

**HAŞHAŞ YAĞINDAN ÜRETİLEN  
BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSINA  
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet İNAL

Danışman  
Prof. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2017

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.07 numaralı proje ile AKUBAP tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAŞHAŞ YAĞINDAN ÜRETİLEN**  
**BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSINA**  
**ETKİSİ**

**Ahmet İNAL**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEMMUZ 2017**

## TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet İNAL tarafından hazırlanan “Haşhaş Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performansına Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 12/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

**Başkan** : Doç. Dr. Fatih AKSOY  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

İmza

**Üye** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

İmza

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KESKİN  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Meslek Yüksek Okulu,

İmza

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

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

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

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

**beyan ederim.**

**12/07/2017**

**Ahmet İNAL**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**HAŞHAŞ YAĞINDAN ÜRETİLEN  
BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSINA  
ETKİSİ**

Ahmet İNAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Gelecekte petrol kökenli yakıtların tükeneceği bilindiğinden, araştırmacılar alternatif enerji kaynakları arayışına girmişlerdir. Bu alternatif enerji kaynaklarından birisi haşhaş yağından elde edilen biyodizel yakıtlarıdır. Bu yakıtlar uzun ömürlü ve çevre dostu olma gibi avantajlara sahiptir. Bu çalışmada, haşhaş yağından biyodizel üretimi tek aşamalı alkali katalizör kullanılarak transesterifikasyon metodu ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizel ile geleneksel dizel yakıtı hacimce ve sırasıyla % 10-% 90 oranlarında karıştırılmış ve B10 yakıtı üretilmiştir. Biyodizelin yakıt özellikleri belirlendikten sonra motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri, direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli bir dizel motorunda incelenmiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketimi% 8,53 artmış, motor gücü ve momentleri ise sırasıyla % 2,41 ve % 2,38 azalmıştır. Emisyon değerleri incelendiğinde is ve NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde sırasıyla % 9,18 ve % 6,62 azalma görülmüştür. Dolayısıyla haşhaş yağından elde edilen biyodizel, dizel motorlarında motor modifikasyonu gerektirmeden alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

**2017, ix + 40 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Haşhaş Yağı, İçten Yanmalı Motor, Motor Performansı.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **THE EFFECT ON ENGINE PERFORMANCE OF BIODIESEL PRODUCED FROM POPPY OIL**

Ahmet İNAL

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. İbrahim MUTLU

As it is known that the petroleum-derived fuels will be soon consumed, researchers have sought the alternative sources of the energy. One of these alternative energy sources is the biodiesel fuels obtained from the poppy oil. These fuels have advantages such as long life and environmental friendliness. In this study, the biodiesel production from poppy oil was carried out by the transesterification method using a single stage alkaline catalyst. The produced biodiesel and the conventional diesel fuel were mixed volumetrically 10%-90%, respectively and B10 fuel was produced. After the determining of properties of biodiesel, the effects of biodiesel on engine performance and exhaust emissions have been studied in a direct-injection and single-cylinder diesel engine. Compared with diesel fuel, specific fuel consumption increased to 8.53%; the engine power and torque decreased to 2.42% and 2.38%, respectively with using of biodiesel. When emission values are examined, it is seen that the smoke and NO<sub>x</sub> emission values decreased to 9.18% and 6.62%, respectively. Therefore, the biodiesel obtained from the poppy oil can be used as an alternative energy source in the diesel engines without engine modification.

**2017, ix +40 Pages**

**Keywords:** Biodiesel, Poppy Seed Oil, Internal Combustion Engine, Engine Performance..

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitim sürecim boyunca mesleklerine ve hayata yaklaşımlarıyla bizlere örnek olan, bilgi ve deneyimlerini bizlerden esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU ve Sayın Doç. Dr. Fatih AKSOY'a, deneysel çalışmalarım sırasındaki katkılarından dolayı A.K.Ü Teknoloji Fakültesi Laboratuvarı personeline ve bu çalışma sürecinde bana destek olan değerli eşim Esra İNAL'a ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımındaki katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümü öğretim üyelerinden Sayın Doç. Dr. Hamit SOLMAZ, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ ve Sayın Arş. Gör. Emre YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma "16.FEN.BİL.07" numaralı ve "Haşhaş Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performansına Etkisi" isimli AKUBAP projesi tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı AKUBAP'a teşekkür ederim.

Ahmet İNAL

AFYONKARAHİSAR, 2017

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
3. DİZEL MOTOR YAKITLARI ve BİYODİZEL .....	8
3.1 Dizel Yakıt Özellikleri .....	8
3.2 Biyodizel .....	11
3.2.1 Biyodizel Yakıtı Genel Özellikleri.....	11
3.2.2 Biyodizelin Genel Özellikleri .....	13
3.2.3 Biyodizelin Kullanım Alanları.....	14
3.2.4 Biyodizelin Depolanması .....	15
3.2.5 Biyodizel Üretim Metotları .....	15
3.2.5.1 İnceltme (Seyreltme).....	16
3.2.5.2 Mikro-Emülsiyon.....	17
3.2.5.3 Piroliz.....	17
3.2.5.4 Transesterifikasyon .....	17
3.3 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları .....	19
3.3.1 Biyodizelin Avantajları .....	19
3.3.2 Biyodizelin Dezavantajları.....	20
4. MATERYAL ve METOD.....	21
4.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar ve Deney Düzenekleri .....	21
4.1.1 Biyodizel Üretimi.....	21
4.1.2 Terazı.....	22
4.1.3 Manyetik karıştırıcı ısıtıcı .....	22
4.1.4 Santrifüj.....	23
4.1.5 Katalizör .....	23



4.1.6 Metil Alkol (Metanol) .....	24
4.2 Motor Testinde Kullanılan Ekipmanlar .....	24
4.2.1 Test Motoru .....	26
4.2.2 Emisyon Cihazı .....	26
4.2.3 İis Ölçüm Cihazı .....	27
4.3 Deneysel Çalışmalar .....	28
4.3.1 Biyodizel Üretimi .....	28
4.3.1 Motor Test Yöntemi .....	28
5. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	29
5.1 Motor Momenti Değişimi .....	29
5.2 Motor Gücü Değişimi .....	29
5.3 Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi .....	30
5.4 İis Emisyonu Değişimi .....	31
5.5 NO <sub>x</sub> Emisyonları Değişimi .....	31
6. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	33
7. KAYNAKLAR .....	35
7.1 İnternet Kaynakları .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	40

