin tuzları [sabunları] genellikle erimezler ve temizleyici değillerdir. Potasyum sabunları sodyum sabunlarından daha fazla yumuşaktır ve daha çabuk erirler. Doymamış yağ asitlerinin verdiği sabunlar doymuş olanlara oranla suda ve alkolde daha fazla erir. Alkali metal sabunları eter, benzol ve kloroformda erimezler.

Piyasada satılan sabunlar aynı yağ asitlerinin sodyum tuzlarıdır. Bunlarda suyun sertliğini gidermek için sodyum karbonat ve sodyum silikat vardır. Palmitik, stearik veya oleik asitin potasyum tuzları arap sabunu olarak bilinir. Uzun zincirli yağ asitlerinin kalsiyum sabunları motor yağı katkılarında bulunur.

Sabunların asit ortamda bozulmaları ve sert sularda çözünmeyen toprak alkali sabunlarına dönüşmeleri kullanımda sakıncalar doğurduğundan, deterjan adı verilen temizleyiciler geliştirilmiştir. Deterjanlarda yağ asitlerinin tuzlarıdır. Bütün deterjanlar nötr, katyonik veya sabunlarda olduğu üzere anyonik olabilen hidrofilik bir grupla birlikte hidrofobik hidrokarbon yapısına sahiptir [58].

2.4.4.2 Ester Teşkili

Yağ asitlerinin karboksil grupları alkolle geri dönüşebilecek şekilde esterleşebilir. Esterleşme kendiliğinden yavaş, fakat ısı veya hidrojen iyonu varlığında hızlı olur.

2.4.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar

Doymamış yağ asitlerinin yapısında yer alan etilen bağı (-CH=CH-) kolaylıkla hidrojenle ya da halojenlerle doyurulabilir. Doymamış yağ asidi doymuş hale geçer. Ya da çift bağ oksidasyonla açılarak yeni ürünler oluşabilir. Oleik asitten pelargonik asit ve azelaik asitlerin oluşması buna örnek olarak verilebilir.

Oleik asit oksitleyici olarak potasyum permanganat (KMnO₄) kullanıldığında ve düşük ısıda, çift bağına 2 OH grubu eklenerek dihidroksi stearik aside dönüşür. Oksidasyon ilerler ve ısı yükseltirse molekül daha çok oksitlenir. Bunun sonucunda dihidroksi stearik asit bir molekül su kaybeder ve çift bağın olduğu yerden parçalanır. Bunlar azelaik asit ve pelargonik asitlerdir.

Doymamış yağ asitlerinin moleküler oksijenle oksitlenmeleri ve çift bağlara O₂ girmesi ile çeşitli gruplar ortaya çıkar. Otoksidasyon veya acılaşıma olarak bilinen bu olayda oluşan ve yağda istenmeyen tad, görünüm ve koku oluşturan bileşikler peroksit, epoksit, ketohidroksit gibi gruplardır. Bu grupların özellikle yüksek ısılarda parçalanmaları ile çoğunlukla asit ve aldehitlerden oluşan değişik ürünler oluşur.

2.4.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları

Hava, çevre ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili günümüz dünyasında gündemi oluşturan konulardır. Dünyada bir çok ülke çevre dostu ürünlerin kullanımını için yasalar çıkartmaktadır. Örneğin Federal Almanya, bölgesel düzenlemeler ile ormancılık sektöründe hızlı biyolojik ayrışabilir yağ kullanmayan ekipmanın kullanımını yasaklamıştır. Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşır. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkanı her an mevcuttur [61].

2.4.5.1 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 ısı değer bakımından fazla bir fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtından yaklaşık 10 – 20 kat fazladır. Cazip olan yönü ise motorda minimum değişiklik ile kullanılabilmesidir [28].

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 2.7’de bu yağların kinematik viskozite (KV), setan sayısı (SS), üst ısı değeri (H_o), kül (K), kükürt içeriği (S), iyot değeri (ID) ve sabunlaşma değeri (SD) gibi özellikleri görülmektedir [61].

Çizelge 2.7 Dizel motorlarda kullanılan bitkisel yağların özellikleri

| Yağ | KV[mm ² /s] 38 °C | SS | H ₀ [Mj/kg] | K % Kütlesel | S % [Kütlesel] | ID [cg.l/g yağ] | SD [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 karbon ve hidrojen değerleri dizel yakıtına yakın, oksijen değerleri ise daha yüksektir. Isıl değerleri ise dizel yakıtından yaklaşık %10-15 daha düşüktür. Çizelge 2.8' de bazı bitkisel yağların, gaz likit kromatografi ile tespit edilen yağ asitleri kompozisyonu görülmektedir [67].

Çizelge 2.8 Bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları

| Yağ Asitleri | Yağ Asitleri | Aspir Yağı | Ayçiçek Yağı | Babassu yağı | Fındık Yağı | Hindistan cevizi yağı | Kolza yağı düşük erusik |
|------------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------------------|
| Kaproik asit | C6:0 | TED | TED | TED | TED | TED-0.7 | TED |
| Kaprilik asit | C8:0 | TED | TED | 2.6-7.3 | TED | 4.6-10.0 | TED |
| Kaprik asit | C10:0 | TED | TED | 1.2-7.6 | TED | 5.0-8.0 | TED |
| Laurik asit | C12:0 | TED | TED-0.1 | 40.0-55.0 | TED | 45.1-53.2 | TED |
| Miristik asit | C14:0 | TED-0.2 | TED-0.2 | 11.0-27.0 | TED-0.1 | 16.8-21.0 | TED-0.2 |
| Palmitik asit | C16:0 | 5.3-8.0 | 5.0-7.6 | 5.2-11.0 | 4.32-8.89 | 7.5-10.2 | 2.5-7.0 |
| Palmitoleik asit | C16:1 | TED-0.1 | TED-0.3 | TED | TED-1.15 | TED | TED-0.6 |
| Margarik asit | C17:0 | TED-0.2 | TED-0.2 | TED | TED | TED | TED-0.3 |
| Stearik asit | C18:0 | TED-0.1 | 2.7-6.5 | 1.8-7.4 | TED-2.67 | 2.0-4.0 | 0.8-3.0 |
| Oleik asit | C18:1 | 1.9-2.9 | 14.0-39.4 | 9.0-20.0 | 71.0-91.0 | 5.0-10.0 | 51.0-70.0 |
| Linoleik asit | C18:2 | 8.4-21.3 | 48.3-74.0 | 1.4-6.6 | 5.7-22.2 | 1.0-2.5 | 15.0-30.0 |
| Linolenik asit | C18:3 | 67.8-83.2 | TED-0.3 | TED | TED-0.2 | TED-0.2 | 5.0-14.0 |
| Araşidik asit | C20:0 | TED-0.1 | 0.1-0.5 | TED | TED-0.1 | TED-0.2 | 0.2-1.2 |
| Ekosenoik asit | C20:1 | 0.2-0.4 | TED-0.3 | TED | TED-0.2 | TED-0.2 | 0.1-4.3 |
| Behenik asit | C22:0 | TED-1.0 | 0.5-1.1 | TED | TED-0.1 | TED | TED-0.6 |
| Erusik asit | C22:1 | TED-1.8 | TED-0.3 | TED | TED-0.1 | TED | TED-2.0 |
| Lignoserik asit | C24:0 | TED-0.2 | TED-0.5 | TED | TED | TED | TED-0.3 |

Çizelge 2.8 (Devamı) Bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları

| Yağ Asitleri | Yağ Asitleri | Mısır Yağı | Palm Yağı | Palm Çekirdeği | Pamuk Yağı | Soya Yağı | Susam Yağı | Üzüm Yağı | Yerfıstığı Yağı |
|--------------------|--------------|------------|-----------|----------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------------|
| Kaproik asit | C6:0 | TED | TED | TED-0.8 | TED | TED | TED | TED | TED |
| Kaprilik asit | C8:0 | TED | TED | 2.4-6.2 | TED | TED | TED | TED | TED |
| Kaprik asit | C10:0 | TED | TED | 2.6-5.0 | TED | TED | TED | TED | TED |
| Laurik asit | C12:0 | TED-0.3 | TED-0.5 | 45.0-55.0 | TED-0.2 | TED-0.1 | TED | TED | TED-0.1 |
| Miristik asit | C14:0 | TED-0.3 | 0.5-2.0 | 14.0-18.0 | 0.6-1.0 | TED-0.2 | TED-0.1 | TED-0.3 | TED-0.1 |
| Palmitik asit | C16:0 | 8.6-16.5 | 39.3-47.5 | 6.5-10.0 | 21.4-26.4 | 8.0-13.5 | 7.9-10.2 | 5.5-11.0 | 8.0-14.0 |
| Palmitoleik asit | C16:1 | TED-0.5 | TED-0.6 | TED-0.2 | TED-1.2 | TED-0.2 | 0.1-0.2 | TED-1.2 | TED-0.2 |
| Margarik asit | C17:0 | TED-0.1 | TED-0.2 | TED | TED-0.1 | TED-0.1 | TED-0.2 | TED-0.2 | TED-0.1 |
| Heptadesenoik asit | C17:1 | TED-0.1 | TED | TED | TED-0.1 | TED-0.1 | TED-0.1 | TED-0.1 | TED-0.1 |
| Stearik asit | C18:0 | TED-3.3 | 3.5-6.0 | 1.0-3.0 | 2.1-3.3 | 2.0-5.4 | 4.8-6.1 | 3.0-6.5 | 1.0-4.5 |
| Oleik asit | C18:1 | 20.0-42.2 | 36.0-44.0 | 12.0-19.0 | 14.7-21.7 | 17.0-30.0 | 35.9-42.3 | 12.0-28.0 | 35.0-69.0 |
| Linoleik asit | C18:2 | 34.0-65.6 | 9.0-12.0 | 1.0-3.5 | 46.7-58.2 | 48.0-59.0 | 41.5-47.9 | 58.0-78.0 | 12.0-43.0 |
| Linolenik asit | C18:3 | TED-2.0 | TED-0.5 | TED-0.2 | TED-0.4 | 4.5-11.0 | 0.3-0.4 | TED-1.0 | TED-0.3 |
| Araşidik asit | C20:0 | 0.3-1.0 | TED-1.0 | TED-0.2 | 0.2-0.5 | 0.1-0.6 | 0.3-0.6 | TED-1.0 | 1.0-2.0 |
| Ekosenoik asit | C20:1 | 0.2-0.6 | TED-0.4 | TED-0.2 | TED-0.1 | TED-0.5 | TED-0.3 | TED-0.3 | 0.7-1.7 |
| Erusik asit | C22:1 | TED-0.3 | TED | TED | TED-0.3 | TED-0.3 | TED | TED-0.3 | TED-0.3 |
| Lignoserik asit | C24:0 | TED-0.5 | TED | TED | TED-0.1 | TED-0.5 | TED-0.3 | TED-0.4 | 0.5-2.5 |
| Nervonik asit | C24:1 | TED | TED | TED | TED" | TED | TED | TED | TED-0.3 |

TED : Tesbit edilemeyen değer

Araştırmalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı [oleik] yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkartmaktadır [61].

2.4.5.1.1 Bitkisel Yağların Isıl Değeri

Bitkisel yağların ısıl değerleri, hidrokarbonlarının çift bağ sayısı ve zincir uzunluğuna da bağlıdır. Aralarındaki bağıntı; çift bağ sayısı arttıa ısıl değer azalmakta, zincir uzunluğu arttıa ısıl değer artmaktadır. Burada ısıl değerin artışı karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayılarına oranına bağlıdır [20].

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

2.4.5.1.2 Bitkisel Yağların Viskozitesi

Bitkisel yağlarda viskozite, ısıl değerin tersi olacak şekilde çift baę sayısı arttıa viskozite dūřmektedir. Bununla birlikte zincir uzunluğu arttıa viskozite artmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesi motor üzerinde oldukça önemli bir konudur. Çünkü bitkisel yağların viskoziteleri genelde yüksek olduğu için püskürtme ile birlikte iri tanecikler silindirin içine gönderilir. İri zerrecikler nedeni ile yakıtın parçalanması zorlaşır. Çünkü yüksek viskozite basınç artışına ve yakıtın iyi atomize olamamasına neden olur. Benzer şekilde viskozitenin dūřük olması kaçaklara sebep olmaktadır [2].

2.4.5.1.3 Bitkisel Yağların Setan Sayısı

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

Bitkisel yağların setan sayısı ASTM metodlarına göre 32-42 arasında değişmektedir. Yağlar modifiye teknikleri ile dizel yakıtına dönüştürülmesi sonucunda setan sayısı artmaktadır [2].

2.4.5.1.4 Bitkisel Yağların Yoğunluğu

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

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

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında ön yanma odalı motorlar direk püskürtmeli motorlara göre daha etkili olmaktadır. Bunun sebebi ön yanma odalı motorların yakıt kalitesine daha az bağımlı olmasıdır.

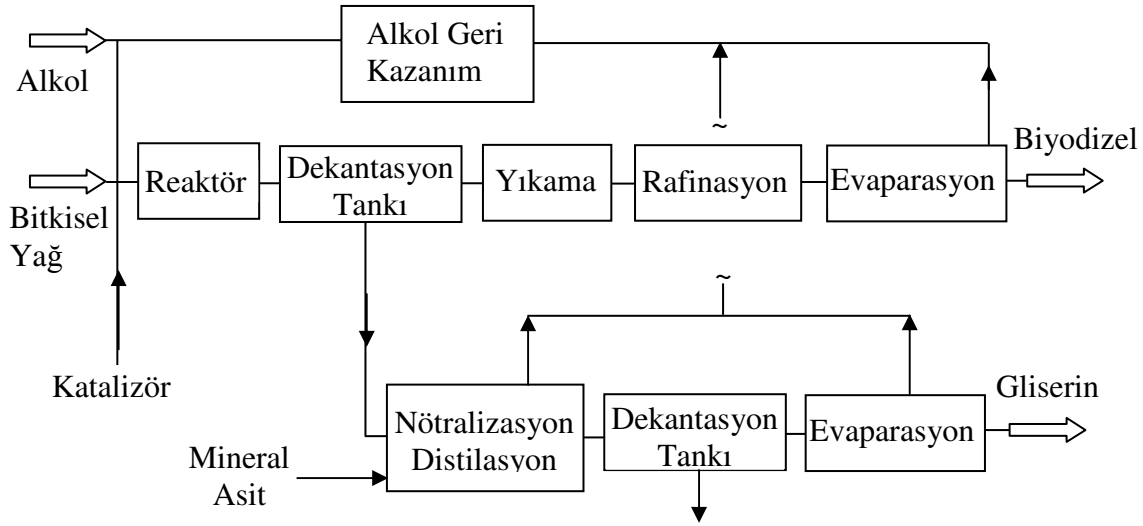
Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksektir. Yapılan çalışmaların büyük kısmı bu yüksek viskozitenin çeşitli yöntemlerle azaltılması yönünde olmaktadır.

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

Bitkisel yağlar dizel motorlarında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılmaya müsaittir. Motor test çalışma sonuçları arasında bazı ayrılıklar bulunmakla beraber, ester yakıtların motorine eşdeğer veya farklı motor karakteristikleri ve egzoz emisyonları gösterebilecekleri de belirtilmiştir. Ancak genel sonuç olarak bitkisel yağların çevre dostu ve mevcut en iyi motorin alternatifi olduğu şeklindedir. Dizel yakıtına göre düşük karbon içerikli ester yakıtlar, kül oluşumunu azaltarak, % 0,005' den düşük kükürt içeriği ile SO₂ 'den kaynaklanan kirliliği hemen hemen ortadan kaldırmakta, fotosentez çevrimi gereği sera etkisini azaltmakta, özellikle partikül emisyonlarında olmak üzere CO, HC, NO_x emisyonlarında olumlu düşüşlere neden olmaktadır. Ayrıca bitkisel yağlar zehirli olmayan ve doğada biyolojik olarak kolayca ayrışabilen maddelerdir [61].

2.4.5.2 Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler [sodyum veya potasyum hidroksit] tercih edilmektedir. Şekil 2.4' te biyodizel üretimi şematik olarak görülmektedir. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşamasının önem kazandığı ve biyodizelin %99 değeri üzerinde saf üretilmesi gerektiği belirtilmektedir [7].



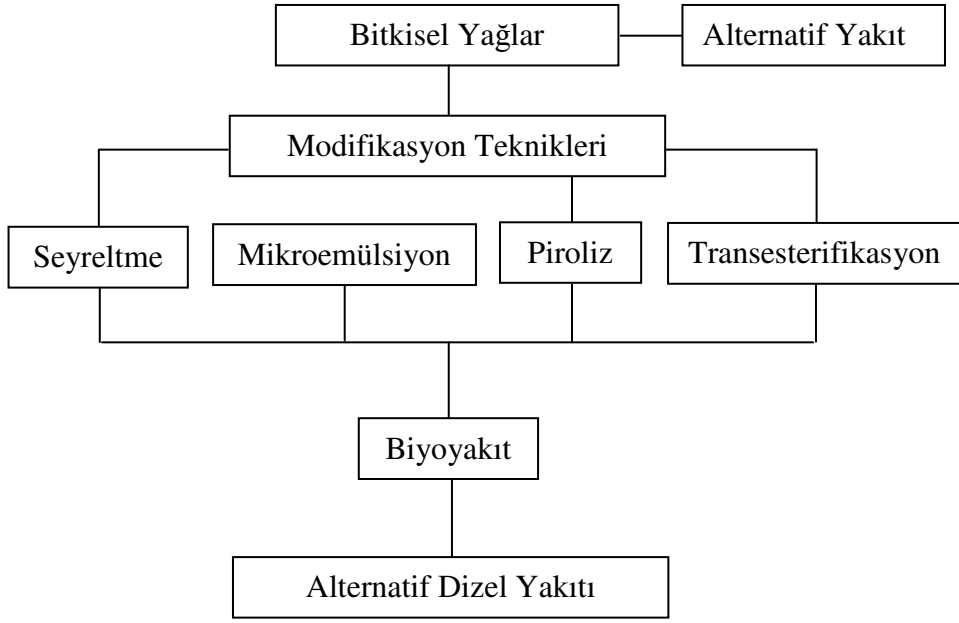
Şekil 2.4 Biyodizel üretimi [7]

2.4.5.3 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

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

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitesinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemler; seyreltme, mikroemülsiyon, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleri olmak üzere dörde ayrılmaktadır [65].

Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler Şekil 2.5’ te şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.5 Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler

2.4.5.4 Bitkisel Yağların Doğrudan Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı

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

- Enjektörlerde karbon birikintisi, delik çapında küçülme, püskürtme karakteristiğinde bozulma, atomizasyon sorunu, enjeksiyon başlangıç ve bitiş sürelerinin belirsizliği, yağın yapışkanlaşma oluşturması.
- Yağlama yağının, seyrelmesi, asitlik artışı, viskozite artması, bozunması, yanma artıkları, yanmamış yakıt karışması ile kirlenmesi, katı madde içeriğinin artışı, temas yüzeylerinde birikinti oluşturması.
- Motorda aşınma, yanma odası, supap, piston ve manifoldda karbon birikimi, segman bölgesindeki karbon birikimi nedeni ile hareketliliğin azalması, segmanlarda yapışkanlaşma, vuruntu, ilk hareket zorlukları, yağ filtrelerinde tıkanma.
- Motor karakteristik değerlerinde ve egzoz gazı bileşiminde olumsuz değişiklikler [38]

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

Yüksek viskoziteyi azaltmak için bitkisel yağlar ısıtılabilir. Isıtma işlemi ön ısıtma ve son ısıtma olarak yapılabilmektedir. Ön ısıtmada filtre girişinden önce motorun soğutma suyu (80 – 95 °C) veya ayrı bir ısıtıcı ile ısıtma yapılır. Bu, filtrelerin tıkanmasını azaltıcı bir etki göstermektedir. Ayrıca akıcılığı da arttırıp viskoziteyi düşürür. Benzer şekilde, filtre çıkışında egzoz gazı (100 °C üzerinde) ile ısıtma yapılabilir [68].

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

2.4.5.5 Seyreltme Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Genel olarak seyreltme modifikasyon tekniği uygulamasında, bitkisel yağlara belli oranlarda dizel yakıt ve/veya organik bileşikler katılarak, yağın viskozitesi düşürülmektedir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan B20 yakıtı, dizel yakıtı içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen yakıtın, dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir [65].

Dizel yakıt dışında başka seyreltme maddesi olarak, ayçiçek yağının viskozitesini azaltmak amacıyla, yağ normal bütanol, aseton ve etanolle çeşitli hacim oranlarında karıştırılmıştır. Motor testleri sonucunda, karışımların dizel yakıt ile benzer motor performansına sahip oldukları görülmüştür [2].

Ziejewski ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, hacim olarak %25 ayçiçek - %75 dizel yakıtından oluşan karışımın 40 °C' deki viskozitesi 4.88 mm²/s olarak bulunmuştur. ASTM standartlarında dizel yakıtı için belirlenen üst sınır değeri, 40 °C' de 4.0 mm²/s' dir. Bu nedenle hacim olarak %25 ayçiçek yağı - %75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı belirlenmiştir [20].

%75 dizel yakıtı - %25 yüksek oleik asitli aspir yağı karışımının viskozitesi ise 40 °C' de 4.92 mm²/s olarak tespit edilmiştir. Bu karışımın 200 saatlik EMA [Motor Üreticileri Birliği] testinde başarılı olduğu belirtilmiştir. Aspir yağının daha az doymamış yağ asitleri içermesi bu karışımı, ayçiçek yağıyla oluşturulan karışımdan üstün kılmaktadır.

Bu yöndeki bir başka çalışmada kolza yağı ağırlıkça %10 oranında dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel yakıtı özelliklerinde önemli değişimlere yol açmadığı gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmalarından olumlu sonuç alınmış, ayrıca egzoz emisyonlarında bazı iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir [68].

2.4.5.6 Mikroemülsiyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir [68].

Mikroemülsiyon ile yapılan çalışmalarda, bitkisel yağdaki iyonik ve noniyonik mikroemülsiyonları dizel motorunda yakılmak suretiyle incelemiş ve noniyonik mikroemülsiyonda yüzey aktif madde olarak 1-butanol, iyonik mikroemülsiyonda ise İbutanol, linoleik asit ve trietilamin kullanılarak yapılan kısa süreli motor testleri sonucunda noniyonik mikroemülsiyonun performans olarak dizel yakıtına çok yakın güç elde edildiği ve düşük özgül yakıt tüketimine sahip olduğu ölçülmüştür. Bu sonuçlarda dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılabileceğini göstermektedir [2].

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi ile hazırlanan yakıtların ısı değerleri, alkol içermeleri nedeni ile dizel yakıtına oranla daha düşüktür, bu da güçte bir miktar düşmeye neden olmaktadır. Öte yandan, alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma odasının bir miktar soğumasına, bu da enjektör uçlarında karbon birikimlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu yöntemle hazırlanan yakıtların özellikle dizel yakıtına alternatif olabilme niteliği gösterdiği, ancak uzun süreli motor testlerinin gerekli olduğu araştırmacılarca belirtilmektedir [2].

2.4.5.7 Piroliz Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Proliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağ ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci

yöntem ile yapılan çalışmada, soya yağından elde edilen distilatın saf bitkisel yağa göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir [69].

Piroliz, gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısı bozundurulması olarak da tanımlanır. Piroliz, aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Üretilen maddenin miktarı, uygulanan metot ve reaksiyon parametrelerine bağlıdır. Yüksek miktarda katı ürün elde etmek için, hammadde düşük sıcaklıklarda yavaş tepkimeye sokulmaktadır. Hızlı piroliz ise maksimum sıvı ürün elde etmek için uygulanmaktadır [2].

Piroliz işleminde sıvı ürün verimi reaksiyon hızına bağlıdır. Genellikle 450-650 °C gibi düşük sıcaklıklarda çok yüksek ısıtma hızları (1000-10000 °C/sn) ile kısa sürelerde gerçekleştirilen hızlı piroliz tekniğinde sıvı ürün verimi yüksektir.

Bu şekilde uygulanan piroliz işlemlerinde, oluşan büyük moleküllü sıvı ürünlerin gaz halindeki daha küçük moleküllere parçalanması engellenerek, sıvı ürün veriminin artması sağlanmaktadır [2].

Hızlı piroliz prosesleri daha düşük verime sahip geleneksel [yavaş] piroliz proseslerinin yerine yiyeceklere tat veren maddelerin üretimi, özel kimyasallar ve yakıtların üretimi için geliştirilmiştir. Çizelge 2.9' de piroliz yöntemleri, süreleri ve temel ürünler görülmektedir.

Çizelge 2.9 Piroliz yöntemleri, değişkenleri ve oluşan ürünler [7]

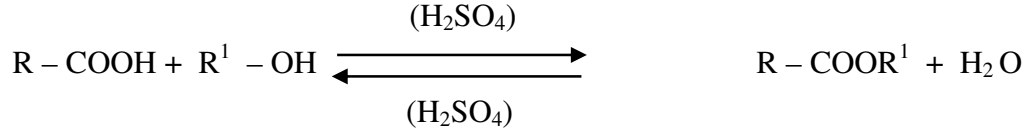
| Piroliz | Kalma süresi | Isıtma hızı | Maksimum sıcaklık °C | Temel ürün |
|---------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------|
| Karbonizasyon | Saat-Gün | Çok düşük | 400 | Kok kömürü |
| Basit | 5-30 dak | Düşük | 600 | Sıvı, kok, gaz |
| Hızlı | 0,5-5 sn | Oldukça yüksek | 650 | Sıvı yakıt |
| Flaş Sıvı | < 1 sn | Yüksek | <650 | Sıvı yakıt |
| Gaz | < 1 sn | Yüksek | <650 | Kimyasal, gaz yakıt |
| Ultra | <0,5 sn | Çok yüksek | 1000 | Kimyasal, gaz yakıt |
| Vakum | 2-30 sn | Orta | 400 | Sıvı yakıt |
| Hidropiroliz | < 10 sn | Yüksek | <500 | Sıvı yakıt, kimyasal |
| Metanopiroliz | < 10 sn | Yüksek | >700 | Kimyasallar |

2.4.5.8 Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılması

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol ve katalizörle gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Karboksilik asitler, asit katalizli bir reaksiyonla alkollerle ester verirler. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di-gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşmaktadır [69].

Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Örneğin; hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde ham hint yağının viskozitesinin 100 °F da 1100 Redwood-saniye iken, işlem sonrası aynı sıcaklıkta 74 Redwood-saniyeye düştüğü belirlenmiştir [61].

Transesterifikasyon tepkimesi aşağıdaki reaksiyon denklemine uygun olarak gerçekleşmektedir.



Soldan sağa olan y6n esterleşme sağdan sola olan y6n ise ester hidrolizidir. Ester reaksiyonlarında eğer reaksiyona giren miktarlar eşdeğer olarak alınırsa, reaksiyon dengeye eriştiğinde ortamda miktar olarak çok fazla karboksilik asit, alkol, ester ve su bulunur. Bu tip reaksiyonlarda ester verimini arttırmak için meydana gelen su ortamdaki uzaklaştırılabilmektedir. Bunun için katalist olarak kullanılan s6lf6rik asit fazla miktarda alınarak su çekme 6zelliğinden faydalanılmaktadır. Ayrıca diğer y6ntem olarak alkoller fiyatları d6ř6k olanlardan tercih edilerek fazla miktarda alınmak sureti ile ester verimi arttırılabilmektedir [2].

Çizelge 2.10' da bazı yağların metil esterlerinin yakıt 6zellikleri verilmiştir. Çizelge 2.10 irdelendiğinde yağların metil esterlerinin dizel yakıtının 6zelliklerine yaklaştığı ve esterlerin yakıt 6zellikleri açısından dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabileceği g6r6lmektedir.

Çizelge 2.10 Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri

| Bitkisel yağlar | Vizkozite [mm ² /s] | Setan sayısı | Isıl değeri [kJ/kg] | Dumanlanma noktası [°C] | Alevlenme noktası [°C] | Yoğunluk [kg/l] | Artıkları [% Ağırlık] | Kükürt [%Ağırlık] | Akma noktası [°C] |
|------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Hint yağı | 29,7 | ? | 37274 | - | 260 | 0,9537 | 0,22 | 0,01 | -31,7 |
| Mısır yağı | 34,9 | 37,6 | 39500 | -1,1 | 277 | 0,9095 | 0,24 | 0,01 | -40,0 |
| Pamuk yağı | 33,5 | 41,8 | 39468 | 1,7 | 234 | 0,9148 | 0,24 | 0,01 | -15,0 |
| Bezir yağı | 27,2 | 34,6 | 39307 | 1,7 | 241 | 0,9236 | 0,22 | 0,01 | -15,0 |
| Yer fıstığı yağı | 39,2 | 41,8 | 39782 | 12,8 | 271 | 0,9026 | 0,24 | 0,01 | -6,7 |
| Kolza | 37,0 | 37,6 | 39709 | -3,9 | 246 | 0,9115 | 0,30 | 0,01 | -31,7 |
| Aspir | 31,3 | 41,3 | 39519 | 18,3 | 260 | 0,9144 | 0,25 | 0,01 | -6,7 |
| Susam yağı | 35,5 | 40,2 | 39349 | -3,9 | 260 | 0,9133 | 0,25 | 0,01 | -9,4 |
| Soya yağı | 32,6 | 37,9 | 39623 | -3,9 | 254 | 0,9138 | 0,27 | 0,01 | -12,2 |
| Ayçiçek yağı | 33,9 | 37,1 | 39575 | 7,2 | 274 | 0,9161 | 0,23 | 0,01 | -15,0 |
| 2 Nolu dizel | 2,7 | 47 | 45343 | -15,0 | 52 | 0,8400 | <0,35 | <0,01 | -33,0 |

2.4.6 Biyodizelin Çevresel Etkileri

Sera gazları içinde büyük bir pay sahibi olan CO₂ dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır ve yanma sonucu ortaya çıkan bir emisyonudur. Yine yanma sonucu açığa çıkan ve sera gazları arasında yer alan CO, SO_x, NO_x emisyonları insan sağlığına da zararlıdır.

Biyodizel bitkilerden de elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO₂' yi dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biyodizel CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ayrıca CO, SO_x emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbon (HC) salınımının daha az olduğu belirlenmiştir.

Biyodizelin dizel yakıtına göre az veya fazla NO_x emisyonu oluşturduğu hakkında literatürde farklı görüşler belirtilmiştir. Ayrıca emisyon miktarı, motorun biyodizel yakıtına uygunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler, biyodizel kullanımında dizel yakıtına nazaran %50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri, biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır.

Biyodizel yakıtlarının yanması sonucu ortaya çıkan CO [zehirli gaz] oranı dizel yakıtların yanması sonucu oluşan CO oranında %50' ye varan azalmalar tespit edilmiştir.

Biyodizel, dizel yakıtı kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden bir çok çevresel faktörü ortadan kaldırmaktadır. Biyodizel emisyonlarında, potansiyel kanser nedeni olan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) ve türevlerinden kaynaklanan emisyonlarda %80-90 oranlarda azalmalar belirlenmiştir. Bu azalma değeri dikkate alınması gereken bir orandır ve biyodizelin çevre dostu özelliğini pekiştirmektedir [61].

Çizelge 2.11 incelendiğinde, biyodizelin egzoz emisyonlarını belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Dizel motorlarda herhangi bir problem oluşturmayan yanmamış hidrokarbonlar ve karbon monoksitte, biyodizel yakıtının kullanılmasıyla azalmaktadır.

Çizelge 2.11' de biyodizel kullanımıyla NO_x emisyonlarının arttığı da dikkat çekmektedir. NO_x emisyonlarının artmasının nedeni hala araştırılan güncel bir konudur fakat biyodizel yakıtının özelliklerine bağlı olarak yakıt püskürtme avansı değiştirilerek NO_x emisyonları azaltılabilmektedir [70].

Çizelge 2.11. Biyodizelle çalışan üç motorun emisyon değerleri

| Test motoru | Test yakıtı | Emisyon değerleri, g / hp-hr | | | |
|---------------|-------------|------------------------------|------|-----------------|-------|
| | | HC | CO | NO _x | PM |
| Cummins N-14 | B100 | 0,01 | 0,41 | 5,17 | 0,076 |
| Cummins N-14 | B20 | 0,19 | 0,64 | 4,76 | 0,102 |
| Cummins N-14 | 2-D | 0,23 | 0,75 | 4,57 | 0,106 |
| DDC Series 50 | B100 | 0,01 | 0,92 | 5,01 | 0,052 |
| DDC Series 50 | B20 | 0,06 | 1,38 | 4,66 | 0,088 |
| DDC Series 50 | 2-D | 0,06 | 1,49 | 4,50 | 0,102 |
| Cummins B5,9 | B100 | 0,08 | 1,27 | 4,90 | 0,081 |
| Cummins B5,9 | B20 | 0,21 | 1,61 | 4,79 | 0,109 |
| Cummins B5,9 | 2-D | 0,31 | 2,05 | 4,70 | 0,128 |

Buna rağmen, biyodizelin NO_x emisyonlarını azalttığı yönünde de değişik görüşler bulunmaktadır. Puhan et.al [2004], biyodizelin NO_x emisyonunu %12 azalttığını belirtmektedir.

Ayrıca, biyodizelin sudaki canlılara karşı herhangi bir toksik etkisinin olmadığı belirtilmektedir. Buna karşılık 1 litre ham petrolün 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine neden olabildiği bilinmektedir [71].

2.4.7 Dünyada Biyodizel Uygulamaları

Avusturya, biyodizel uygulamasında önder ülkelerden biridir. 2000 yılında Avusturya'da 31000 ton/yıl üretim, biri pilot ölçekte olan 7 ticari tesiste yapılmakta ve en büyük üretici firma yılda 22000 ton kapasite ile çalışmaktadır. Biyodizel kolza yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarından elde edilmektedir. Dizel motorunda %100 oranında biyodizel kullanımı durumunda %95 vergi indirimi yapılmaktadır. Mart 2000' e dek biyodizel 0,465-0,87 ECU arasında fiyat ile satılmıştır.

Fransa özellikle biyodizelin çevre dostu niteliğini ön plana çıkarmakta, kolza yağından üretim yapılmakta ve 32 üye şehri olan "Club de Ville" adlı biyodizel şehirler arası ağı ile toplu taşıma otobüslerinde biyodizel ve biyodizel/dizel yakıt karışımları vergi indirimi desteği ile kullanılmaktadır. Rouen firması 1999/2000 sezonunda 180000 ton biyodizel üretmiştir. Biyodizelin satış fiyatı 0,3 ECU (2 FF) olup, bu fiyatın 2005 yılında 1 FF değerine indirilmesi planlanmaktadır.

İtalya' da 11 adet firmada, 125000 ton/yıl biyodizel üretimi ayçiçek ve kolza yağından yapılmaktadır. Biyodizel daha çok otobüslerde vergi indirimi ile kullanılmaktadır.

Polonya' da 1991 yılından itibaren Aviation Enstitüsü, Varşova' da kolza tohumlarından metil ester elde etmek için çalışma ve testler devam etmektedir. 7 ayrı akaryakıt istasyonunda %5 biyodizel karışımı dizel yakıtı satılmaktadır.

Biyodizel kullanımını teşvik etmek amacıyla 2002 temmuz ve ağustos aylarında Amerikanın Kentucky ve Ohio bölgelerinde 280 otobüs, 50000 galonluk %20 biyodizel katkıyla 4000000 km yol kat etmiştir [59].

Biyodizel Batı Avrupa' da 44 tesiste (İtalya 11 tesis ile lider), Doğu Avrupa' da 29 tesiste (Çek Cumhuriyeti 16 tesis ile lider), Kuzey Amerika'da 8 tesiste, diğer ülkelerde 4 tesiste üretilmektedir. Avrupa ülkelerinin biyodizel üretimi Çizelge 2.12' de görülmektedir.

Çizelge 2.12 Avrupa ülkelerinin biyodizel üretimi (x1000 Ton)[72]

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| Avusturya | 20 | 31 | 40 | 49 | 57 |
| Çek Cumhuriyeti | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Fransa | 232 | 232 | 388 | 388 | 388 |
| Almanya | 103 | 229 | 314 | 625 | 985 |
| İngiltere | 0 | 0 | 0 | 150 | 250 |
| Macaristan | 0 | 0 | 0 | 20 | 40 |
| İtalya | 107 | 107 | 153 | 241 | 293 |
| Polonya | 0 | 0 | 0 | 10 | 30 |
| Slovakya | 8 | 8 | 25 | 29 | 31 |
| İspanya | 0 | 0 | 0 | 20 | 30 |
| İsviçre | 6 | 6 | 16 | 20 | 25 |
| Toplam | 531 | 668 | 991 | 1607 | 2184 |

2.4.8. Biyodizel Standartları

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

B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel yakıtı

B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel yakıtı

B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel yakıtı

B100 : %100 Biyodizel

Biyodizelin için geliştirilmiş ülke standartları Çizelge 2.13' de görülmektedir. Ülkemizde EN 14214 Avrupa Standartı ile biyodizel üretimi yapılmaktadır.