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

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

---

### Kısaltmalar

---

ASTM	Amerikan Standart Test Yöntemi
B20	Hacimsel olarak % 20 Biyodizel+% 80 Dizel Yakıtı
B10	Hacimsel olarak % 10 Biyodizel+% 90 Dizel Yakıtı
B5	Hacimsel olarak % 5 Biyodizel+% 95 Dizel Yakıtı
CFPP	Cold Filter Plugging Point (soğukta filtre tıkanma noktası)
CP	Cloud Point (Bulutlanma noktası)
DIN	Deutsche Industri Norm (Alman Endüstri Normları)
FFA	Free Fatty Acids (Serbest Yağ Asitleri)
PP	Plugging Point (Tıkanma Noktası)
SFC	Specific Fuel Consumption

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1 Baz katalizli transesterleşme reaksiyon mekanizması .....	18
Şekil 3.2 Transesterifikasyon işlemi genel şeması .....	18
Şekil 5.1 Dizel ve B10 yakıtların motor torklarının değişimi.....	29
Şekil 5.2 Dizel ve B10 yakıtların motor güçlerinin değişimi.....	30
Şekil 5.3 Dizel ve B10 yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin değişimi.....	30
Şekil 5.4 Dizel ve B10 yakıtların is emisyon verileri. ....	31
Şekil 5.5 Dizel ve B10 yakıtların NO <sub>x</sub> emisyon verileri. ....	32

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Dizel yakıt özellikleri.....	9
Çizelge 3.2 Biyodizel karışım oranları.....	12
Çizelge 3.3 ASTM biyodizel yakıt özellikleri .....	12
Çizelge 3.4 TS EN 14214 otomotiv yakıtları yağ asidi metil esterleri (YAME) dizel motorlar için belirlenen standart özellikler.....	13
Çizelge 3.5 Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları.....	16
Çizelge 4.1 Antor 6LD400 test motoru özellikleri.....	26
Çizelge 4.2 Motor deneylerinde kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri	27
Çizelge 4.3 AVL 4000 is ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	27
Çizelge 4.4 Optimun koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler .....	28

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 4.1</b> Biyodizel üretimi. ....	21
<b>Resim 4.2</b> Hassas terazi. ....	22
<b>Resim 4.3</b> Manyetik karıştırıcı ısıtıcı.....	22
<b>Resim 4.4</b> Santrifüj. ....	23
<b>Resim 4.5</b> Katalizör. ....	24
<b>Resim 4.6</b> Metil alkol (Metanol).....	24
<b>Resim 4.7</b> Test düzeneği. ....	25
<b>Resim 4.8</b> TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı.....	27
<b>Resim 4.9</b> Üretilen biyodizel. ....	28

## 1. GİRİŞ

Enerji insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada kullandığı en büyük değerdir. Ekonomik kalkınmanın bir ölçüsü olan enerji bütün toplumların en büyük sorunudur. Birçok ülke bu ciddi konunun çözümünü ilk olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynaklı yakıtlarda aramaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar dünyanın enerji ihtiyacının % 80'ini karşılamaktadır (Şahin 2014). 2009 dünya enerji istatistiklerine göre 2007 yılında dünyanın birincil enerji tüketimi, % 88'i fosil kaynaklardan oluşmak üzere 11104 milyon ton petrol eşdeğeri yakıtlar olarak belirlenmiştir. 2030 yılında bu sayının 17010 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Özgür 2011). Ayrıca 1993 yılında yapılan çalışmalar petrol rezervlerinin 43 yıl, kömür rezervlerinin 236 yıl ve gaz rezervlerinin 64,9 yıl ömrünün kaldığını göstermektedir (Gök 2008).

Petrolün dünya üzerinde bazı bölgelere dağılmış olması bazı ülkeleri avantajlı hale getirmiştir. Yaşanan petrol krizleri, petrol fiyatlarının artması ve petrolün çevreye verdiği zarardan dolayı yönetimler alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar başlatmıştır. Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Şahin 2013). Alternatif enerji kaynaklarının sürdürülebilir, ucuz ve çevre dostu olması beklenmektedir. Bu açıdan verimli bir biyodizel yakıtı petrol yakıtının yerini alabilecek bir potansiyeldedir (Kılınçlı 2011).

Biyodizel, ülkemizin tarım ülkesi olması açısından bitkisel kaynaklı olması yönüyle önemli bir seçenektir. Aynı zamanda biyodizelin iş olanaklarını arttırarak yan sanayinin gelişmesine katkı sağlayacağı bir gerçektir. Bunun yanı sıra kırsal kesim ekonomisini güçlendirmesi beklenmektedir (Karabektaş 2002). Biyodizelin yenilenebilir olması, ısıl değerinin yüksek olması, yapısında ki oksijenler sayesinde egzoz emisyonlarını azaltması ve çevre dostu olması, kolaylıkla esterleşebilmesi, setan sayısının yüksek olması, sülfür oranının düşük olması, fiziksel ve kimyasal olarak geleneksel dizel yakıtına benzemesi, yüksek parlama noktasına sahip olması ve yağlama özelliğinin iyi olması ve modifiye gerektirmemesi biyodizeli içten yanmalı motorlarda alternatif bir yakıt haline getirmiştir (Şahin 2014, Kılınçlı 2011).

Bitkisel yağlar dizel motor yakıtı olarak 1900'lerde kullanılması Rudolf Diesel tarafından gerçekleştirilmiştir. Fakat dizel yakıtının petrol kökenli olarak yıllarca ucuz ve bol miktarda bulunması motorun bu yakıtı uyumlu şekilde geliştirilmesine sebep olmuştur. Ancak zaman içerisinde petrol sıkıntılarıyla birlikte bitkisel yağların yakıt üretimi gündeme gelmiş ve bu yönde çalışmalar artmıştır (Alibaş ve Ulusoy 1995).