Çizelge 2.13 Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları [6]

| Özellikler | Avrupa | Avusturya | Fransa | Almanya | İtalya | İsveç | ABD |
|--|--------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|------------------|
| Standart | EN 14214 | ONC 1191 | Journal Officiel | DIN V 51606 | UNI 10635 | SS 155436 | ASTM D-6751 |
| Tarih | 2003 | Temmuz 1997 | Eylül 1997 | Eylül1997 | Kasım 1996 | Kasım 1996 | Ocak2002 |
| Uygulama | YAME | YAME | ,BYME | YAME | BYME | BYME | YAMAE |
| Yoğunluk, 15 °C, g/cm ³ | 0,86-0,90 | 0,85-0,89 | 0,87-0,90 | 0,875-0,90 | 0,86-0,90 | 0,87- 0,90 | - |
| Viskozite, 40 °C, mm ² /s | 3,5-5 | 3,5-5 | 3,5-5 | 3,5-5 | 3,5-5 | 3,5-5 | 1,9-6 |
| Distilasyon, % 95, °C | - | - | ≤360 | - | ≤360 | - | 360 |
| Alevlenme Noktası, °C | ≥120 | ≥100 | ≥100 | ≥110 | ≥100 | ≥100 | ≥130 |
| Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C | Ülkesel Özellik | 0/-15 | - | 0/-10/-20 | - | -5 | - |
| Akma Noktası, °C | - | - | ≤-10 | - | ≤0 ≤-15 | - | - |
| Bakır Korozyon, 3h, 50 °C | 1 | - | - | 1 | - | - | ≤No,3 |
| Setan Sayısı | ≥ 51 | ≥ 49 | ≥ 49 | ≥ 49 | - | ≥ 48 | ≥ 47 |
| Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g | ≤ 0,5 | ≤ 0,8 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,6 | ≤ 0,8 |
| Alkalite, mg/kg | - | - | ≤5 | ≤5 | - | ≤10 | - |
| İyod Sayısı | ≤120 | ≤120 | ≤115 | ≤115 | - | ≤125 | - |
| Su, mg/kg | ≤500 | - | ≤200 | ≤300 | ≤700 | ≤300 | ≤0,05% |
| Fosfor, mg/kg | ≤10 | ≤20 | ≤10 | ≤10 | ≤10 | ≤10 | <0,001 % mass |
| Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg | ≤24 | - | - | ≤20 | - | ≤20 | - |
| Kükürt,Ağırlık %'si | ≤10 [mg/kg] | ≤0,02 | - | ≤0,01 | ≤0,01 | ≤0,001 | ≤0,05 |
| C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri,Ağırlık %'si | - | ≤15 | - | - | - | - | - |

Çizelge 2.13 (Devamı) Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları

| | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Okside Kül, Ağırlık %'si | - | - | - | - | ≤0,01 | ≤0,01 | - |
| Sülfate Kül, Ağırlık %'si | ≤0,02 | ≤0,02 | - | ≤0,03 | - | - | ≤0,02 |
| Metanol, Ağırlık %'si | ≤0,2 | ≤0,2 | ≤0,1 | ≤0,3 | ≤0,2 | ≤0,2 | - |
| Linoleik Asit Ağırlık %'si | ≤12 | - | - | - | - | - | - |
| Monogliseritler, Ağırlık %'si | ≤0,8 | - | ≤0,8 | ≤0,8 | ≤0,8 | ≤0,8 | - |
| Digliseritler, Ağırlık %'si | ≤0,2 | - | ≤0,2 | ≤0,4 | ≤0,2 | ≤0,1 | - |
| Trigliserit, Ağırlık %'si | ≤0,2 | - | ≤0,2 | ≤0,4 | ≤0,1 | ≤0,1 | - |
| Serbest Gliserin, Ağırlık %'si | ≤0,02 | ≤0,02 | ≤0,02 | ≤0,02 | ≤0,05 | ≤0,02 | ≤0,02 |
| Toplam Gliserin, Ağırlık %'si | ≤0,25 | ≤0,24 | ≤0,25 | ≤0,25 | - | - | ≤0,24 |
| Ester, Ağırlık %'si | ≥96,5 | - | ≥96,5 | - | ≥98 | ≥98 | - |
| Gp I Metaller [Na,K], mg/kg | ≤5 | - | - | - | - | - | - |
| Gp II Metaller [Ca,Mg], mg/kg | ≤5 | - | - | - | - | - | - |
| Oksidasyon Kararlığı, h ,110°C | Minimum 6 saat | - | - | - | - | - | - |

YAME : Yağ Asidi Metil Esteri

YAMAE : Yağ Asidi Mono Alkil Esteri

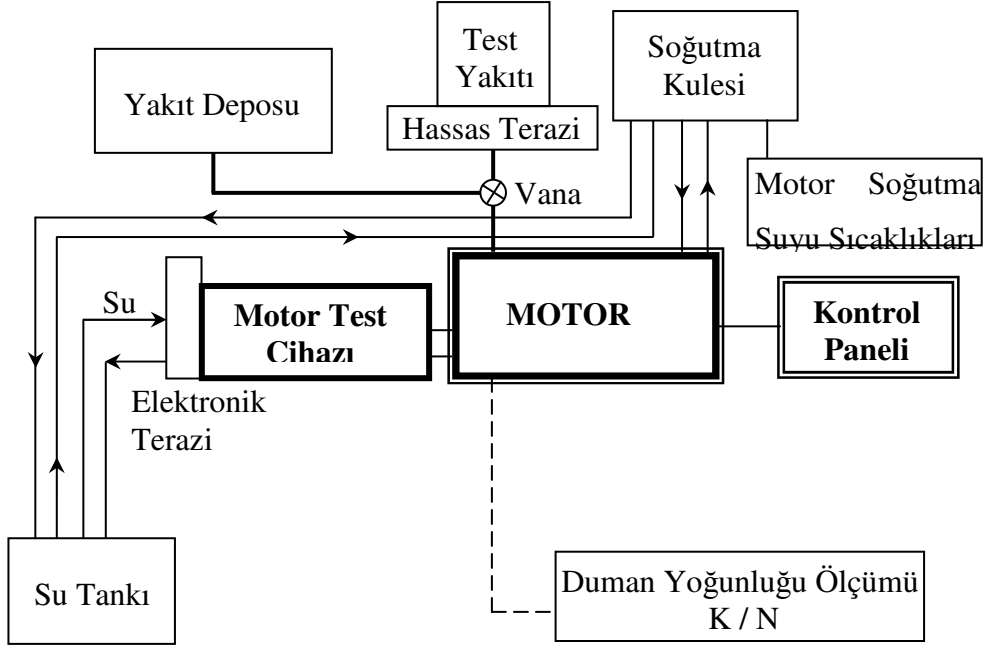
BYME : Bitkisel Yağ Metil Esteri

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, soya yağı metil esterinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyonlarının tespiti ile ilgili deneysel çalışmalar Kara Kuvvetleri Astsubay Meslek Yüksek Okul Komutanlığında yapılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 3.1’ de, şematik yapısı ise Şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.1 Deney düzeneğinin genel görünümü

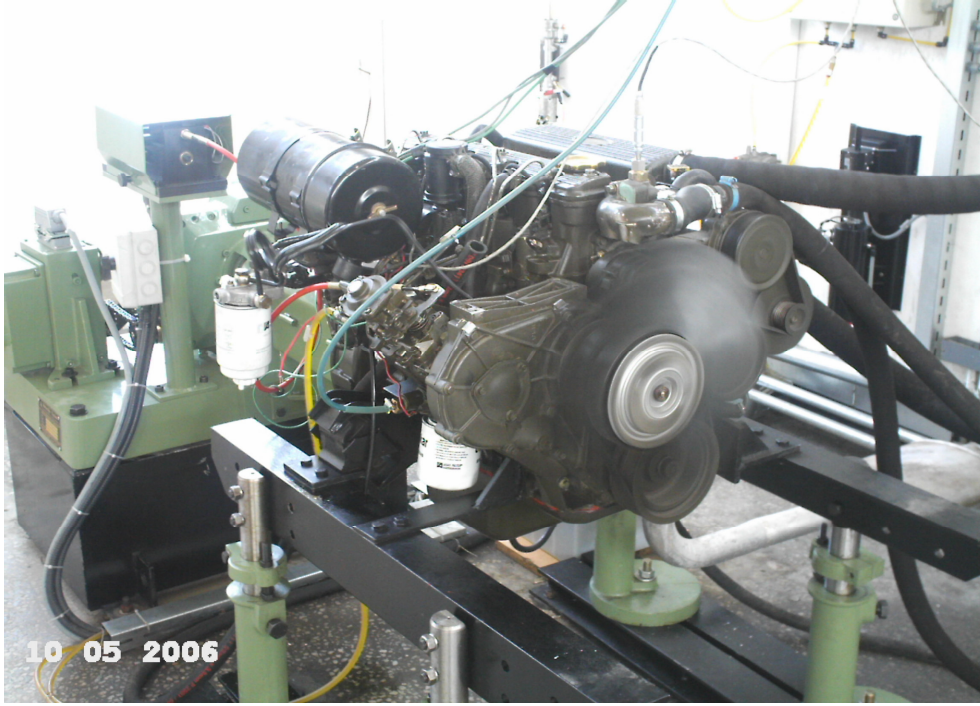


Şekil 3.2 Deney düzeneğinin şematik yapısı

3.1 Materyal

3.1.1 Deney Motoru

Deneylerde, dört silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve turboşarjlı Land Rover marka dizel motoru kullanılmıştır. Şekil 3.3' te deneyde kullanılan motor ve Çizelge 3.1' de bu motorun teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.3 Deney motorunun genel görünümü

Çizelge 3.1 Deney motorunun teknik özellikleri

| | |
|----------------------|---------------------|
| Markası | Land Rover |
| Püskürtme sistemi | Direkt püskürtmeli |
| Silindir sayısı | 4 Sıra tipi |
| Silindir çapı | 90,47 mm |
| Strok | 97,00 mm |
| Hacim | 2495 cc |
| Sıkıştırma oranı | 19,5:1 |
| Maksimum moment | 235 Nm (2200 d/d) |
| Maksimum güç | 82 kW (3800 d/d) |
| Maksimum motor devri | 4400 d/d (+ 40 -20) |
| Besleme tipi | Turboşarjlı |
| Püskürtme zamanı | 15° Ü.Ö.N. önce |
| Püskürtme basıncı | 200 bar |
| Supap düzenlemesi | Üsten kamlı |
| Soğutma sistemi | Su soğutmalı |

3.1.2 Motor Test Cihazı

Motor testlerinde maksimum gücü 119 kW ve maksimum devri 7500 d/d olan sulu tip BT-190 modeli motor test cihazı kullanılmıştır. Motor test cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Motor test cihazının teknik özellikleri

| | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Fren modeli | BT- 190 |
| Maksimum frenleme gücü | 160 HP |
| Maksimum devir | 7500 d/d |
| Maksimum moment | 750 Nm |
| Yük hücresi kapasitesi | 2500 N |
| Maksimum güç için su ihtiyacı | 2,4 m ³ / h |
| Fren suyu basıncı | 1-2 kg / cm ² |
| Maksimum fren suyu çıkış sıcaklığı | 60 °C |
| Su girişi | 1 1/4" |
| Su çıkışı | 2 1/2" |
| Fren kontrol tipi | Kayıcı fan perdeleri ile |
| Ağırlık sistemi | Metrik-elektronik yük hücresi |
| Fan adedi | 1 |
| Elektrik ihtiyacı | 220/380 V. 50 Hz. 3 faz |
| Dönüş yönü | Sağ dönüşlü |

Şekil 3.4’ te motor test cihazına bağlı olan kontrol paneli görülmektedir. Kontrol paneli üzerinden motor devri, torku ve gücü, emme hava sıcaklığı ve basıncı, motor yağ sıcaklığı ve basıncı, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, egzoz sıcaklığı, test odası sıcaklığı, basıncı ve nemi, kartere inen hava miktarı, fren suyu giriş sıcaklığı ve fren suyu giriş basıncı değerleri okunabilmektedir. Ayrıca kontrol paneli üzerindeki düğmeler sistemi otomatik veya manuel olarak kullanabilmeyi sağlamaktadır, diğer düğmeler ise motoru

çalıştırmak veya stop ettirmek, motoru yüklemek veya yükünü azaltmak, gaz vermek veya azaltmak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.4 Kontrol paneli

Şekil 3.4' teki kontrol paneli üzerindeki ekrandan ise motorun istenilen andaki devir, güç, düzeltilmiş güç, tork, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, motor yağ sıcaklığı ve basıncı, egzoz sıcaklığı, emme havası basıncı ve sıcaklığı, kartere kaçan gaz miktarı, ayrıca test odası basıncı, sıcaklığı ve nemi görülebilmektedir.

3.1.3 Soğutma Kulesi

Denemede motorun soğutulabilmesi için motorun dışında bulunan bir soğutma kulesi kullanılmıştır. Motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları kontrol paneli üzerindeki ekrandan ayarlanabilmektedir. Motor soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık değerleri ayarlandıktan sonra dijital termometre üst sıcaklık limit kontağı, selenoid valfe kumanda etmekte ve sıcak suyla karışması için su tankından taze soğuk su dolmaktadır. Taze soğuk su dolumu, soğutma suyunun alt limitine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Deneyler

esnasında soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık değerleri 85-90 °C' ye ayarlanmıştır.

3.1.4 Egzoz Emisyonu Ölçümünde Kullanılan Cihaz

Duman koyuluğu ve ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin tespitinde %1 hassasiyetle ölçüm yapabilen SPX Corporation 2000 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Gaz analiz cihazı Şekil 3.5' da görülmektedir. Bu cihaz ile ölçülebilen değerler şunlardır:

| Ölçülebilen değerler | Birimi |
|--|--------|
| Egzoz duman koyuluğu (N) | % 0-99 |
| Işık absorpsiyon katsayısı (K, m^{-1}) | 0-10 |



Şekil 3.5 Gaz analiz cihazı

3.1.5 Deney Yakıtı

Anavatanı Çin ve Kore gibi Uzakdoğu ülkeleri olan soya bitkisi, ülkemizde ilk kez 1930'lu yıllarda ekilmeye başlanmış ve uzun yıllar sadece Karadeniz bölgesinde tarımı yapılmıştır. Son 20 yılda uygulamaya konulan 2. Ürün Projesi ile, Ege ve Akdeniz bölgelerinin sulanır alanlarında yetiştirilmeye başlanılan soyanın tarımı bugün için ağırlıklı olarak Çukurova Bölgesinde yapılmaktadır.

Soya fasulyesi tohumunda ihtiva ettiği %18 oranındaki yağ nedeniyle yağ bitkisi olarak tanımlanır. Çizelge 3.3'de soya yağının % yağ asiti kompozisyonu görülmektedir. Ayrıca küspesi hayvan beslenmesinde kullanılan çok değerli bir protein kaynağıdır. Soya aynı zamanda toprağa organik madde ve azot sağlayarak toprağın verimliliğini artıran önemli bir münavebe bitkisidir. Soya fasulyesinin sulanabilir tüm tarım alanlarında ekimi yapılabilir.

Çizelge 3.3 Soya yağının % yağ asiti kompozisyonu (61)

| Yağ Asitleri | Yağ Asitleri | % Yağ Asiti Kompozisyonu |
|-----------------|--------------|--------------------------|
| Palmitik | C16:0 | 13,9 |
| Palmitoleik | C16:1 | 0,3 |
| Stearik | C18:0 | 2,1 |
| Oleik | C18:1 | 23,2 |
| Linoleik (OM3) | C18:2 | 56,2 |
| Linolenik (OM6) | C18:3 | 4,3 |

DeneySEL çalışmada kullanılan soya yağı metil esterleri Karacabey/Bursa da üretim yapan AYYIL yağ şirketi'nden temin edilmiştir. Yakıt transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Üretim basamakları aşağıda açıklanmıştır.

- Transesterifikasyon, bitkisel yağı oluşturan gliserinin esterlerden uzaklaştırılarak yağın viskozitesinin düşürülmesini sağlayan kimyasal bir işlemdir.
- Soya yağını oluşturan trigliseritleri parçalayıp esterleri açığa çıkarmak ve reaksiyonu hızlandırmak için katalizör kullanılmaktadır. Kullanılacak katalizör miktarı yağın serbest yağ asidi içeriğine bağlı olarak (1 litre ham yağ için yaklaşık 3,5 gr) belirlenmiştir . Üretim esnasında katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.
- Kimyasal reaksiyon sırasında , soya yağında bulunan gliserinin yerine, esterle birleşerek metil esteri oluşturmak için, yağ miktarının %20 si oranında metil alkol kullanılmıştır.
- Hazırlanmış olan katalizörün metil alkol içerisinde çözünmesi sağlanarak, ham yağ ile reaksiyona girecek olan karışım (sodyum metoksit) oluşturulmuştur.
- Reaktör içerisinde sıcaklığı 55-60 °C' civarında tutularak karıştırılan soya yağı üzerine, hazırlanmış olan metoksit ilave edilmiştir. Metoksitin zaman geçirilmeden bitkisel yağa karıştırılması gerekir. Yaklaşık 1,5 saat süren karıştırma işleminden sonra biyodizel ve gliserin karışımı elde edilmiştir.
- Karışım içindeki gliserinin yoğunluğu, biyodizelin yoğunluğundan fazla olduğu için bu iki faz, birbirinden ayrılmıştır. Karışım, dibi konik çökeltme tankında yaklaşık 8 saat dinlendirilmiştir. Dinlendirme süresi sonunda tankın dip kısmında biriken gliserin biyodizelden uzaklaştırılmıştır. Gliserinin uzaklaştırılması işleminden sonra ham biyodizel, yıkama tankına gönderilmiştir.
- Ham biyodizel, içerisindeki alkol, katalizör ve gliserin atıklarını uzaklaştırmak amacıyla saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama işleminde su ve biyodizelin ayrışmasını kolaylaştırmak, yıkama verimini arttırabilmek için karışım 60 °C' ye kadar ısıtılmıştır. Yıkama işlemi sonrası karışım dinlenmeye bırakılmıştır. Yoğunluk farkıyla tankın dibinde biriken yıkama suyu çekilerek depolanmış ve yıkama işlemi biyodizelin pH'ı 7'ye düşürülünceye kadar tekrar edilmiştir.

- Yıkama işlemi tamamlanmış biyodizelin içerdiği %1-2 oranındaki su, biyodizelin sıcaklığı 105 °C' ye çıkartılarak uzaklaştırılmıştır. Daha sonra biyodizel bu sıcaklıkta yaklaşık 2 saatlik karıştırma ve kurutma işlemine tabi tutulmuş ve üretim tamamlanmıştır.

Üretim sonrası elde edilen soya yağı metil esterinin özellikleri AYYIL yağ şirketi' nden, deneyde kullanılan dizel yakıtının özellikleri de yakıtın temin edildiği Petrol Ofisi A.Ş.'den alınmıştır. Deney yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.4'de görülmektedir. Çizelgede, soya yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin Avrupa EN 14214 Standardına uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4 Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması

| Özellik | Avrupa EN 14214 | D | SME |
|--|-----------------|-------|---------|
| Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³ | 860-900 | 837 | 884 |
| Kinematik viskozite, 40 °C, mm ² /s | 3,5-5,0 | 2,6 | 4,1 |
| Parlama noktası, °C | ≥120 | 72 | 146 |
| Bulutlanma noktası, °C | - | - | -2 |
| Akma noktası, °C | - | -20 | -8 |
| Bakır korozyon, 3 h, 50 °C | 1a-1b | - | 1.sınıf |
| Karbon Kalıntısı | Max.0,30 | - | 0,02 |
| Alt ısııl değer, kJ/kg | - | 43000 | 39800* |
| Setan sayısı | ≥51 | 50 | 46,2* |

* Ortalama değer [63]

3.2 Metod

3.2.1 Yakıt Ölçümü

Yakıt ölçüm düzeneği Şekil 4.9' da görülmektedir. Yakıt tüketiminin belirlenmesinde %1 hassasiyetli Precisa XB 620C dijital terazi ve %1 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçümünde 10 sn de tüketilen yakıt miktarı baz alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu sürede ne kadar yakıt tükettiği hassas terazi ve kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak motorun özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$b_e = B \times 1000 / N_e$$

b_e : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

N_e : Efektif motor gücü (kW)



Şekil 3.6 Yakıt ölçüm düzeneği

3.2.2 Efektif Verim Hesabı

Motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde tarif edilen efektif verim, deney motoru için çalışmanın yapıldığı devirlerde gerçekleşen özgül yakıt tüketimleri ve kullanılan yakıtların alt ısıl değerleri esas alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\eta_e = 3,6.10^6 / b_e \times H_u$$

H_u : Alt ısıl değer (kJ/kg)

b_e : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

3.2.3 Ortalama Efektif Basınç Hesabı

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimine eşdeğer motor gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etki etmesi gereken basınçtır. Deneyler sırasında motor devrine bağlı olarak oluşan efektif basınç değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$P_{me} = Pe / V_H \cdot i \cdot n_c$$

Pe : Güç(kW)

V_H : Toplam strok hacmi (m³)

i : çevrim/devir (dört zamanlı motorlarda 1/2)

n_c : Devir sayısı(d/s)

3.2.4 Deneyin Yapılışı

Deneylere başlamadan önce yakıt enjeksiyon pompası, enjektör püskürtme basınçları (200 bar), püskürtme avansı (15°) ve supap ayarları motor katalog değerlerine göre tekrar ayarlanmış ve motor yağı değiştirilmiştir. Testlerde kullanılan cihazların kalibrasyonu yetkili servis olan Baturalp Taylan firması tarafından yapılmıştır.

Bütün deneyler TSE 1231 Motorlu Taşıtlar-Muayene ve Deney Esasları'na göre yapılmıştır. Motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesi için tam yük değişik devir testi yapılmıştır. Motor tam gaz konumuna getirilmiştir. Motor tam gaz konumunda iken gaz koluna dokunmadan, test cihazı ile yüklenmeye başlanmış, 4300, 4000, 3500, 3000, 2500, 2000 ve 1750 d/d' da motor performans ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.

Motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra deneylere başlanmış ve deney sona erdikten sonra, bir sonraki ölçümlere başlamadan önce motor dinlenmeye bırakılmıştır. İlk deney dizel yakıtı ile yapılmıştır ve motor ara dinlenmeye bırakıldıktan sonra soya yağı metil esteriyile yapılan deneylere geçilmiştir. Deney süresince motor çalışma suyu sıcaklığı 85-90 °C arasında tutulmuştur.

Deneyler iki aşamada tamamlanmıştır. İlk olarak motorun orijinal püskürtme avansı (15°) de dizel yakıtı kullanılarak test devirlerinde ki moment, güç, özgül yakıt tüketimi ve duman koyuluğu değerleri tespit edilmiştir.

Daha sonra yakıt olarak tamamen soya yağı metil esteri kullanılarak yapılan deneylere geçilmiştir. Soya yağı metil esteri kullanıldığında püskürtme avansının azaltılması ve ya artırılmasının motor karakteristikleri üzerine etkilerini tespit etmek amacıyla 12° ve 18° püskürtme avansında deneyler tekrar yapılmıştır.

Deneyler esnasında motor devri kararlı hale geldikten sonra motor gücü, momenti ve yakıt tüketimi değerleri tespit edilmiştir. Egzoz emisyonları ölçümünde ise motor devri kararlı hale geldikten sonra emisyon değerlerinin de kararlı hale gelmesi beklenmiş ve daha sonra emisyon değerleri kaydedilmiştir. Her iki yakıtla yapılan tüm deneyler iki kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan tam yük değişik devir testlerinde motor devrine bağlı olarak güç, moment, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklıkları, duman koyuluğu ile ışık absorpsiyon katsayısı değerleri ölçülmüştür. Ölçümler önce motorun orjinal değeri olan 15⁰ püskürtme avansında yapılmış elde edilen parametreler ayrı ayrı değerlendirilerek dizel yakıtı ile soya yağı metil esteri arasındaki farklar belirlenmiştir.

Püskürtme avansının değiştirilmesinin soya yağı metil esteri kullanımına etkilerini tespit etmek maksadıyla avans, motorun orjinal değeri olan (15⁰) den 3⁰ önce ve 3⁰ sonra olacak şekilde değiştirilerek, performans, egzoz sıcaklığı, duman koyuluğu ve ışık absorpsiyon katsayısı değerleri soya yağı metil esteri için tekrar ölçülmüştür. Ölçülen parametreler ayrı ayrı değerlendirilerek püskürtme avansının soya yağı metil esteri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

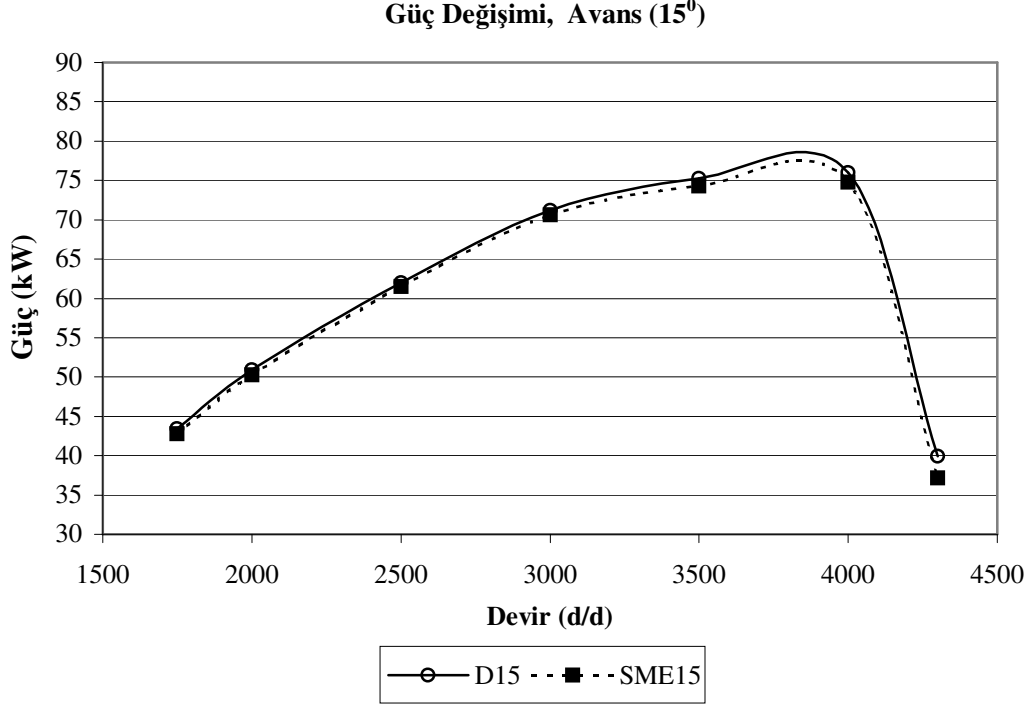
Çalışmada ölçümler iki kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak sonuçlar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.1 Güç Değişimleri

Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin devire bağlı güç değişimleri Şekil 4.1' de verilmiştir.

Deney motorunun orijinal değeri olan 15⁰ püskürtme avansında yapılan maksimum güç ölçümünde dizel yakıtından 3800 d/d 'da 78,6 kW güç elde edilmiştir. Soya yağı metil esteri ile yapılan testte ise 3800 d/d'da 77,2 kW güç elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre soya yağı metil esterindeki güç değişim oranı % 1,78 düşüş olarak gerçekleşmiştir. Motorun test edildiği tüm devirlerde, dizel yakıtı ile

soya yağı metil esterinin ürettikleri güç değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Motor devri-güç değişimleri, püskürtme avansı 15⁰

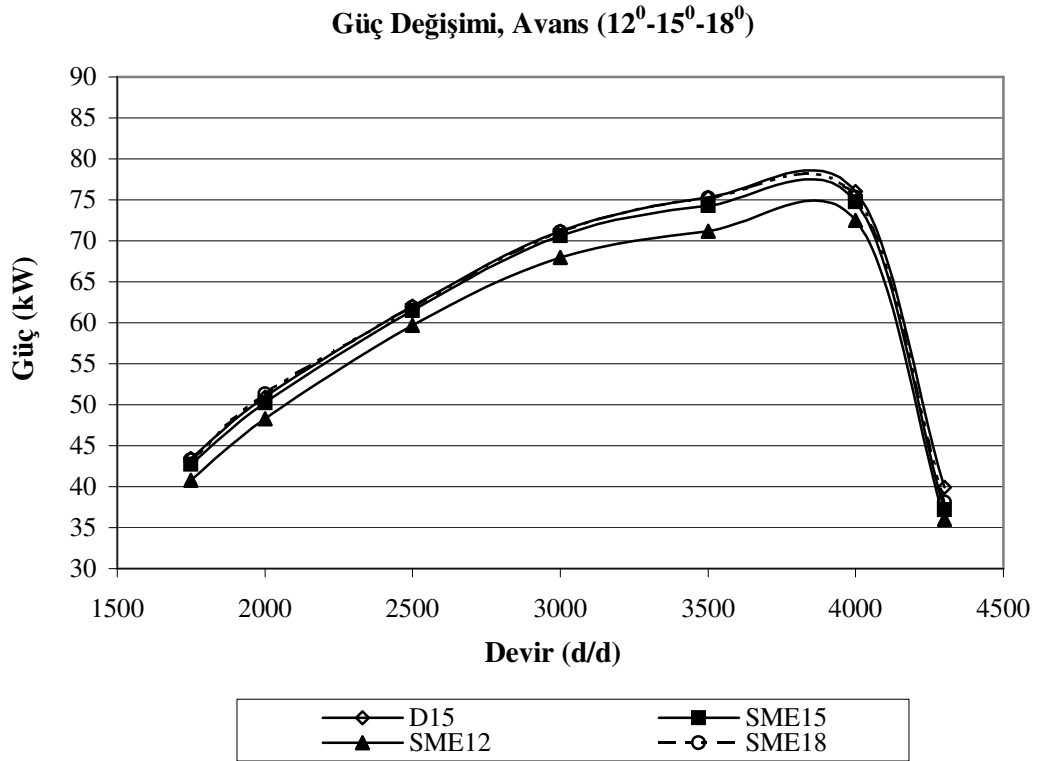
Grafik incelendiğinde güç eğrilerinin birbirine yakın olduğu ancak soya yağı metil esterinin biraz daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Güç değerleri arasında en fazla fark 4300 d/d civarında oluşmuş, bu esnada dizel yakıtından 39,9 kW, soya yağı metil esterinden ise 37,15 kW güç elde edilmiş olup güç düşme oranı % 6,89 olarak gerçekleşmiştir. En az azalma 2500 d/d civarında gerçekleşmiştir. Bu esnada dizel yakıtından 62 kW, soya yağı metil esterinden 61,5 kW güç elde edilmiştir. Güç düşme oranı % 0,806 olarak gerçekleşmiştir.

Güçteki ortalama düşme oranı %2,04 olarak gerçekleşmiştir. Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin ürettiği güç değerleri arasındaki bu farkların önemsiz olduğunu belirtmekle birlikte bu azalmanın, soya yağı metil esterinin yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek viskozite ve

yoğunluk, yakıtın enjektörlerden istenilen şekilde atomize olarak püskürtülememesine neden olmaktadır. Bu durum yanmayı etkileyen tutuşma gecikmesinin süresini uzatmakta ve yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca soya yağı metil esterinin ısıl veriminin dizel yakıtından daha düşük olması da güçteki düşüşün nedenlerinden biri olarak düşünülmektedir.

Güçteki değişimler metil esterler ile daha önceden yapılan çalışmalardaki sonuçlara benzerlik göstermektedir (2, 8, 14, 22, 28, 23, 29, 45, 47, 48, 51, 52, 53).

Şekil 4.2' de, motorun orijinal değeri olan 15⁰ püskürtme avansında dizel yakıtından elde edilen devire bağlı güç değişimi ile, soya yağı metil esterinin değişik avans değerlerindeki (12⁰, 15⁰, 18⁰) devire bağlı güç değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



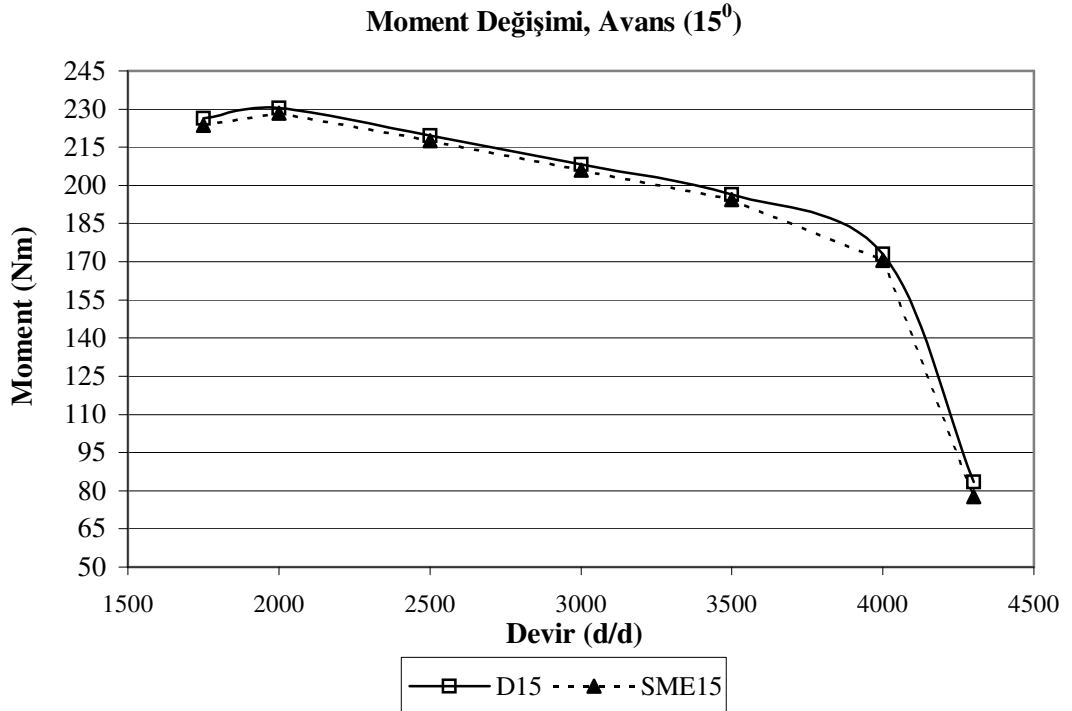
Şekil 4.2 Motor devrine göre değişik avanslardaki güç değişimlerinin karşılaştırılması

Soya yağı metil esterinden 12^0 avansta elde edilen güç değerleri, motorun standart değeri olan 15^0 avansta elde edilen güç değerlerine göre ortalama % 5,08 azalmıştır. 18^0 avansta ise soya yağı metil esteri, güç bakımından dizel yakıtına oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Güçte % 0,77 oranında bir düşüş tespit edilmiştir.

Soya yağı metil esteri düşük ısı değerinden dolayı dizel yakıtına göre daha sürünge bir yanma eğilimi göstermektedir. Püskürtmenin öne alınması (avans verilmesi) ile bu olumsuzluk azaltılabilmektedir. 12^0 avansta motor gücündeki belirgin azalma, yanmanın gecikmesinden ve yanma veriminin düşmesinden kaynaklanmaktadır.

4.2 Moment Değişimleri

Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin 15^0 avansta yapılan testte elde edilen devire bağlı moment değişimleri Şekil 4.3' de görülmektedir.



Şekil 4.3 Motor devri-moment değişimleri, püskürtme avansı 15^0

Motorun test edildiği tüm devirlerde, dizel yakıtı ile soya yağı metil esterinin ürettikleri moment değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Dizel yakıtı ile yapılan maksimum moment testinde 2100 d/d' da 231,2 Nm moment elde edilmiştir. Soya yağı metil esteri ile yapılan testte ise maksimum momentin 2100 d/d' da 229,3 Nm. olduğu belirlenmiştir. Soya yağı metil esterinin moment değişim oranı % 0,82' düşüş olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 4.3 incelendiğinde, moment eğrilerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Momentteki en fazla düşme 4300 d/d civarında görülmektedir. Bu noktada dizel yakıtından 83,7 Nm, soya yağı metil esterinden 77,7 Nm moment elde edilmiştir. Momentteki düşme oranı % 7,16 olarak gerçekleşmiştir.