Bitkisel yağlar enerji içerikleri bakımından dizel yakıtına göre 10-20 kat daha yüksek viskoziteye sahiptir. Bundan dolayı enjektörlerde tıkanma, motor ömrünün kısalması gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu olumsuzluklar nedeniyle motor bakım masrafları artmaktadır. Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak değerlendirilebilmesi için yüksek viskozite sorunu çözümlenmelidir. Yüksek viskozite sorunu bazı yöntemlerin saf bitkisel yağlara uygulanmasıyla çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemler; mikro emülsiyon oluşturma, transesterifikasyon, proliz ve seyreltme yöntemleridir. Bunlardan en önemlisi transesterifikasyon yöntemidir (Altın 1998).

Bu çalışmada; haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiş ve dizel yakıtı ile karıştırılarak B10 yakıtı oluşturulmuştur. Daha sonra bu yakıtın özellikleri belirlenmiş ve motor performans testleri yapılarak emisyon değerlerine etkisi incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Biyodizel hakkında ülkemizde ve diğer birçok ülkede sayısız çalışma yapılmıştır. Üniversitelerde yapılan tez ve makale çalışmaları ve yabancı kaynaklı birçok kitap konuya ışık tutmuştur.

Oksitlenmiş ve oksitlenmemiş iki biyodizel yakıtının motor performansına etkilerini geleneksel dizel yakıtı ile karşılaştırılma deneyleri John Deere 4276T turbo şarjlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda saf biyodizel, B20 ve geleneksel dizel yakıtı için denenmiş. Deneysel sonuçlara göre tüm yakıtların verimlerinin benzer olduğu; ancak biyodizel yakıtlarının dizel yakıtına göre daha fazla özgül yakıt tüketimine sahip olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca oksitlenmemiş biyodizel yakıtı ile karşılaştırılma yapıldığında oksitlenmiş saf biyodizel yakıtı daha az % 15 CO ve % 16 HC emisyonlarına sahiptir. Diğer emisyonlar arasında bariz bir değişim elde edilmemiştir (Menyem and Gerpen 2001).

Bir silindirli bir dizel motoru için palmiye yağı-su karışımı alternatif yakıt olarak kullanılarak ve yakıtın motor performansına etkileri incelenmiştir. % 0, % 5, % 10 ve % 15 oranında su içeren CPO (Ham palm yağı)/Su emülsiyonlarını dört sette gerçekleştirilmiş ve aynı orandaki dizel su emülsiyonları ile karşılaştırılmıştır. Testleri yük olmadan 2200 dev/dk ve 2600 dev/dk motor devrinde gerçekleştirilmiş. Deneysel sonuçlara göre yakıt içindeki su miktarı arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı ve CO miktarının arttığı görülmüştür (Masjuki and Irfan 2003).

Tütün tohumundan elde edilen metil ester ile dizel yakıtı karışımlarını ön yanma odalı turbo şarjlı bir dizel motorunda test edilmiş. Karışımlar % 10, % 17,5 ve % 25 oranlarında hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlara göre % 10 ve % 17,5'lik karışımlar için motor gücü ve momentleri dizel yakıtına göre sırasıyla % 0,64 ve % 2,97 artış; % 25'lik karışım için % 1,91 azalma göstermiştir. Ayrıca NO<sub>x</sub> miktarı artarken CO ve partikül madde miktarı azalmıştır (Usta 2005).

Ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizeli tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda test edilmiş. Deneysel sonuçlara göre biyodizel



kullanımıyla motor efektif gücü ve momenti ortalama % 9,07 azalmış, ısı verim ortalama % 6,51 artmıştır. Egzoz emisyonlarından CO miktarı % 10,83 azalmış, CO<sub>2</sub> miktarı % 6,73 artmış ve NO<sub>x</sub> miktarı % 24,41 artmıştır (Karamanlı 2015).

Rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon metoduyla üretilen biyodizeli aşırı doldurulmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test edilmiş, Motor performansının biyodizelin alt ısı değerinden dolayı düştüğünü; ancak verim, NO<sub>x</sub> ve özgül yakıt tüketiminin arttığını, egzoz sıcaklığı ve duman koyuluğunun azaldığını belirtmişlerdir (Haşimoğlu *et al.* 2008).

Pamuk tohumu yağından transesterifikasyon yoluyla elde edilen metil esteri 4 zamanlı, tek silindirli ve hava soğutmalı bir motorda test edilmiş. Deneysel sonuçlara göre metil esterinin motor gücü ve momenti, dizel yakıtına göre yaklaşık % 3-9 azalmış, özgül yakıt tüketimi ise yaklaşık % 8-10 artmıştır. Ayrıca CO<sub>2</sub>, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir (Yücesu ve İlkılıç 2006).

Soya yağından farklı oranlarda biyodizel üretmiş ve motor performansına olan etkilerini dizel yakıtıyla karşılaştırmıştır. B2'den B50'ye kadar olan biyodizel karışımlarının, dizel yakıtına göre daha yüksek güç değerlerine ulaştığını bildirmiştir. B80 ve B100 için motor gücünde düşüş gözlemlenmiş, bu da yakıtın biyodizel yüzdesinde artışla birlikte kinematik viskozitesindeki artışın, enjektörlerde gerçekleşmesi gerekli atomizasyonu sınırlayıcı bir etkide bulunmasına bağlanmıştır (Bolat 2007).

Soya yağı metil esterinin motor performansına ve emisyonlarına etkisini incelenmiş, Testler tam yükte dizel ve soya yağı metil esteri ile 1200-2400 dev/dk motor devri aralığında yapılmış, Biyodizel kullanıldığında özgül yakıt sarfiyatının arttığı; NO<sub>x</sub>, CO, HC ve is emisyonlarının ve motor gücünün azaldığı tespit edilmiştir (Sekmen ve Aktaş 2008).