En düşük moment değişimi ise 2000 d/d civarında görülmektedir. Bu noktada dizel yakıtından 230,5 Nm, soya yağı metil esterinden 228,3 Nm moment elde edilmiş olup aradaki fark % 0,95 olarak belirlenmiştir. Soya yağı metil esteri kullanımı ile oluşan ortalama moment azalması ise % 1,98 olarak gerçekleşmiştir.

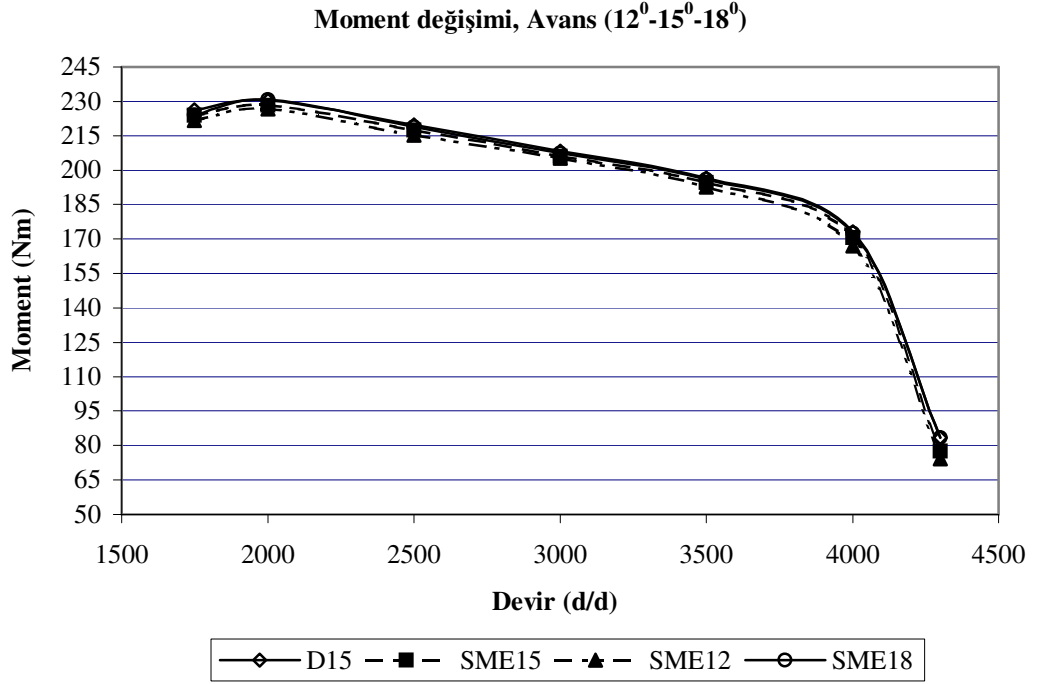
Şekil 4.3 incelendiğinde devir artışı ile orantılı olarak dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin ürettikleri momentler arasındaki farkın da arttığı görülmektedir. Soya yağı metil esterinin dizel yakıtından daha yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip olmasından dolayı, yüksek devirlerde yakıtın pompa elemanına dolmasının zorlaşmasıyla birlikte dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olması miktar olarak aynı yakıt püskürtülse de dizel yakıtından daha az enerji vermesi ile açıklanabileceği değerlendirilmektedir.

Deneyde kullanılan motorun hacminin ve silindir sayısının fazla olması ve aşırı doldurma sistemine sahip olması, soya yağı metil esteri ile edilen moment değerleri ile dizel yakıtı moment değerlerini birbirine yaklaştırdığı söylenebilir.

Soya yağı metil esterinin moment değerlerinin dizel yakıtına göre hemen her devirde düşük ancak oldukça yakın olduğu görülmektedir. Sonuçlar, yağ esterleri ile

daha önceden yapılan çalışmalara benzerlik göstermektedir (2, 8, 14, 20, 37, 45, 47, 48, 51).

Şekil 4.4’de dizel yakıtının motorun standart değeri olan 15^0 avanstaki devire bağlı moment değişimi ile, soya yağı metil esterinin üç farklı avansta ($12^0, 15^0, 18^0$) ölçülen moment değerleri değişimi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Motor devrine göre değişik avanslardaki moment değişimlerinin karşılaştırılması

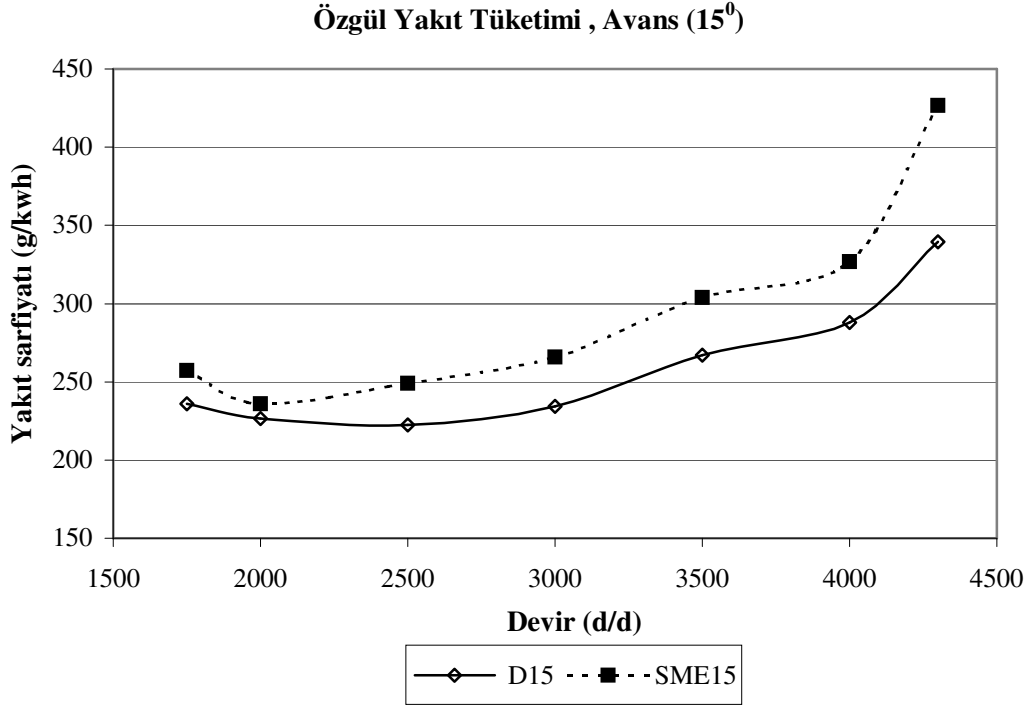
Şekil incelendiğinde 12^0 avansta motor momentinde belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmanın, 15^0 avanstaki dizel yakıtına göre ortalama % 3,43 olduğu görülmüştür. 18^0 avansta ise, momentte, 15^0 avanstaki dizel yakıtına göre ortalama %0,36’lık çok küçük bir azalma görülmüştür.

Bu sonuçlar soya yağı metil esterinin dizel yakıtından daha yavaş bir alev ilerleme hızına sahip olduğunu ve yanmanın daha sürüngen devam ettiğini göstermektedir. Avans arttırıldıkça, yakıt yanma odasına daha erken püskürtülmekte, bu da karışım kalitesini ve yanma hızını olumlu etkilediğinden dizel yakıtına yakın bir moment eğrisi elde edilmesini sağlamaktadır. Avans azaldıkça yakıt püskürtme

işlemi gecikmekte, yanma daha sürünge hale gelmekte, tutuşma gecikmesi artmakta ve bunlara bağılı olarak yanma kötüleşmektedir. Yanma veriminin düşmesi ise momentin azalmasına sebep olmaktadır.

4.3 Özgöl Yakıt Tüketimi Değişimleri

Dizel yakıtı ile soya yağı metil esterinin, deney motorunun standart değeri olan 15⁰ püskürtme avansında ki devire bağılı özgöl yakıt tüketimi değışimleri Şekil 4.5’de görölmektedir.



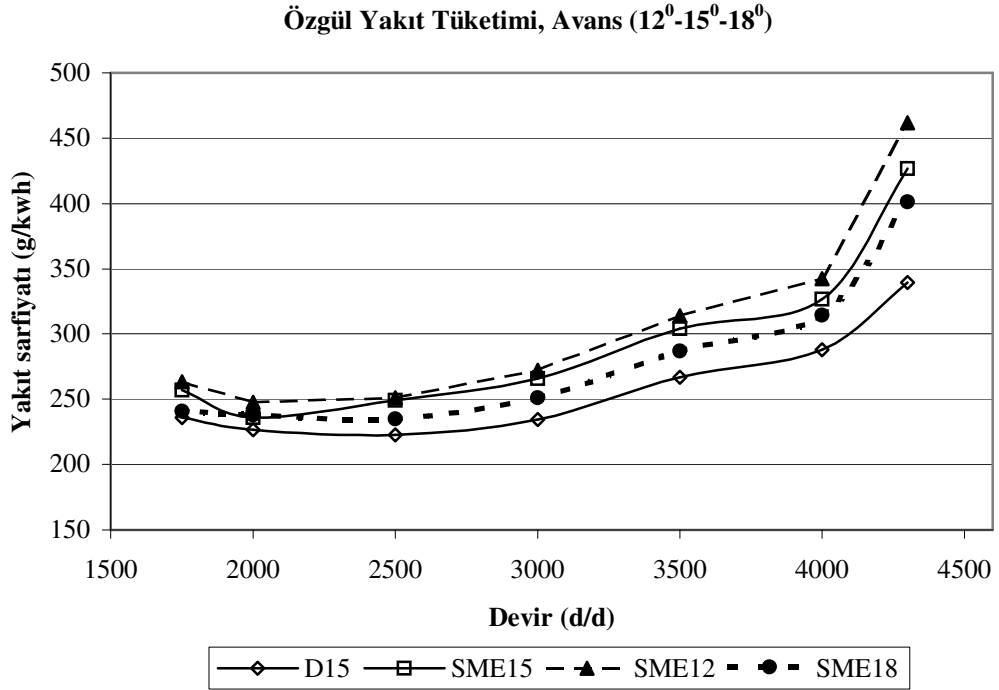
Şekil 4.5 Motor devri-özgöl yakıt tüketim değışimi, püskürtme avansı 15⁰

Bütün test devirlerinde soya yağı metil esterinin özgöl yakıt tüketim değeri lerinin, dizel yakıtı özgöl yakıt tüketim değeri lerinden yüksek olduğu görölmektedir. Dizel yakıtında en fazla özgöl yakıt tüketimi 4300 d/d ‘da 339,325 g/kWh, soya yağı metil esterinde ise 4300 d/d ‘da % 25,72 ‘lik bir artışla 426,62 g/kWh olarak gerçekleşmiştir. 2000 d/d civarında dizel yakıtında 226,725 g/kWh,

soya yağı metil esterinden ise 236 g/kWh elde edilmiş olup aradaki fark % 4,09 artış olarak bulunmuştur.

Soya yağı metil esterinin, dizel yakıtına göre ortalama özgül yakıt tüketimi artışı %13,07 olarak tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimindeki bu artış; soya yağı metil esterinin dizel yakıtına göre daha düşük bir ısı değere sahip olması nedeniyle, aynı gücü sağlayabilmesi için daha fazla miktarda tüketilmesinden ve yoğunluğunun da dizel yakıtından yüksek olması sebebi ile aynı hacimde daha fazla kütleye (ağırlığa) sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.6'da 15⁰ püskürtme avansında dizel yakıtına ait devire bağlı özgül yakıt tüketimi ile, üç farklı avansda (12⁰, 15⁰, 18⁰) soya yağı metil esterine ait devre bağlı özgül yakıt tüketimi değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Motor devrine göre değişik avanslardaki özgül yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması

Grafik incelendiğinde, dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimindeki artışın en fazla soya yağı metil esterinin 12⁰'deki çalışmasında elde edildiği görülmektedir. 12⁰ avansda soya yağı metil esterini ile dizel yakıtı arasındaki en fazla fark 4300 d/d'da

%36,05 en az fark 2000 d/d'da % 9,23 ortalama fark %17,50 artış olarak gerçekleşmiştir.

Dizel yakıtına en yakın özgül yakıt tüketimi soya yağı metil esteri ile 18⁰ avansında yapılan çalışmada elde edilmiştir. Bu avans değerinde soya yağı metil esteri ile, dizel yakıtının 15⁰ avansındaki değerine göre özgül yakıt tüketiminde ortalama %7,77'lik bir artış gerçekleşmiştir.

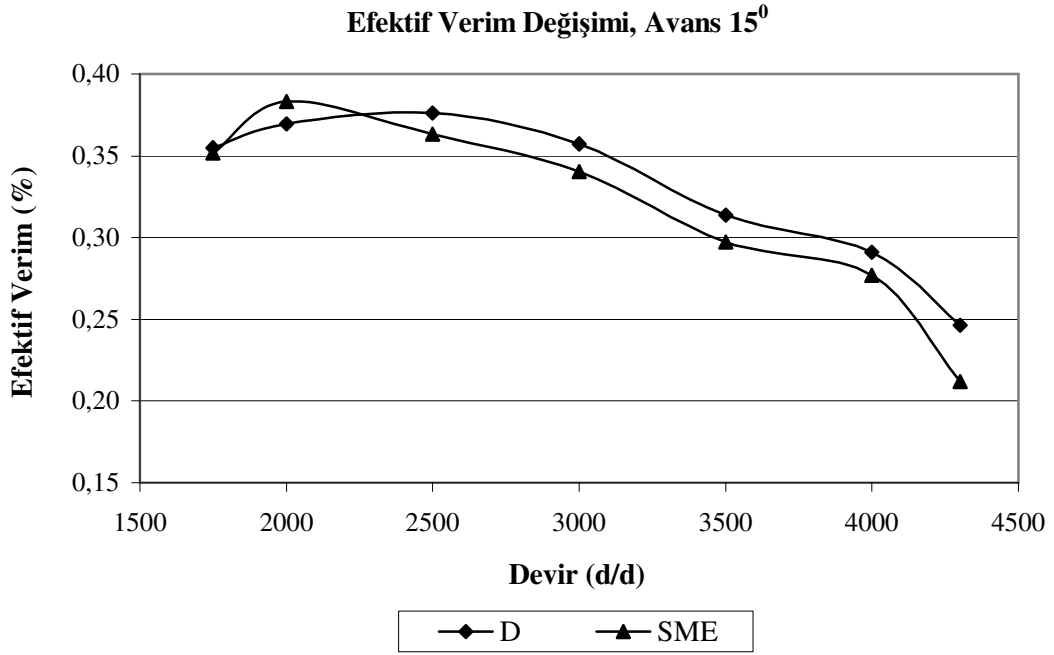
Avans değişimine göre ortalama özgül yakıt tüketimleri incelendiğinde soya yağı metil esterinin en fazla 12⁰ 'de, en az 18⁰ 'de yakıt tükettiği görülmektedir. 15⁰'deki tüketim ise bu iki değer arasında çıkmıştır.

Moment ve güç değişimlerinde de belirtildiği gibi, soya yağı metil esterinde püskürtme avansının artırılması yanma verimini artırmaktadır. Böylece birim güç başına tüketilen yakıt miktarı azalmaktadır. Avansın azaltılması yanma verimini kötüleştirmekte ve yanmayı geciktirmektedir. Bu da birim güç için harcanacak yakıtı artırmaktadır.

4.4 Efektif Verim

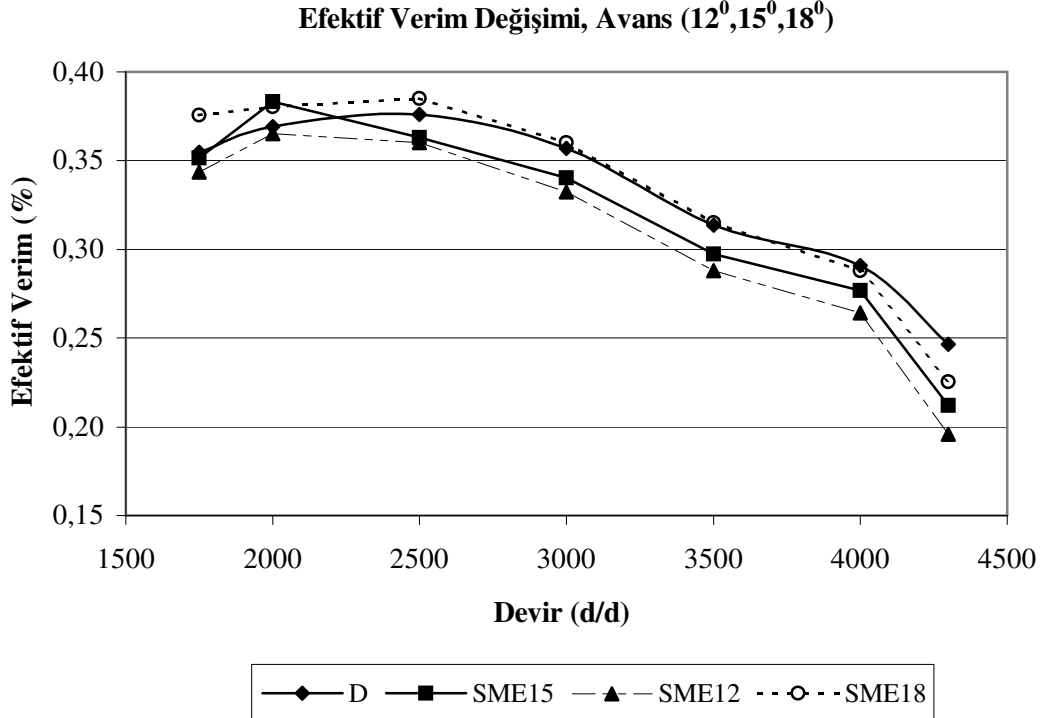
Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin 15⁰ püskürtme avansında ki devire bağlı efektif verim değişimleri Şekil 4.7' de görülmektedir.

Soya yağı metil esteri ve dizel yakıtının efektif verim değerleri arasındaki en fazla fark 4300 d/d' da %13,98, en az fark ise 1750 d/d' da %0,88 olarak elde edilmiştir. Soya yağı metil esterinin efektif verim değerlerinin, dizel yakıtı efektif verim değerlerine göre ortalama olarak %4,17 oranında daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7 Motor devri-efektif verim değişimi, püskürtme avansı 15°

Soya yağı metil esteriyle 12°, 15° ve 18° püskürtme avansında yapılan testte elde edilen devire bağlı efektif verim değişimleri Şekil 4.8’ de görülmektedir.