Aspir yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen yakıt, geleneksel dizel yakıtı ile % 2 ve % 20 oranlarında harmanlanmıştır. Üretilen B2 (% 2), B20 (% 20), B100 (saf biyodizel) ve motorin yakıtları dört zamanlı,

tek silindirli, su soğutmalı, direk püskürtmeli yakıt sistemine sahip bir dizel motorunda test edilmiştir. Test sonuçlarında B100 yakıtının kullanımı ile CO emisyonlarında azalma maksimum ve 1300 dev/dk' da % 55,02 olduğu görülmüştür. Motorin kullanımı ile CO<sub>2</sub>emisyonları B2, B20 ve B100 yakıtlarına göre düşük çıkmıştır. Ayrıca B100 yakıtının SO<sub>2</sub> değerinin en düşük çıktığı görülmüştür. Ortalama emisyon değerlerinde B100 yakıtının kullanımı ile NO<sub>x</sub> değerleri motorin yakıtının değerlerine göre % 50 daha yüksektir (Özçelik 2011).

Aspir tohumundan hacimce B5, B20, B50 ve B100 oranlarında biyodizel üretilmiş, yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini tek silindirli bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre B5, B20 ve B50 yakıtları için performans değerlerinde sırasıyla ortalama % 2,2, % 6,3 ve % 11,2 azalma olduğu, fren özgül yakıt tüketiminde % 2,8, % 3,9 ve % 7,8 artış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca biyodizel kullanımı ile partikül madde, CO ve is emisyonları ciddi derecede azalırken, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları artmıştır (Kılınçlı 2011).

Susam yağından elde edilen biyodizelin dizel motoruna etkileri araştırılmış. Susam yağının motorin ile % 25, % 50 ve % 75 oranlarındaki karışımlarını dört zamanlı ve direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanmıştır. Susam yağı ve motorin karışımlarının deneylerde kullanılan oranları için motor yapısında değişiklik yapılmadan kullanılabileceği belirtilmiştir (Altun 2009).

Balık yağından ve atık yemeklik yağdan üretilen biyodizeli % 100 olarak (B100) dizel motorunda 800 dev/dk – 2000 dev/dk arasında 200 dev/dk devir aralıklarıyla test edilmiş ve dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Biyodizelin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre yüksek olduğunu belirtilmiştir (Lin and Li 2009).

Kanola yağı metil esteri ile geleneksel dizel yakıtının farklı oranlardaki karışımlarının, tek silindirli, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı bir dizel motorunda kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Dizel yakıtına % 25, % 50 ve % 75 oranında kanola yağı metil esteri ilave edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre dizel yakıtı içine katılan kanola yağı metil esteri miktarı arttıkça motor gücü, motor

momenti, HC, ve CO değerleri azalmış; fren özgül yakıt tüketimi, NO<sub>x</sub> ve duman değerleri artmıştır (Özer *et al.* 2011).

Keten yağından üretilen biyodizel ile klasik dizel yakıtını farklı oranlarda harmanlayarak motor performansına etkilerini incelemiştir. Dizel, B2, B5, B20, B50 ve B100 (saf biyodizel) yakıtlarının performans değerlerini birbirleriyle karşılaştırmıştır. Deneysel sonuçlara göre biyodizel ve karışımların motor performansına etkisi dizel yakıtı ile benzerlik göstermiştir. Motorun maksimum momenti dizel ve B100 yakıtı için sırasıyla 1000 dev/dk motor devrinde 59,6 Nm ve 1200 dev/dk motor devrinde 53,8 Nm olarak ölçölmüştür. Maksimum güç dizel ve B100 yakıtı için sırasıyla 2100 dev/dk motor devrinde 10,96 kW ve 2000 dev/dk motor devrinde 10,23 kW olarak ölçölmüştür. En düşük özgül yakıt sarfiyatı ise dizel ve B100 yakıtı için sırasıyla 1000 dev/dk motor devrinde 231,36 g/kWh ve 1200 dev/dk motor devrinde 296,73 g/kWh olarak ölçölmüştür (şahin 2013).

Fındık yağı ve balık yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle üretilen balık yağından metil esteri (BYME) ve fındık yağından metil (FYME) esterleri hacimce % 50 oranında dizel yakıtıyla karıştırılmış ve elde edilen yakıtları bir dizel motorunda test edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre motor gücü, momenti, CO, HC ve SO<sub>2</sub> değerleri azalmış ve özgül yakıt tüketimi ve NO<sub>x</sub> değerleri artış göstermiştir (Behçet ve Oral 2014).

Yabani zeytinden transesterifikasyon yöntemi ile üretilen, biyodizel için önemli olan viskozite, özgül ağırlık, iyot sayısı, parlama noktası, ısıl değer gibi parametreler için test edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre yabani biyodizelin kinematik viskozitesinin 4,93 mm<sup>2</sup>/s, özgül ağırlığının 0,883 g/cm<sup>3</sup>, iyot sayısının 82 g iyot/100g, ısıl değerinin 41300 kJ/kg olarak TS 14214 standardına uygun olduğunu ve parlama noktası olarak 60 °C ile C1190 standardında olduğunu saptamıştır (Arslan 2015).

Saf kızartma yağından transesterifikasyon metoduyla elde edilen biyodizeli petrodizel yakıtına ilave ederek B20, B30, B50 ve B75 biyodizel karışımları üretilerek. Deneysel sonuçlara göre en iyi performans değerlerini B5 ve B30 yakıtları için, en düşük yakıt

tüketimi ve en yüksek verimi B20 yakıtı için elde edilmiştir. B5 yakıtından B100 yakıtına kadar dizel yakıtına eklenen metil ester miktarının artmasıyla CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> miktarı artmış ve CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve HC miktarı azalmıştır (Paulo *et al.* 2016).

Kök boyagiller ailesinden genus Meyna bölgesindeki kutkura adı verilen bir bitkiden biyodizel üretilmiştir. Kutkura tohumu % 35,45 yağ içeriğine ve % 3,1 serbest yağ asidine sahip olduğu için biyodizeli transesterifikasyon metoduyla üretilmiştir. Transesterifikasyondan sonra biyodizel yakıtlarının kinematik viskozitesi dizel yakıtıyla benzer hale getirilmiş. B10 ve B20 ile yapılan deneylerde özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı ile benzer olduğunu ve termal verim ile is emisyonlarının biyodizel kullanımı ile azaldığını belirtmiştir (Kakati and Gogoi 2016).