Şekil 4.8 Motor devrine göre değişik avanslardaki efektif verimlerin karşılaştırılması

Soya yağı metil esteriyile değişik avans değerlerinde yapılan testlerde 12° püskürtme avansında elde edilen efektif verim değerleri, 15° püskürtme avansında elde edilen efektif verim değerlerine göre ortalama %3,66 azalmıştır. 18° püskürtme avansında elde edilen efektif verim değerleri ise 15° püskürtme avansında elde edilen efektif verim değerlerine göre ortalama %8,91 artmıştır.

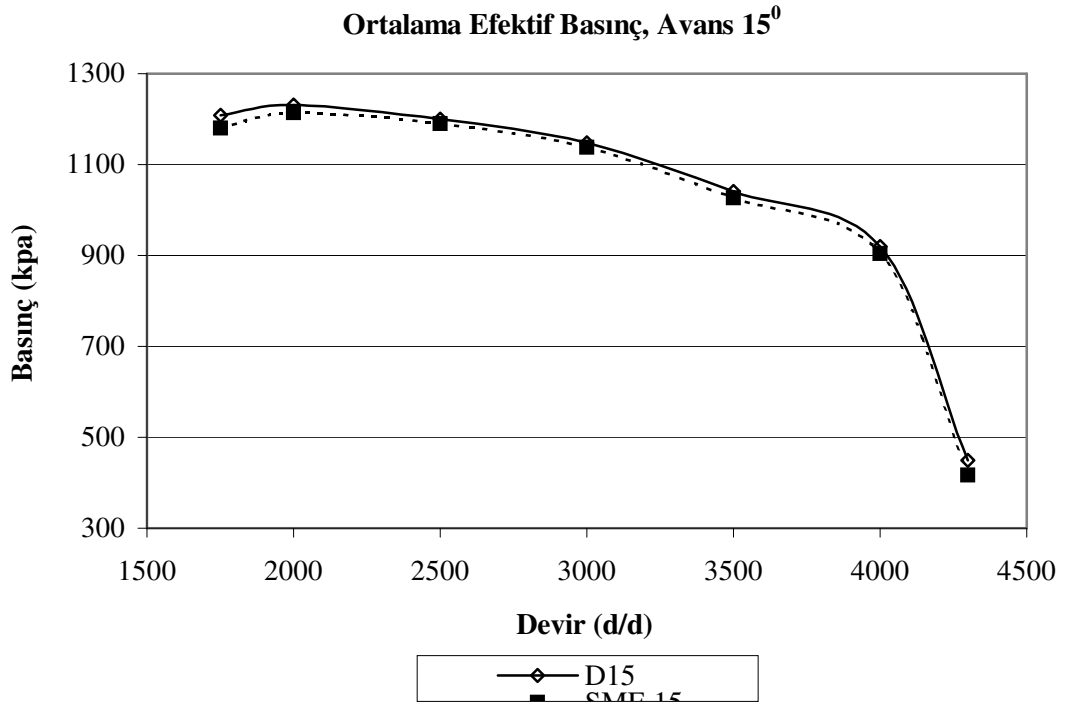
Efektif verimi etkileyen en önemli parametre özgül yakıt tüketimidir. 12° püskürtme avansında elde edilen özgül yakıt tüketim değerleri, 15° ve 18° püskürtme avanslarında elde edilen özgül yakıt tüketimlerinden daha yüksektir. Ayrıca bu püskürtme avansında ölçülen güç değerlerinin, 15° ve 18° püskürtme avanslarında ölçülen güç değerlerine göre düşük olması nedeniyle en düşük efektif verim grafiği 12° püskürtme avansında elde edilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde en yüksek efektif verim grafiği ise özgül yakıt tüketiminin en düşük, gücün ise en yüksek elde edildiği 18° püskürtme avansında elde edilmiştir.

4.5 Ortalama Efektif Basınç Değişimi

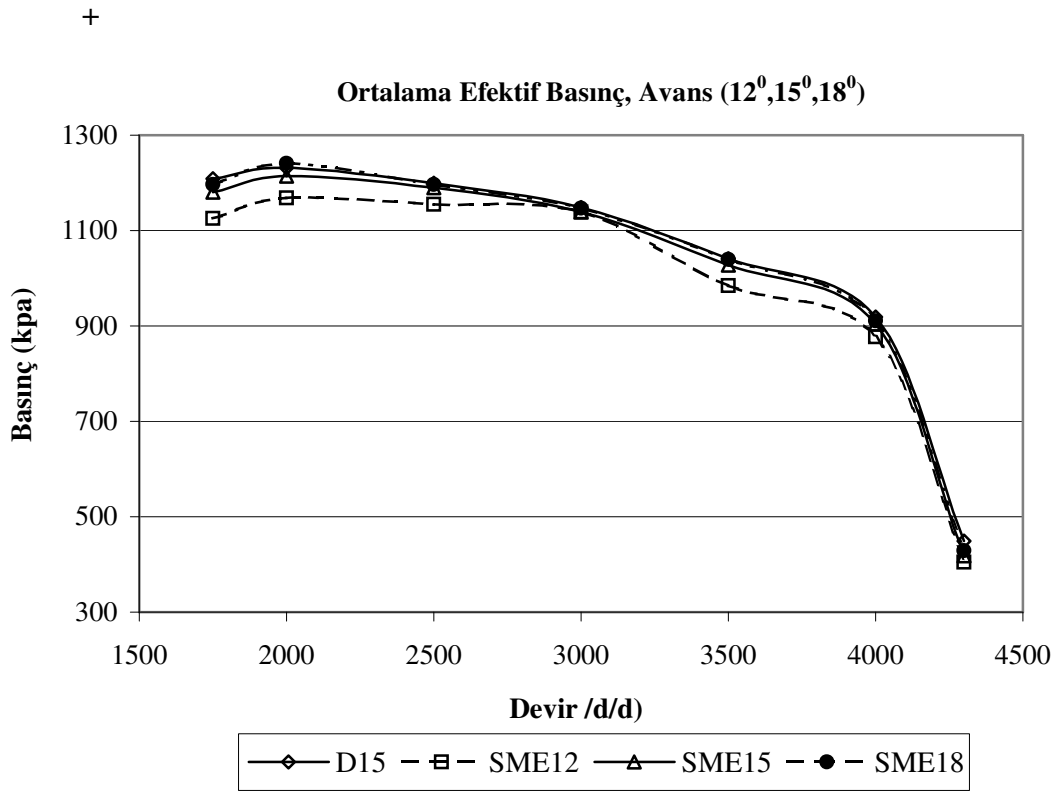
Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin 15° püskürtme avansında ki devire bağlı ortalama efektif basınç değişimleri Şekil 4.9' da görülmektedir.

Motor momenti, motor devrinden daha çok yanma sonucu oluşan basınç kuvvetinin etkisi ile değişim göstermektedir. Pistona etki eden basınç kuvveti ile orantılı olarak moment değeri de değişmektedir. Motor devrine bağlı ortalama efektif basınç değişim grafikleri incelendiğinde Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de görülen moment değişimi grafiklerine benzer oldukları görülmektedir.

Soya yağı metil esteriyile 12°, 15° ve 18° püskürtme avansında yapılan testte elde edilen devire bağlı ortalama efektif basınç değişimleri Şekil 4.10' da görülmektedir.



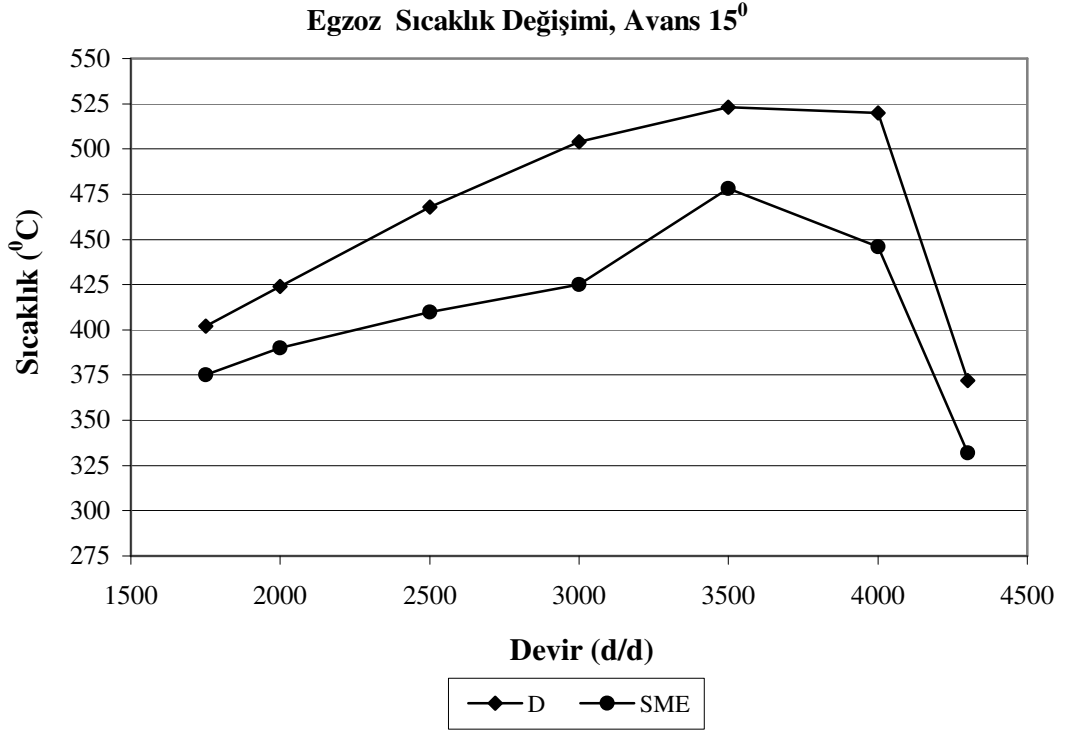
Şekil 4.9 Motor devri-efektif basınç değişimi, püskürtme avansı 15^0



Şekil 4.10 Motor devrine göre değişik avanslardaki efektif basınçların karşılaştırılması

4.6 Egzoz Sıcaklığı Değişimi

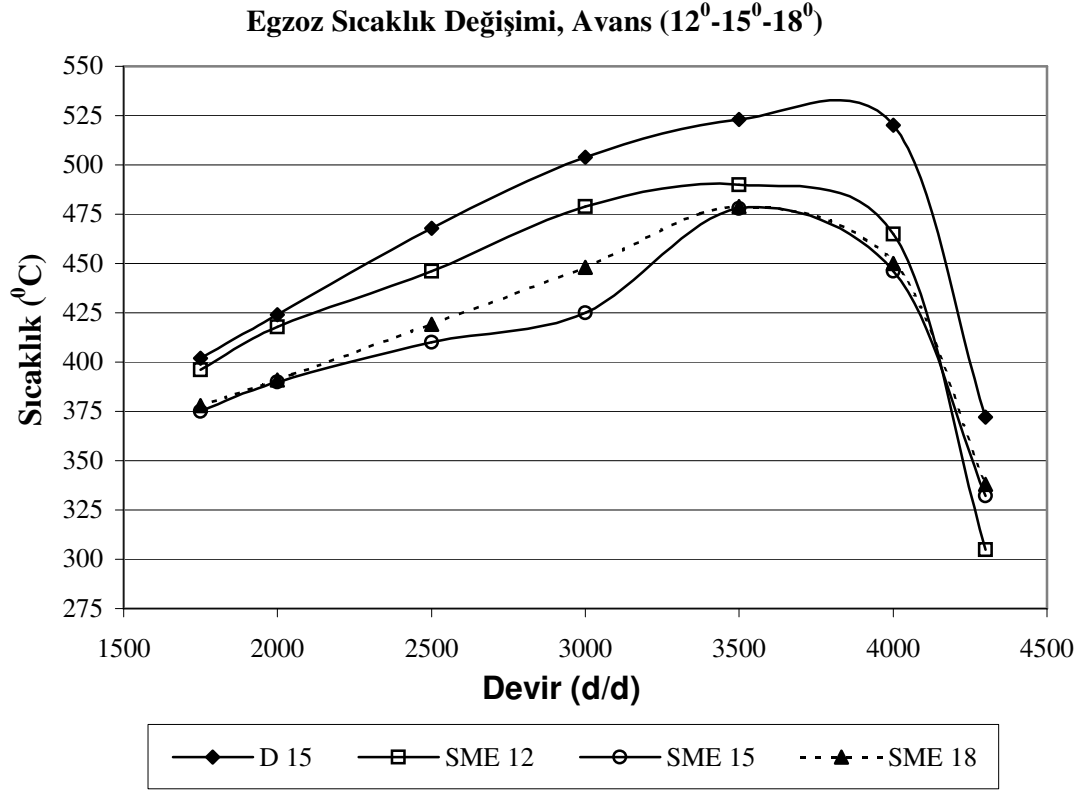
Dizel yakıtı ile soya yağı metil esterinin, deney motorunun standart değeri olan 15° püskürtme avansında ki egzoz sıcaklık değişimleri Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11 Motor devri-egzoz sıcaklık değişimleri, püskürtme avansı 15°

Bütün çalışma devirlerinde soya yağı metil esterinin egzoz sıcaklıkları dizel yakıtından düşük çıkmıştır. En büyük farklılık 3000 d/d ‘da oluşmuş, bu devirde egzoz sıcaklıkları dizel yakıtında 504°C , soya yağı metil esterinde 425°C olarak gerçekleşmiştir. Aradaki düşme oranı %15,67 olmuştur. En az fark ise 1750 d/d civarında gerçekleşmiştir. Bu devirde dizel yakıtında ölçülen egzoz sıcaklığı 402°C , soya yağı metil esterinde ise 375°C olmuştur. Aradaki fark %6,71 olarak bulunmuştur. Soya yağı metil esterinin dizel yakıtına göre, egzoz sıcaklıklarındaki ortalama düşme miktarı ise %10,91 olarak gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık düşüşünün, soya yağı metil esterinin dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Şekil 4.12’de dizel yakıtının 15⁰ püskürtme avansında ki egzoz sıcaklıkları ile soya yağı metil esterinin üç değişik avanstaki (12⁰, 15⁰, 18⁰) devire bağlı egzoz sıcaklık değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.12 Motor devrine göre değişik avanslardaki egzoz sıcaklıklarının karşılaştırılması

Şekil incelendiğinde dizel yakıtına en yakın egzoz sıcaklıklarının soya yağı metil esterinin 12⁰ avansta çalışması esnasında gerçekleştiği görülmektedir. Bu avans değerinde egzoz sıcaklığı ortalama olarak % 6,7 azalmıştır. 18⁰ püskürtme avansında ki çalışmada ise egzoz sıcaklığında ortalama olarak % 9,4'lük bir azalma görülmüştür.

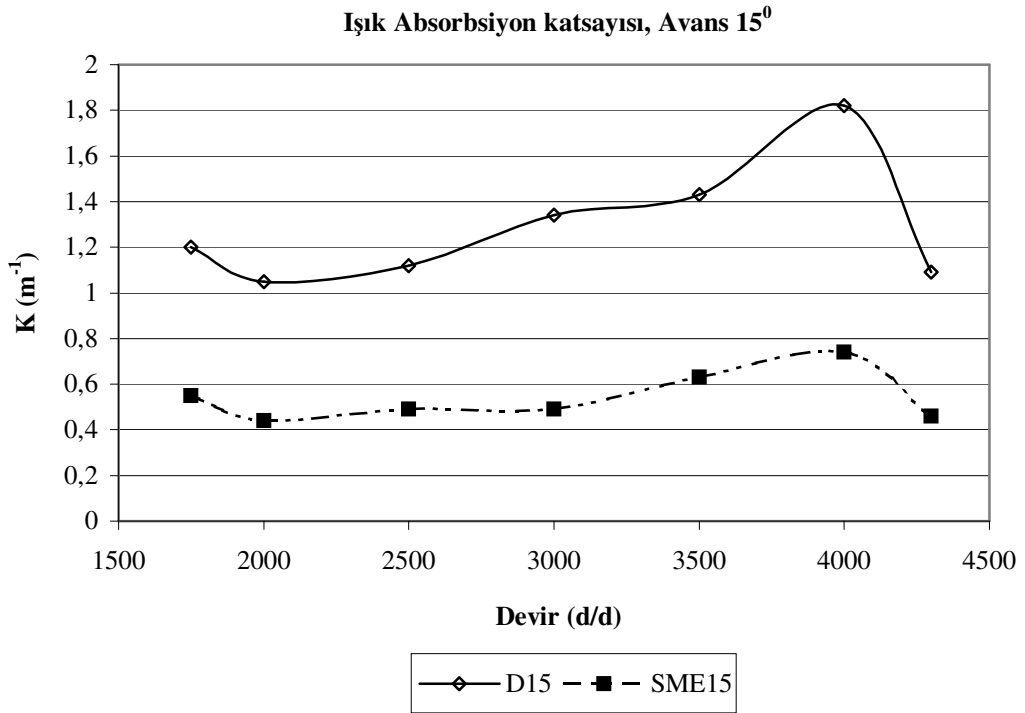
Püskürtme geciktirilmesi (avans 12⁰), yanmanın gecikmesine ve egzozda devam ederek egzoz sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır.

4.7 Işık Absorbisyon Katsayısı (K) Değişimleri

Dizel yakıtı ve soya yağı metil esterinin devire bağlı ışık absorbisyon katsayısı değişimleri Şekil 4.13' de görülmektedir.

Işık absorbisyon katsayısı (K , m^{-1}), egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlatma birim yüzey için ışık akısını) azaltması ile ilgili bir katsayıdır. Normal emişli bir dizel motorunda TSE 11365'e göre bu değer 2.5' tur.

Yapılan bütün test devirlerinde, soya yağı metil esterinin K değerleri, dizel yakıtı K değerlerinden düşük olarak elde edilmiştir. Her iki yakıtta da en düşük K değerleri 2000 d/d' da ölçülmüştür. Bu devirde soya yağı metil esterinin K değeri $0,44 m^{-1}$, dizel yakıtının K değeri $1,05 m^{-1}$ ' dir. En yüksek K değerleri ise 4000 d/d' da ölçülmüştür. Bu devirde soya yağı metil esterinin K değeri $0,74 m^{-1}$, dizel yakıtının K değeri ise $1,82 m^{-1}$ ' dir.