### **3. DİZEL MOTOR YAKITLARI ve BİYODİZEL**

Dizel motorlarında yanma olayı, silindir içinde sıkıştırılmış, yüksek basınç ve sıcaklığa sahip havaya yakıtın püskürtülmesi, damlacıklara ayrılması, buharlaşması ve tutuşması ile gerçekleşmektedir.

Dizel motorlar, motorun yakıtı oluşturma şekline bağlı olarak Direkt Enjeksiyonlu Motorlar (Direct Injection Engine – DI) ve Endirekt Enjeksiyonlu Motorlar (Indirect Injection Engine – IDI) olarak iki grupta toplanırlar. Endirekt enjeksiyonlu motorlarda bir ön yanma odası dar bir geçit vasıtasıyla ana yanma odasına bağlanır ve sıkıştırma esnasında silindirden ön yanma odasına doğru oluşan hava geçişi, ön yanma odasında hava hareketi oluşturur. Bu hava hareketi sayesinde ön yanma odasına püskürtülen yakıt ile havanın iyi bir şekilde karışmasını sağlar ve yanma ön yanma odasında başlar. Ön odada yanma sonrasında oluşan yüksek basınç ve sıcaklık ile yanma ana yanma odasında da devam eder. Direkt enjeksiyonlu motorlarda ise yanma odası bölünmemiştir ve genellikle piston yüzeyine iyi bir türbülans sağlaması amacıyla açılmış bir oyuk bulunmaktadır. Bazı motorlarda daha iyi bir türbülans sağlamak için emme kanalına helisel bir şekil verilmektedir. Emme zamanında hava helisel giriş kanallarından geçerek dönme hareketi yapar ve bu sayede türbülans kuvvetlendirilir. Enjektörden püskürtülen yakıt yüksek basınç altında yanmaya başlar. Dizel motorlarda yanma ile ilgili detaylı bilgiler ve yanmaya etki eden faktörler Heywood 1988, Staudt 2003 ve Safgönülvü 1995’de bulunmaktadır. Yapılan çalışmalara göre direkt enjeksiyonlu motorların, endirekt enjeksiyonlu motorlara göre daha yüksek verim ve daha az yakıt sarfiyatına sahip olmasından dolayı direkt enjeksiyonlu motorlar daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca motorda kullanılan yakıtın kalitesine olan hassasiyet, direkt enjeksiyonlu motorlarda daha fazladır (Knothe *et al.* 1996).

#### **3.1 Dizel Yakıt Özellikleri**

Genel olarak dizel yakıt ile ilgili bazı önemli özellikler hakkında aşağıda bilgi verilmektedir (Knothe *et al.* 1996).

**Çizelge 3.1** Dizel yakıt özellikleri.

<b>Yakıt Özelliği</b>	<b>Değer</b>
Kinematik viskozite (mm <sup>2</sup> /s, 40 °C de)	1,9 – 4,1
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> , 15°C de)	0,85
Su ve tortu miktarı (% hacimce, maks.)	0,05
Toplam kükürt (% kütlece, maks.)	0,05
Alevlenme Noktası (°C, min.)	52
Bulutlanma noktası (°C)	(-15) – 5
Setan Sayısı	40-55
Kül (% kütlece)	0,01

Akışkanların akmaya gösterdiği dirence viskozite denir. Dizel motorlarının özellikle yakıt besleme ve enjeksiyon sistemlerinde viskozite önemli bir parametredir. Yakıtın viskozitesi azaldıkça borulardaki akışa gösterilen direnç azalmakta ve püskürtme sonucu oluşan yakıt damlacıklarının sayısı artmakta ve daha küçük çaplara ayrılmaktadırlar. Bu sayede yanma yüzey alanı artacağından motorda yanma iyileşmekte ve daha az is emisyonu meydana gelmektedir (Safgönül *et al.* 1995).

Yoğunluk birim hacimdeki yakıtın kütle miktarı olup, yakıtın, karbon-hidrojen miktarı, yakıtın parçalanması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili bilgiler verir. Dizel motorlarda enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel ölçüde gönderdikleri için yakıtın özgül kütlesi, motor içine gönderilen yakıtın kütle miktarını doğrudan etkiler. Moleküller içindeki hidrojen sayısı arttıkça özgül kütle genel olarak azalmaktadır.

Dizel yakıtların içinde bulunan su ve tortu filtrelerin servis ömürlerini azaltır. Yakıt püskürtme sisteminin ve motor elemanlarının aşınmalarına neden olur. Soğuk havalarda yakıt içerisindeki suyun donması sebebi ile yakıt püskürtme sistemindeki borular içerisinde akamaz hale gelir. Dizel yakıtlarında maksimum su ve tortu miktarı hacimsel olarak % 0,05 olmalıdır (Gerpen *et al.* 2004).

Dizel yakıtında bulunan kükürt, yanma sonucu SO<sub>2</sub>'ye dönüştürülür, SO<sub>2</sub> ise su ile reaksiyona sokularak H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Sülfirik asit) oluşturmaktadır. Ancak egzoz sisteminde

yoğuşan  $H_2SO_4$  burada korozyona sebep olmaktadır. Doğa ve insan sağlığı egzoz sistemindeki  $SO_4$  ve  $H_2SO_4$ 'ten kötü etkilendiği için yakıt içerisinde kükürt oranının az olması beklenmektedir.

Yakıt buharının alev ile temas ettiğinde alev aldığı sıcaklığa alevlenme noktası denir. Yüksek alevlenme sıcaklığı depolama ve taşıma güvenliği şartlarını kolaylaştırmaktadır (Safgönül *et al.* 1995).

Soğutulan sıvılarda ilk kristalleşmenin görüldüğü sıcaklık bulutlanma sıcaklığını gösterir. Yakıtın sıcaklığı bulutlanma sıcaklığının altına düşerse yakıt matlaşarak yavaş yavaş akışı durdurmaktadır. Yakıtın kristalleşmeye başlamadan ulaştığı en düşük sıcaklığa akma noktası sıcaklığı adı verilmektedir. Bu noktaların önemi, yakıtın soğuk şartlarda çalışma özellikleri gösteriyor olmasıdır (Knothe *et al.* 1996).