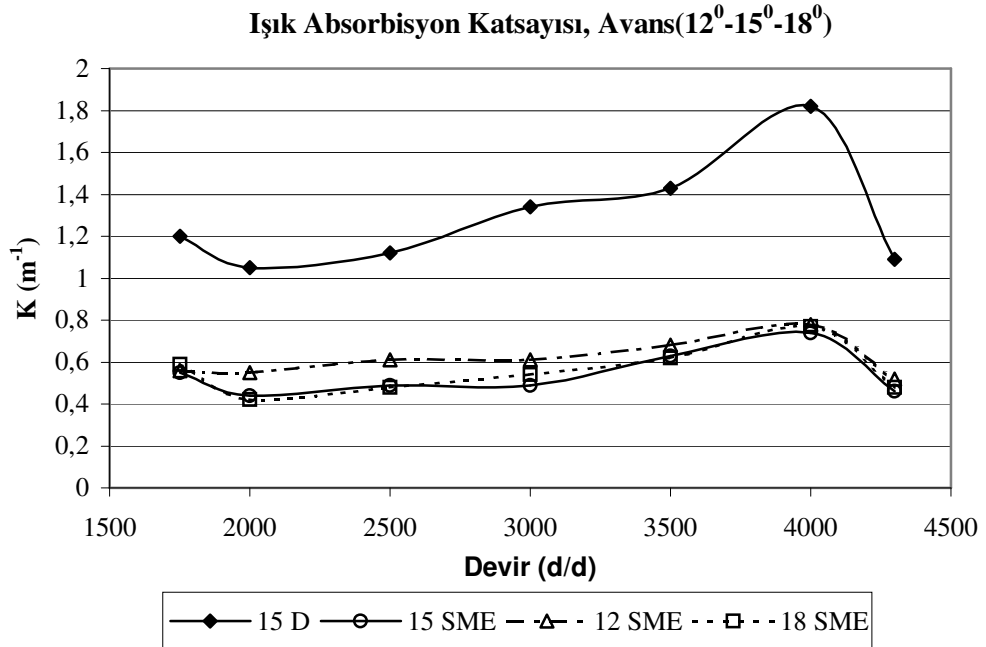


Şekil 4.13 Motor devri-ışık absorbisyon katsayısı değerleri, püskürtme avansı 15°

Her iki yakıtla yapılan testlerde K değerleri arasındaki en büyük fark 4000 d/d' da %59,34 olarak tespit edilmiştir. K değerleri arasındaki en küçük farkın ise 1750 d/d' da %54,16 olduğu görülmüştür. Soya yağı metil esterinin K değerlerinin, dizel yakıtı K değerlerine göre ortalama olarak %58,34 oranında düşük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.13 incelendiğinde, ölçülen bütün K değerlerinin TSE' nin tespit ettiği sınır K değerinden (2,5) oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir. Deneyde kullanılan motorun turboşarj ve intercooler sistemlerine sahip olması, deney başlamadan önce yakıt enjeksiyon pompasının ayarlarının tam olarak yapılması ve motorun yeni olması, K değerlerinin TSE' nin belirlediği sınır değerinin oldukça altında kalmasını sağlamıştır.

Şekil 4.14'de dizel yakıtından 15⁰ püskürtme avansında ölçülen devre bağlı ışık absorpsiyon katsayısı ile, SME'den 12⁰, 15⁰, 18⁰ 'lik avanslarda elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Motor devrine göre değişik avanslardaki ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Grafik incelendiğinde, avansın azaltılması ile K değerinin yükseldiği görülmektedir. Avans arttıkça K değeri düşmektedir.

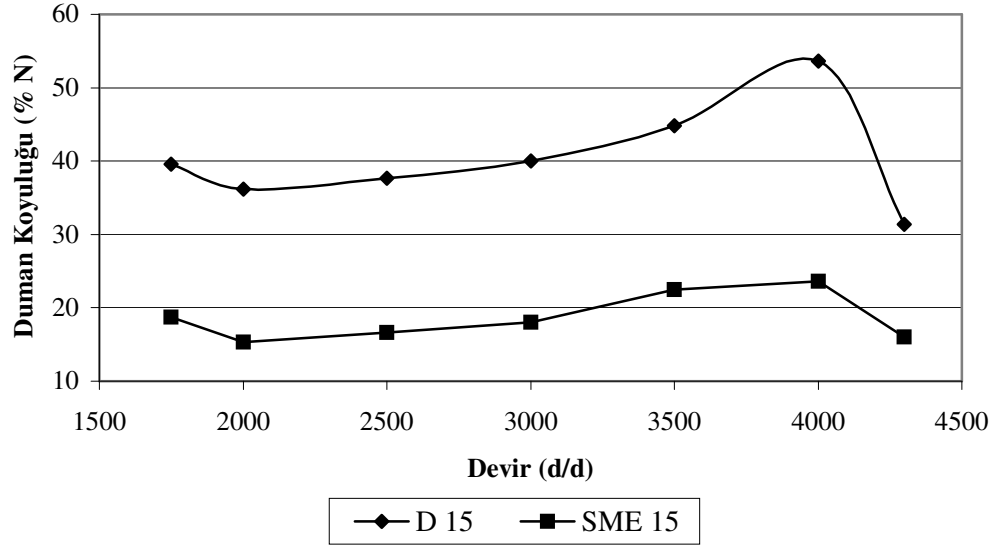
Soya yağı metil esteri ile 12⁰ püskürtme avansında ölçülen K değeri, 15⁰ püskürtme avansında ölçülen K değerlerine göre ortalama % 14,59 artmıştır. 18⁰ püskürtme avansında ölçülen K değerleri ise 15⁰ püskürtme avansında ölçülen değerlere göre ortalama % 2,52 artmıştır. Avans azaltıldıkça yanma sürüngen hale gelmekte ve yanma verimi azaldığından K değeri yükselmektedir. Literatürde benzer sonuçlar vardır [2, 8, 20, 28, 47].

4.8 Duman Koyuluğu Değişimi

Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan şeffaf olmayan partiküllerin, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu değeri % 0' dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu % 100' dür. Normal emişli bir motorda TSE 11365'e göre duman koyuluğu sınır değeri % 64' dür

Dizel yakıtı ile Soya yağı metil esteriden, motorun standart değeri olan 15⁰ püskürtme avansında elde edilen devire bağlı duman koyuluğu değerleri değişimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

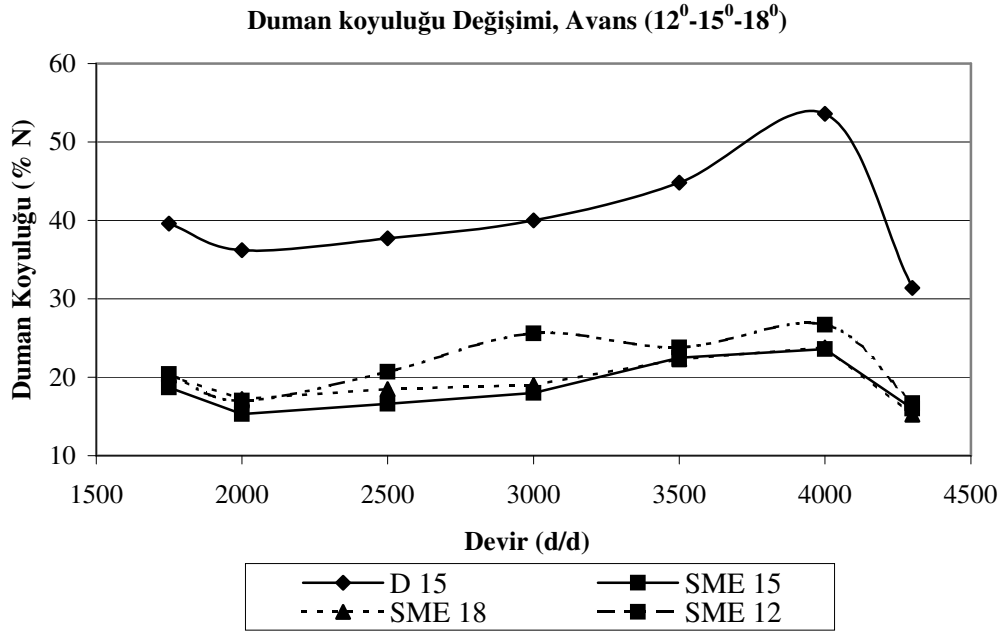
Duman Koyuluğu Değişimi, Avans (15⁰)



şekil 4.15 Motor devri-duman koyuluğu değerleri, püskürtme avansı 15⁰

Yapılan bütün test devirlerinde, soya yağı metil esterinin N değerlerinin , dizel yakıtı N değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Her iki yakıtla yapılan testlerde N değerleri arasındaki en büyük fark 2000 d/d' da % 57,73 olarak ölçülmüştür. Bu devirde soya yağı metil esterinin N değeri % 15,9, dizel yakıtının N değeri % 31,4 olarak ölçülmüştür. En küçük fark ise 4300 d/d' da % 49,04 olarak ölçülmüştür. Bu devirde soya yağı metil esterinin N değeri % 16, dizel yakıtının N değeri ise % 30,8' dir. Test sonucu N değerlerinde dizel yakıtına göre ortalama olarak %53,75 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

şekil 4.16'da motorun standart değeri olan 15⁰ püskürtme avansında dizel yakıtından ölçülen devire bağlı duman koyuluğu değerleri ile, soya yağı metil esteri ile 12⁰, 15⁰, 18⁰ avanslarda yapılan ölçümlerde elde edilen duman koyuluğu değerleri karşılaştırılmal olarak gösterilmiştir.



şekil 4.16 Motor devrine göre değişik avanslardaki duman koyuluğu değerlerinin karşılaştırılması

Motorun püskürtme avansı azaltıldığında (12⁰), duman koyuluğunun arttığı ve dizel yakıtına yakın değerler verdiği görülmektedir. soya yağı metil esteri kullanımı ile en düşük duman koyuluğu değerleri motorun orjinal değer olan 15⁰ avansta elde edilmiştir. 18⁰ avansta da 15⁰,ye benzer sonuçlar çıkmıştır.

Soya yağı metil esteri ile 12⁰ püskürtme avansında llen N değerleri , 15⁰ püskürtme avansında llen N değerlerine göre ortalama %15,77 artmıştır. 18⁰ püskürtme avansında elde edilen N değerleri ise 15⁰ püskürtme avansında llen N değerlerine göre ortalama % 4,62 artmıştır.

4.9 Genel Sonuçlar

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir unsuru olan enerjinin elde edilmesi ve verimli bir şekilde yönetilmesi, ülkelerin geleceği için ihmal edilemeyecek önemli bir konudur. Günümüzde tüketilen enerjinin büyük kısmının karşılandığı fosil yakıtların sonlu olması, yüksek kirletici emisyonlar içermesi ve kaynakların belli ülkelerin

yönetiminde olması, daha temiz, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasını gündeme getirmiştir.

Yenilenebilir enerji için bitkisel yağlar, ülkemizde değerlendirilebilecek doğal bir kaynaktır. Ülkemizdeki Üretimi ve kullanımı yaygınlaşmamış olan soya bitkisinin üretiminin artırılmasına ve soya yağının biyodizel üretiminde kullanılmasının teşvik edilmesine katkı sağlayacağı düşünülerek yapılan bu çalışmada, soya yağı metil esterinin alternatif bir yakıt olarak dizel motor performansı ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

Bu konudaki boşluğu doldurmak amacıyla yapılan deneyler ve araştırmalar sonucunda motorun standart püskürtme avansı olan 15^0 de yapılan testlerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Soya yağı metil esterinin moment değerleri, dizel yakıtı moment değerlerine göre ortalama %2,04 azalmıştır.
- Soya yağı metil esterinin güç değerleri, dizel yakıtı güç değerlerine göre ortalama %1,98 azalmıştır.
- Soya yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi değerleri, dizel yakıtı özgül yakıt tüketimi değerlerine göre ortalama %13,07 artmıştır.
- Soya yağı metil esterinin efektif verim değerleri , dizel yakıtı efektif verim değerlerine göre ortalama %4,17 azalmıştır.
- Soya yağı metil esterinin egzoz sıcaklıkları, dizel yakıtı egzoz sıcaklıklarına göre ortalama %10,91 azalmıştır.
- Soya yağı metil esterinin K değerleri, dizel yakıtı K değerlerine göre ortalama %58,34 azalmıştır.
- Soya yağı metil esterinin N değerleri, dizel yakıtı N değerlerine göre ortalama %53,75 azalmıştır.

Soya yağı metil esteri ile dizel yakıtı karşılaştırıldığında; soya yağı metil esteriyile elde edilen moment ve gücün dizel yakıtına göre azaldığı, bu azalmanın soya yağı metil esterinin yoğunluk ve viskozitesinin yüksek, ısıl değerinin ise düşük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Özgül yakıt tüketiminin arttığı, bu artışın soya yağı metil esterinin ısıl değerinin düşük olmasından kaynaklandığı ve motorun aynı momenti ve gücü vermesi için daha çok soya yağı metil esteri tüketmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Soya yağı metil esterinin ısıl değerinin

dizel yakıtına göre düşük olması efektif verim ve egzoz sıcaklık değerlerini de düşürmektedir.

Soya yağı metil esteri dizel motorlarda kullanıldığında ışık absorpsiyon ve duman koyuluğu değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Soya yağı metil esterinin bünyesinde oksijen bulundurması, ve ısı değerinin dizel yakıtına göre biraz daha düşük olması, yanma sonu sıcaklığı ve basıncını dizel yakıtına göre düşürmektedir. Bu durum eksoz emisyonlarının dizel yakıtına göre düşük olmasında önemli rol oynamaktadır.

Soya yağı metil esteriyle yapılan kısa süreli test sonuçlarına göre, soya yağı metil esterinin dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan alternatif bir yakıt olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Ancak soya yağı metil esterinin dizel motorlarında uzun süreli yol testlerine tabi tutulması gerekmektedir.

Uzun süreli yol testleri sonucunda aynı yol koşullarında dizel yakıtıyla çalışan motorlarla karşılaştırılarak, soya yağı metil esterinin motor performans ve emisyonlarına etkilerinin yanında yakıt deposuna, motor yağına, yakıt pompasına, yakıt boru ve hortumlarına, enjektörlere, yanma odalarına, pistonlara, manifoldlara ve supablara olan etkilerinin incelenmesi gerekmektedir.

Püskürtme avansının değiştirmesiyle yapılan test sonuçlarına göre;

- Soya yağı metil esteriyle 12° püskürtme avansında ölçülen moment değerleri, 15° püskürtme avansında ölçülen moment değerlerine göre ortalama %1,5 azalmıştır. 18° püskürtme avansında ölçülen moment değerleri ise 15° püskürtme avansında ölçülen moment değerlerine göre ortalama %1,70 artmıştır.
- Soya yağı metil esteriyle 12° püskürtme avansında ölçülen güç değerleri, 15° püskürtme avansında ölçülen güç değerlerine göre ortalama %3,63 azalmıştır. 18° püskürtme avansında ölçülen güç değerleri ise 15° püskürtme avansında ölçülen güç değerlerine göre ortalama %1,30 artmıştır.
- Soya yağı metil esteriyle 12° püskürtme avansında ölçülen özgül yakıt tüketim değerleri, 15° püskürtme avansında ölçülen özgül yakıt tüketim değerlerine göre ortalama %3,85 artmıştır. 18° püskürtme avansında ölçülen özgül yakıt tüketim değerleri ise 15° püskürtme avansında ölçülen özgül yakıt tüketim değerlerine göre ortalama %4,60 azalmıştır.

- Soya yağı metil esteriyile 12° püskürtme avansında ölçülen efektif verim değerleri, 15° püskürtme avansında ölçülen değerlere göre ortalama %3,66 azalmıştır. 18° püskürtme avansında ise 15° püskürtme avansında ölçülen efektif verim değerlerine göre ortalama %8,91 artmıştır. Püskürtmenin öne alınması (18° avans) özgül yakıt tüketimini azaltırken efektif verimi artırmaktadır.
- Soya yağı metil esteriyile 12° püskürtme avansında ölçülen egzoz sıcaklıkları, 15° püskürtme avansında ölçülen egzoz sıcaklıklarına göre ortalama %4,76 artmıştır. 18° püskürtme avansında ölçülen egzoz sıcaklıkları ise 15° püskürtme avansında ölçülen egzoz sıcaklıklarına göre ortalama %1,61 artmıştır.
- Soya yağı metil esteriyile 12° püskürtme avansında ölçülen K değerleri, 15° püskürtme avansında ölçülen K değerlerine göre ortalama %14,59 artmıştır. 18° püskürtme avansında ölçülen K değerleri ise 15° püskürtme avansında ölçülen K değerlerine göre ortalama %2,52 artmıştır.
- Soya yağı metil esteriyile 12° püskürtme avansında ölçülen N değerleri, 15° püskürtme avansında ölçülen N değerlerine göre ortalama %15,77 artmıştır. 18° püskürtme avansında ölçülen N değerleri ise 15° püskürtme avansında ölçülen N değerlerine göre ortalama %4,62 artmıştır.
- Soya yağı metil esteriyile yapılan deneyler sırasında motorun ilk çalışması takip edilmiş ve hiçbir sorunla karşılaşılmamıştır. Soğuk iklim şartlarında ilk çalıştırmada sorunlar olabileceği değerlendirilmektedir.

Soya yağı metil esterinin püskürtme avansının değiştirmesiyle yapılan testler sonucunda, yakıtın standart püskürtme avansına göre erken (18°) püskürtülmesiyle moment ve gücün arttığını, püskürtmenin geç (12°) olması halinde ise moment ve gücün önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. 18° püskürtme avansında moment ve gücün artmasına rağmen ışık absorpsiyon katsayısı ve duman koyuluğu değerlerinin standart püskürtme avansına (15°) göre arttığı göz önüne alındığında, soya yağı metil esteriyile için de en iyi çalışma durumunun motorun standart püskürtme avansı değeri olan 15° olması gerektiği değerlendirilmektedir.

Soya yağı metil esterinin yenilenebilir olması, bünyesinde kükürt, aromatik hidrokarbonları ve ham petrol artıklarını içermemesi, dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi olması, ayrıca ısı değeri, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine çok yakın olması alternatif bir yakıt olarak kullanımın da en önemli avantajlarıdır.

Püskürtme avansının daha geniş aralıklarda değiştirilmesi, dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırma, yakıtın ısıtılması ve enjeksiyon basıncının değiştirilmesi gibi parametrik çalışmalar da yapılabilir.