Setan sayısı dizel yakıtların tutuşmaya olan isteğidir. Diğer bir ifadeyle sıkıştırma sonunda silindire püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşabilme yeteneğidir. Dizel motorlarda yakıtının en kısa sürede tutuşabilmesi için yakıtın tutuşma isteklerinin yüksek olması gerekir. Setan sayısının düşük olması yakıtın tutuşmasını geciktireceğinden, yanma odasında biriken yakıt ani bir şekilde yanmasına ve basıncın aşırı yükselerek motorun yüksek mekanik ve termal yüklere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Buna dizel vuruntusu da denmektedir. Setan sayısının çok yüksek olması ise tutuşma gecikmesini süresini azaltır ve yanma çok kısa bir sürede ve enjektörlere yakın yerlerde gerçekleşeceğinden enjektörlerin tıkanmasına yol açmaktadır (Safgönül *et al.* 1995).

Isıl değer, silindir içerisinde yanma sonucunda ne kadar enerji elde edilebileceğini gösteren bir tanımdır. Yakıt içerisindeki oksijen, hidrojen, kükürt gibi maddeler yakıtın ısı değerini belirlemektedir. Hidrojen miktarı arttıkça yakıt doymuş hale gelmekte ve ısı değeri artmaktadır (Dağ 2013).

Yakıtın sahip olduğu enerjiyi tanımlamada genel olarak alt ısıl değer, üst ısıl değer ya da kalorifik değer gibi ifadeler kullanılmaktadır. Alt ve üst ısıl değerler arasındaki fark yanma sonucu oluşan H<sub>2</sub>O'nun buharlaştırılması için gereken enerji miktarını göstermektedir. Amaca uygun olarak üretilen yakıtlar farklı rafinasyon işlemlerinden geçirildikleri için farklı alt ısıl değerlerine sahiptirler. Örneğin kükürtsüz yakıtın enerji içeriği az kükürlü yakıtlara göre biraz daha fazladır. Bu durum kükürt uzaklaştırmanın bir sonucudur. Yakıt içerisindeki kükürdün oksitlenmesi için gereken enerji azaltılmış olmaktadır. Ayrıca ısıl değeri yüksek olan yakıtlar düşük ısıl değerli yakıtlara göre daha iyi bir özgül yakıt tüketimine sahiptirler (Liet *al.* 2005).

Petrol kaynaklı ürünlerde, ısıl ayrıştırmaya maruz bırakılınca çıkan uçucu gazların geri kalan karbon kalıntısını gösterir (Gerpen *et al.* 2004). Yanma sonucu yakıt içerisindeki fazla karbon silindir içerisinde karbon birikintilerinin oluşmasıdır. Bu durum yanma odasında sıcak noktalar oluşturarak parçaların ısı transferini zorlaştırmakta ve korozyon, aşırı ısınma ve çatlama gibi problemler ortaya çıkarmaktadır. Motor performansı ve egzoz emisyonları bu sorunlardan etkilenmektedir. Yakıt içerisinde fazla miktarda karbon bulunduğu için yakıt zor yanmakta, HC ve is emisyonları artmaktadır (Doğan 2012).

## **3.2 Biyodizel**

### **3.2.1 Biyodizel Yakıtı Genel Özellikleri**

Biyodizel, mevcut motor yakıtlarının çevreye verdiği zararları azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dikkat çekmek için üretilen alternatif bir enerji kaynağıdır. Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde (KOH, NaOH) kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan uzun zincirli yağ asidi metil esterleridir (Şahin 2014, Kılınçlı 2011). Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserid adını almaktadır. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır (Dağ 2013).



Petrol içermeyen biyodizel hem tek başına hem de dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılarak dizel motorlarında kullanılabilir. Bu karışımlar içerisindeki dizel ve biyodizel miktarına göre isimlendirilmektedir (Arslan 2015).

**Çizelge 3.2** Biyodizel karışım oranları (Arslan 2015).

Sembol	% Biyodizel	% Dizel
B10	10	90
B20	20	80
B50	50	50
B100	100	0

Bitkisel yağların dizel yakıtlarla karıştırılarak direkt olarak motorda kullanımı yüksek viskozite, asit korozyonu, karbon birikimi ve polimerleşme gibi problemlerden dolayı uygun değildir. Bu problemlerin önüne geçilmesi için yapılan çalışmalar öncelikle yağın viskozitesinin azaltılması amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla transesterifikasyon, seyreltme, piroliz, mikro emülsiyon oluşturma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Aksoy 2010).

**Çizelge 3.3** ASTM biyodizel yakıt özellikleri.

Yakıt Özelliği	Sınır Değer
Alevlenme Noktası (°C)	130
Su ve Tortu Miktarı (% Hacimce)	0,05
Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> 40 °C de)	1,9-6,0
Kül İçeriği (% Kütlece, Maksimum)	0,02
Toplam Kükürt Miktarı (% Kütlece, Maksimum)	0,05
Setan Sayısı (Minimum)	47
Karbon Kalıntısı (% Kütlece, Maksimum)	0,05
Asit Numarası (mg/KOH/g, Maksimum)	0,8
Serbest Gliserin (% Kütlece, Maksimum)	0,02
Toplam Gliserin (% Kütlece, Maksimum)	0,24
Fosfor İçeriği (% Kütlece, Maksimum)	0,001

### 3.2.2 Biyodizelin Genel Özellikleri

Dizel yakıtları alternatif olarak kullanılan biyodizel yakıtlarında hem dizel yakıtlarının iyi özelliklerinin hem de başka özelliklerinde bulunması istenmektedir. Bu yüzden bu özellikler ASTM (American Society for Testing and Materials) ve TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından standartlaştırılmıştır. Bu özellikler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te gösterilmiştir (Arslan 2015).

**Çizelge 3.4** TS EN 14214 otomotiv yakıtları yağ asidi metil esterleri (YAME) dizel motorlar için belirlenen standart özellikler (Yücesu ve İlkılıç 2006).

Analiz Adı	Birim	En az (min)	En çok (max)	Deney Yöntemi
Ester Muhtevası	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C'de	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675- EN ISO 12185
Viskozite, 40 °C'de	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120	-	EN ISO3679
Kükürt Muhtevası	mg/kg	-	10	EN ISO 20846- EN ISO 20884
Karbon Kalıntısı (% 10 Damıtma Kalıntısında)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Setan sayısı		51		EN ISO 5165
Sülfatlaşmış Kül Muhtevası	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su Muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C'de 3 saat)	derece	1	-	EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı, 110 °C'de	h	8	-	EN 14112
Asit Sayısı	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
İyot Sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111

**Çizelge 3.4 (Devam)** TS EN 14214 otomotiv yakıtları yağ asidi metil esterleri (YAME) dizel motorlar için belirlenen standart özellikler (Yücesu ve İlkılıç 2006).

Linolenik Asit Metil Esteri	% (m/m)	-	12	EN 14103
Metanol Muhtevası	% (m/m)	-	0,2	EN 14110
Monogliserit Muhtevası	% (m/m)	-	0,8	EN 14105
Digliserit Muhtevası	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Trigliserit Muhtevası	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Serbest Gliserol	% (m/m)	-	0,02	EN 14105
				EN 14106
Toplam Gliserol	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Grup I Metaller (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14108
				EN 14109
Grup II Metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	prEN 14538
Fosfor Muhtevası	mg/kg	-	10	EN 14107
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (CFPP)		-	-10	EN 116

### 3.2.3 Biyodizelin Kullanım Alanları

Biyodizelin motor yakıtı olarak kullanımı dışında sayısız kullanım alanı vardır. Bunların başlıcaları şunlardır;

- Soba, fener ve diğer ısıtıcılarda,
- Model uçaklarda,
- Kalorifer kazanlarında,
- Yapışkan kimyasal, sprey boyaların ve otomobillerdeki istenmeyen boyaların temizlenmesinde (solvent) olarak,
- Motor parçalarındaki yağ ve kurumun temizlenmesinde,
- Çok amaçlı makine yağlayıcısı olarak,
- Tuğla üretiminde ve çömlekçilikte,
- Dökümcülükte,

- Araziye ya da suya kazaen dökülen petrolün temizlenmesinde,
- Jeneratör yakıtı olarak,
- İnşaat kalıplarının sıvanmasında,
- Hidrolik sıvısı olarak,
- Demiryolu yağlayıcısı olarak.

Sonuç olarak insanlığın ihtiyaçları arttıkça eldeki kaynaklar azaldıkça başka yönlerde çareler aranmaya devam edilmesi, bu ve benzeri çalışmaların sürmesi kaçınılmazdır. Bundan sonraki dönemlerde çok daha çeşitli konularda, çok daha çeşitli ve kapsamlı araştırmaların yapılacağı aşikârdır (İnt. Kyn. 1).

### **3.2.4 Biyodizelin Depolanması**

Biyodizel depolanma yönünden dizel yakıtı ile benzerdir. Herhangi bir değişikliğe ihtiyaç olmadan ışıık girmeyen, temiz, kuru, serin ortamlarda muhafaza edilebilmektedir (Knothe *et al.* 1997). Depo tankı malzemesi olarak paslanmaz çelik, yumuşak çelik, florlanmış polietilen veya florlanmış polipropilen kullanılabilir. Depo malzemelerinde elastomerlerin, doğal ve butil kauçuklar biyodizelden zarar göreceğinden kullanılması uygun değildir. Biyodizel ile uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir (Karaosmanoğlu 2002).

### **3.2.5 Biyodizel Üretim Metotları**

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için viskozitelerinin düşürülmesi gerekmektedir. Yağların viskozitesi ısı ve kimyasal yöntem uygulanarak azaltılabilir. Isıl yöntemde, ön ısıtma ile yağların viskozitesinin düşürülmesi gerçekleşmekte olup, ısı yöntemin hareketli bir araç motorunda uygulaması sırasında oluşabilecek problemler nedeniyle kimyasal yöntem tercih edilmektedir. Kimyasal yöntem; inceltme, mikro-emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere 4 metotta incelenir.

**Çizelge 3.5** Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları.

Metod	Tanımı	Avantajı	Dezavantajı
İnceltme	Biyodizel, dizel yakıtla inceltilir	Yenilenebilir, kullanıma hazır, Portatif, doğal sıvı	Yüksek vizkozite, düşük uçuculuk, Doymamış hidrokarbon zincirlerin reaktifliği
Mikro-emülsiyon	Normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesidir	Yanma sırasında daha iyi spreyleme, düşük yakıt vizkozitesi	Düşük setan sayısı, düşük enerji içeriği
Piroliz	Uzun zincirli ve doymuş maddelerin ısı yoluyla biyodizele dönüşmesi	Petrol türevi yakıtlar benzin ve dizelere kimyasal benzerlik	Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifikasyon	Hayvansal ve bitkisel yağlardan alkol ile katalizör varlığında ester ve gliserol eldesi	Yenilenebilirlik, yüksek setan sayısı, düşük emisyon yüksek yanma verimi	Üründen gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

### 3.2.5.1 İnceltme (Seyreltme)

Seyreltme işlemi; bitkisel ve atık yağların belirli oranlarda bir çözücü veya bir dizel yakıtla karıştırılarak inceltilmesi işlemidir. Bu işlemlerden en yaygın olanı yağların dizel yakıt ile karıştırılması işlemidir. Böylelikle yağın viskozitesi düşürülür ve dizel yakıt kullanım oranı azaltılır (Li *et al.* 2005). Yapılan uygulamalarda yağların, dizel yakıtlarla karıştırılma oranları şu şekilde ifade edilir: B20, B30, B40, B50, B80 şeklindedir. Kısacası % 20, % 30, % 40, % 50 ve % 80 oranlarında bitkisel, hayvansal veya atık yağ bulunmaktadır. Biyodizel üretiminin seyreltme yönteminde kullanılan yağlar; yer fıstığı yağı, kolza yağı, ayçiçeği yağı ve atık yağlardır (Eryılmaz 2014).