Esterleşme reaksiyonu dışında mikroemülsiyon ve proliz yöntemleri kullanılarak soya yağından üretilen yakıtın da alternatif yakıt olarak motorlarda kullanım olanakları araştırılabilir.

Üretim maliyetini yükselten bir girdi olarak esterleşme reaksiyonunda kullanılan metil alkolün yerel kaynaklarla üretilmesi için çalışmalar yapılmalı ve maliyeti düşürülmelidir.

Soya yağı metil esterinin viskozitesini düşürücü, ısıl değerini arttırıcı kimyasal katıklar geliştirilebilir.

Soya üretiminin arttırılması konusunda teşvik ve tedbirler devam etmelidir. Üretiminde verimliliği artırıp girdi maliyetlerini düşürmek için ülkemizin iklim ve toprak yapısı da dikkate alınarak en uygun soya bitkisi türlerinin yetiştirilmesi teşvik edilmelidir.

Ülkemizin pek çok bölgesinde ikinci ürün olarak da yetiştirilebilecek bu bitkinin ülkemiz ekonomisine sağlayabileceği katkılarda dikkate alınarak bu alanda yapılacak olan çalışmalara teşvik ve desteğin devam etmesi gerekmektedir.

EKLER

EK A 15° Püskürtme Avansında Yapılan Deney Sonucu Değerleri

| TEST P.A.15° | DEVİR d/d YAKIT | 1750 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4300 |
|---|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| GÜÇ (kW) | D | 43,4 | 50,9 | 62 | 71,2 | 75,3 | 76 | 39,9 |
| | SME | 42,7 | 50,2 | 61,5 | 70,6 | 74,3 | 74,7 | 37,1 |
| MOMENT (Nm) | D | 226,3 | 230,5 | 219,7 | 208,3 | 196,5 | 173 | 83,7 |
| | SME | 223,7 | 228,3 | 217,5 | 205,9 | 194,5 | 170,5 | 77,7 |
| ÖZGÜL YAKIT SARFIYATI (g/kwh) | D | 235,9 | 226,7 | 222,6 | 234,4 | 266,9 | 287,8 | 339,3 |
| | SME | 257,1 | 236 | 249,2 | 265,6 | 304 | 326,7 | 426,6 |
| EFEKTİF VERİM (%) | D | 35 | 36 | 37 | 35 | 31 | 29 | 24 |
| | SME | 35 | 38 | 36 | 34 | 29 | 27 | 21 |
| ORTALAMA EFEKTİF BASINÇ (kpa) | D | 1208,3 | 1231,5 | 1200,0 | 1148,4 | 1041,0 | 919,4 | 449,0 |
| | SME | 1180,6 | 1214,5 | 1190,3 | 1138,7 | 1027,2 | 903,6 | 417,5 |
| EGZoz GAZI SICAKLIĞI (°C) | D | 402 | 424 | 468 | 504 | 523 | 520 | 372 |
| | SME | 375 | 390 | 410 | 425 | 478 | 446 | 332 |
| IŞIK ABSORBSİYON KATSAYISI (K, m ⁻¹) | D | 1,2 | 1,05 | 1,11 | 1,34 | 1,43 | 1,81 | 1,09 |
| | SME | 0,55 | 0,43 | 0,5 | 0,49 | 0,63 | 0,74 | 0,42 |
| DUMAN KOYULUĞU (N) | D | 39,6 | 36,2 | 37,7 | 40 | 44,8 | 53,6 | 31,4 |
| | SME | 18,7 | 15,3 | 16,6 | 18 | 22,5 | 23,6 | 16 |

EK B SME ile 12° ve 18° Püskürtme Avansında Yapılan Deney Sonucu Değerleri

| TEST | P.AVANS DEĞERİ | 1750 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4300 |
|--|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| GÜÇ (kW) | 12° P.A. | 40,7 | 48,3 | 59,7 | 70,6 | 71,2 | 72,5 | 36 |
| | 18° P.A. | 43,3 | 51,3 | 61,85 | 71,1 | 75,2 | 75,3 | 38,1 |
| MOMENT (Nm) | 12° P.A. | 221,5 | 226,7 | 215,3 | 205,2 | 192,6 | 167 | 74,2 |
| | 18° P.A. | 224 | 230,8 | 218,9 | 207,3 | 196,05 | 172,5 | 83,45 |
| ÖZGÜL YAKIT SARFIYATI (g/Kwh) | 12° P.A. | 263,29 | 247,67 | 251,18 | 272,21 | 314 | 342,6 | 461,62 |
| | 18° P.A. | 240,67 | 237,68 | 234,89 | 251,17 | 287 | 314,22 | 401,2 |
| EFEKTİF VERİM (%) | 12° P.A. | 34 | 36 | 36 | 33 | 28 | 26 | 19 |
| | 18° P.A. | 37 | 38 | 38 | 36 | 31 | 28 | 22 |
| ORTALAMA EFEKTİF BASINÇ (kpa) | 12° P.A. | 1125,3 | 1168,5 | 1155,5 | 1138,7 | 984,3 | 877,0 | 405,1 |
| | 18° P.A. | 1197,2 | 1241,1 | 1197,1 | 1146,8 | 1039,6 | 910,9 | 428,7 |
| EGZOZ GAZI SICAKLIĞI (°C) | 12° P.A. | 396 | 418 | 446 | 479 | 490 | 465 | 305 |
| | 18° P.A. | 378 | 391 | 419 | 448 | 479 | 450 | 338 |
| IŞIK ABSORBSİYON KATSAYISI (K, m ⁻¹) | 12° P.A. | 0,52 | 0,59 | 0,61 | 0,6 | 0,68 | 0,78 | 0,51 |
| | 18° P.A. | 0,58 | 0,42 | 0,48 | 0,54 | 0,62 | 0,77 | 0,47 |
| DUMAN KOYULUĞU (N) | 12° P.A. | 20,4 | 17 | 20,7 | 25,6 | 23,8 | 26,7 | 16,7 |
| | 18° P.A. | 20,2 | 17,2 | 18,5 | 19 | 22,3 | 23,8 | 15,2 |

EK C Özgül Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi İçin Örnek Hesaplama:

Örnek hesaplama da dizel yakıtı ile 15⁰ Püskürtme avansında, 2500 d/d, 10 sn lik süre içinde tüketilen yakıt miktarı esas alınmıştır. Tüketilen yakıt miktarı hassas terazi yardımı ile ölçülmüştür. Bütün test noktalarında örnek hesaplamada gösterildiği gibi hesaplama yapılmıştır.

Terazideki Ölçüm Yakıtının ilk Ağırlık Değeri: 600 gram

Terazideki Ölçüm Yakıtının Son Ağırlık Değeri: 561,66 gram

Tüketilen Yakıt Miktarı: 600-561,66 = 38,34 gram

Yakıt Tüketimi Esnasında Ölçülen Zaman : 10 saniye

Bir Saniyede Tüketilen Yakıt Miktarı : 38,34 / 10 = 3,834 gram

Saatlik Yakıt Tüketimi : 3,834x3600 = 13801,2 gram olarak bulunmuştur.

2500 d/d'da motordan ölçülen güç ise 62 kW'tır.

Özgül yakıt tüketimi ise;

$be = Be/Pe$ dir.

$be = 13801,2 / 62 = 222,6$ g/kWh bulunur. Denklemde;

be: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)

Be: Saatlik Yakıt Tüketimi (g/h)

Pe: Efektif Motor Gücü (kW)'nü ifade etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Utlu, Z., “Türkiyenin 2023 Yılı Enerji ve Ekserji Kullanım Verimliliğinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2003).
- [2] Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [3] Aytaç, Ş., “Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (1997).
- [4] 2002 Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, (2002), 6-7.
- [5] www.eva.ac.at/publ/pdf/schmidl.pdf. (2005).
- [6] İleri, E., “Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2005).
- [7] Karaosmanoğlu, F., “Türkiye İçin Çevre Dostu - Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı Biyomotorin”, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, İstanbul, (2002), 10(1): 50-56.
- [8] Oğuz, H., “Dizel Yakıtı - Ayçiçek Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (1998).
- [9] Wagner, G.L. and Peterson, C.L., “Performance of Winter Rape (Brassica Napus) Based Fuel Mixtures in Diesel Engines,” Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE, Fargo, ND, (1982), 204, 329-336.
- [10] Ziejewski, M., and Kaufman, K.R., “Laboratory Endurance Test of a Sunflower Oil Blend in a Diesel Engine”, Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1567-1573.

- [11] Pryde, E.H., "Vegetable Oils as Diesel Fuels: Overview", Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1557-1558.
- [12] Engler, C.R., Johnson, L.A., Lepori, W.A. and Yarbrough, C.M., "Effects of Processing and Chemical Characteristics of Plant Oils on Performance of an Indirect-Injection Diesel Engine", Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1592-1596 .
- [13] Ziejewski, M., and Goettler, H.J., "Comparative Analysis of the Exhaust Emissions for Vegetable Oil Based Alternative Fuels", SAE Paper, No. 920195, U.S.A, (1992), 144-154.
- [14] Klopfenstein, W.E. and Walker, H.S., "Efficiencies of Various Ester of Fatty Acids as Diesel Fuels", Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1596-1601.
- [15] Pryde, E.H., "Vegetable Oils as Fuel Alternatives", Symposium Overview, Journal of the American Oil Chemists Society, (1984), 61(10):352-396 .
- [16] Vellguth, G., "Performance of Vegetable Oils and their Monoesters as Fuels for Diesel Engines", SAE Paper, No.831358, U.S.A, (1983), 1098-1108.
- [17] Strayer, R.C., Blake, J.A. and Craig, W.K., "Canola and High Erucic Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel: Preliminary Tests", Journal of the American Oil Chemists' Society, (1983), 60 (8): 1587-1592.
- [18] Geyer, S.M., Jacobus, M.J. and Lestz, S.S., "Comparison of Diesel Engine Performance and Emissions from Neat and Transesterified Vegetable Oils", Transactions of the ASAE, (1984), 27(2): 375-381.
- [19] Wagner, L.E., Clark, S.J. and Schrock, M.D., "Effects of Soybean Oil Esters on the Performance, Lubricating Oil, and Wear of Diesel Engines", SAE Paper, No.841385, U.S.A, (1984), 670-679.
- [20] Altın, R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1998).
- [21] Schinstock, J.L., Hamma, M.A. and Schlick, M.L., "Soybean and Sunflower Oil Performance in a Diesel Engine", Transactions of the ASAE, (1988), 31 (5): 1345-1349.

- [22] Hemmerlein, N., Korte, V., Richter, H. and Schroder, G., "Performance, Exhaust Emissions and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil", SAE Paper, No.910848, U.S.A, (1990), 400-415.
- [23] Schumacher, L.G., Hires, W.G. and Borgelt, S.C., "Fueling a Diesel Engine with Methyl-Ester Soybean Oil", Liquid Fuels from Renewable Resources – Proceedings of an Alternative Energy Conference, Ed. By John Cundiff, ASAE, Nashville, TN., (1992), 124-131.
- [24] Işığür, A., "Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıtı Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1992).
- [25] Scholl, K.W. and Sorenson, S.C., "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine", SAE Tec.Paper, No:920934, (1993), 211-223.
- [26] Hassett, D.J. and Hasan R.A., "Sunflower Methyl Ester as Diesel Fuel", Vegetable Oils Fuels of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuel, ASAE, Fargo, ND, (1992), 123-126.
- [27] Ryon, T., Ragby, M.O., "Identification of Chemical Changes Occuring During the Transient Injection of Selected Vegetablaes Oil", *SAE Paper*, No:930933, USA, 958, (1993).
- [28] Lowry, J.P.A., "Alternative Fuel for Automotive and Statinory Engines in Developing Country", IMechE, MEP, London, (1990), 209-214.
- [29] Kaplan, C., "Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı", Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2001).
- [30] Peterson, C.L. and Reece, D.L., "Emissions Testing with Blends of Esters of Rapeseed Oil Fuel with and Without a Catalytic Converter", SAE Paper, No:961114, U.S.A, 39, (1996), 805-816.
- [31] Schmidt, K. and Gerpen, J.H.V., "The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions", SAE Tech. Paper, No:961086, (1996), 840-851.
- [32] Zang, Y. and Gerpen, J.H.V., "Cumbustion Analysis of Esters of Soybean Oil in a Diesel Engine", SAE Tech. Paper, No:960765, (1996), 782-794.
- [33] Ciğizoğlu, K.B., T. Özaktaş, ve F. Karaosmanoğlu, "Used Sunflower Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines", Energy Sources, 19, (1997), 559-566.

- [34] Demirsoy, M., Kındıroğlu, K., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Değişik Yağların Kullanılması”, 1.Uluslar Arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakóltesi Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, (1997), 107-115 .
- [35] Yanmaz, S., “Pamuk Tohumu Yağının Alternatif Motorin ve Fuel-Oil Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (1998).
- [36] Radu, R. and Mircea, Z., “The Use of Sunflower Oil in Diesel Engines”, SAE Paper, No. 972979, U.S.A (1997), 381-395.
- [37] Thompson, J.C., Peterson, C.L., Reece, D.L. and Beck S.M., “Two Year Storage Study with Methyl and Ethyl Esters of Rapeseed”, Transactions of the ASAE, 410, (1998), 931-939.
- [38] Yücel, H.L., “Dizel Yakıtına Belirli Oranlarda Karıştırılmış Pamuk Yağının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (1998).
- [39] Yücesu, S., Altın, R., “Kanola Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 12 , (1999), 1045-1058.
- [40] McDonnel, K. P., Ward, S. M., Mc Nully, P. B. and Howard-Hildige, R., “Results of Engine and Vehicle Testing of Semi-Refined Rapeseed Oil”, Transactions of the ASAE, 43, (2000), 1309-1316.
- [41] Kavalcı, D., “Bitkisel Kökenli Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarında Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2001).
- [42] Altın, R., etinkaya, S., ve Yücesu, S., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi”, *Turk J Engin Environ Sci*, TÜBİTAK, Ankara, 25, (2001), 39 – 49.
- [43] He, Y. and Bao, T.D., “Study on Rapeseed Oil as Alternative Fuel for a Single-Cylinder Diesel Engine”, *Renewable Energy*, 28, (2003), 1447-1453.
- [44] Al-Vidyan, M. I., Tashtoush, G., Abu-Qudais, M., “Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines”, *Fuel Processing Technology*, 76, (2002), 91-103.

- [45] Yücesu, S., İlkılıç, C., “Pamuk Yağı Metil Esterinin Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ, 15, (2003), 569-578.
- [46] Nwafor, O.M.I., “Emission Characteristics of Diesel Engine Operating on Rapeseed Methyl Ester”, Renewable Energy, 29, (2004), 119-129.
- [47] İlkılıç, C., Öner, C., “Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Motorin Karışımı Kullanılarak Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ, 15, (2003), 579-588.
- [48] Selim, M.Y.E., Radwan M.S. and Elfeky, S.M.S., “Combustion of Jojoba Methyl Ester in an Indirect Injection Diesel Engine”, Renewable Energy, 28, (2003), 1401-1420.
- [49] Pramanik, K., “Properties and Use of Jatropha Curcas Oil and Diesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine”, Renewable Energy, 28, (2003), 239-248.
- [50] Demirel, İ., Şensöz, S., “Zeytin ve Fındık Küspelerinden Elde edilen Biyoyakıtın Karakterizasyonu” Biyoenerji 2004 Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, (2004), 95 – 99.
- [51] Altıparmak, D., Keskin, A., Yıldırım, H.M., Gürü, M., “Dizel Motorlarda Fındık Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak İncelenmesi”, 8. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara, (2004), 641 – 646.
- [52] Raherman, H., Phadatare, A.G., “Diesel Engine Emissions And Performance From Blends Of Karanja Methyl Ester And Diesel”, Biomass and Bioenergy, 27, (2004), 393-397.
- [53] Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., “Yüksek Serbest Yağ Asitli Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorlarda Kullanımı”, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara, (2004), 252 - 262.
- [54] Puhan, S., Vederaman, N., Ram, V.B., Sankarnarayanan, G., Jeychandran, K., “Mahua Oil (Madhuca Indica Seed Oil) Methyl Ester as Biodiesel – Preparation and Emission Characterstics”, Biomass and Bioenergy, 28, (2005), 87-93.
- [55] Labeckas, G., Slavinskas, S., “Performance and exhaust emission characteristics of direct-injection diesel engine when operating on shale oil.” Energy Conversion And Management, 46, (2005), 139-150.

- [56] Koçar, G., Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Biyokütle Ders Notları, İzmir, (2002), 25.
- [57] Uyar, T.S., “Türkiye’nin Enerji Sorunları ve Çözüm Önerileri”, Türkiye Genç İş Adamları Derneği Enerji Raporu, İstanbul, (2003), 42-45.
- [58] Koçak, M.S., “Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2005).
- [59] Gürleyük, S.S. ve Akpınar, S.,Yeni Enerji Kaynakları. Biyodizel, II.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ISBN. 975-395-643-6, (2003), 406-411.
- [60] Ültanır, M.Ö., Türkiyede 21.Yüzyıla Girerken Enerji Durumu ve Gelişme Olanakları, Tüsiad Raporları, 20, (2001).
- [61] Acaroğlu, M. “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas Yayınları, İstanbul, (2003), 229-256 .
- [62] Connemann, J. and Fischer, J., “Biodiesel World 2000”, International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, Würzburg, Germany, 4, (2000).
- [63] Bagby, M.O., Freedman, B. and Schwab, A.W., 1987, Seed Oils for Diesel Fuels. Sources and Properties, ASAE Paper No. 87-1583.
- [64] Freedman, B. and Pryde, E.H., 1982, Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as A Diesel Fuel, Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, American Society of Agricultural Engineers, Fargo, North Dakota, 117-122 pp.
- [65] Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., 2002, Dizel Motorlarda Biodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, No.16, Bursa, 37-50.
- [66] www.Veterinary.ankara.edu.tr/-/fidanci/dersler/lipidler/lipid.htm, (2002).
- [67] “Bitki Adı ile Anılan Yemelik Yağlar Tebliği Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği”, Resmi Gazete 25150, (2003).
- [68] Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine

Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Uludağ Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, (1999).

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

[70] Sharp, C.A., Howell, S.A. and Jobe J., 2000, The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part I Regulated Emissions and Performance, SAE Paper 2000-01-1967.

[71] www.eie.gov.tr/biyodizel/index_biyodizel.html (2002).

[72] www_20.uludağ.edu.tr/-yahya/biyodizel.htm (2005).