### **3.2.5.2 Mikro-Emülsiyon**

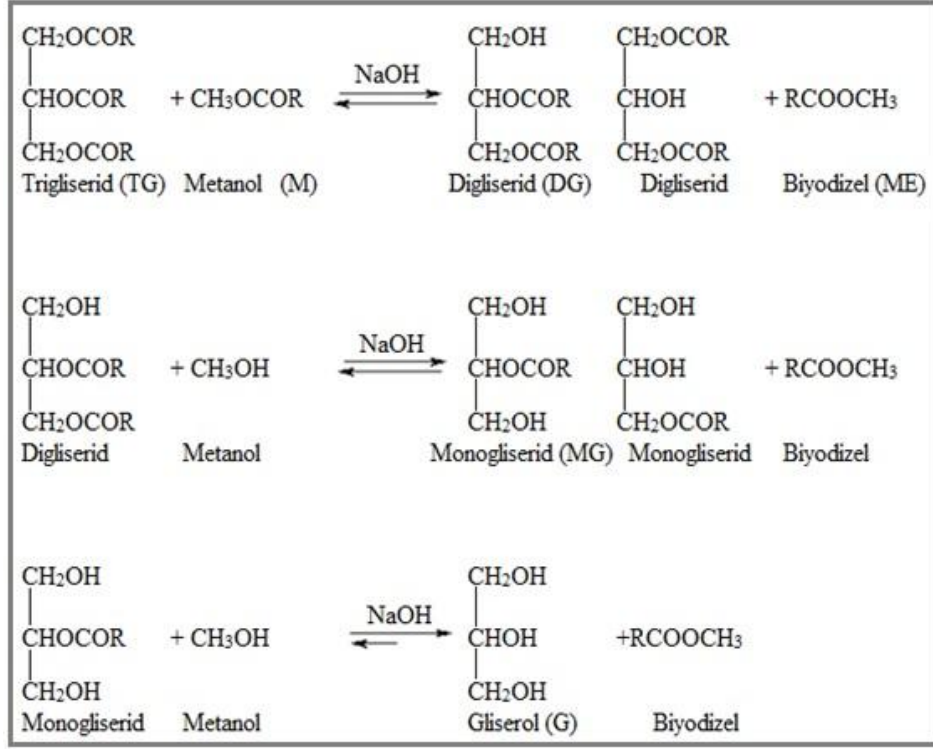
Karışmayan iki sıvı ile iyonik ya da iyonik olmayan organik karışımların (1-150 nm boyutlarında) kendi arasında oluşturduğu kolloidal bir çözeltilidir. Bu yöntem ile alternatif dizel yakıtlar meydana getirmek mümkündür. Bu yöntemde kullanılan organik maddeler kısa zincirli alifatik alkollerdir (MeOH, EtOH) (Acharya *et al.* 2016).

### **3.2.5.3 Piroliz**

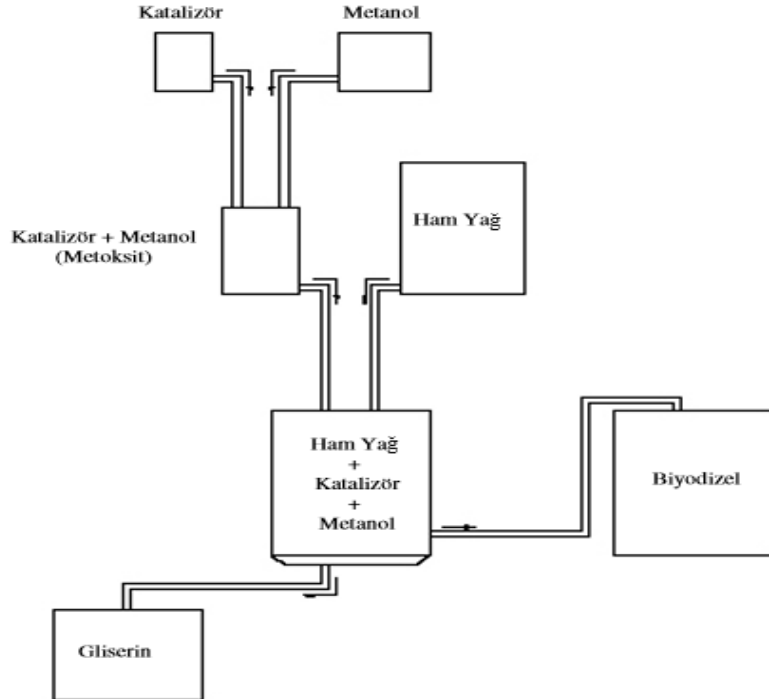
Tanım olarak piroliz; yüksek sıcaklıklara sahip yüksek moleküllerin, daha düşük seviyeli moleküllere dönüşmesi işlemidir. Genel olarak piroliz işlemi iki şekilde yapılır. Birinci yöntemde, bitkisel yağlar kapalı bir kap içerisinde ısı etkisiyle parçalanır. İkinci yöntemde ise, standart olarak hazırlanan maddeler kullanılarak damıtma işlemiyle bitkisel ve atık yağlar ısı olarak parçalanır. İkinci metot ile elde edilen biyodizel, dizel yakıtlara daha yakın özellikler gösterir (Zhenyi *et al.*2004).

### **3.2.5.4 Transesterifikasyon**

Bu yöntemde, bitkisel yağlar alkolle reaksiyon oluşturarak viskozitesi düşük biyodizel elde edilmektedir. Alkol olarak genellikle metanol veya etanol tercih edilmektedir (Aksoy 2010). Reaksiyon süresi kısa ve verimi yüksek olduğu için yaygın olarak bir yöntemdir. Bu yöntemde, alkol olarak metanol veya etanolün tercih edilmesinin sebebi maliyetlerinin düşük olması ve kısa zincirli olmalarıdır. Transesterifikasyon sonucunda bitkisel yağ küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde reaksiyona girerek gliserin ve yağ asidi oluşturmaktadır (Alpgiray 2006). Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’te sırasıyla transesterifikasyon mekanizması ve transesterifikasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Baz katalizli transesterleşme reaksiyon mekanizması (Yücesu ve İlkılıç 2006).



Şekil 3.2 Transesterifikasyon işlemi genel şeması (İnt Kyn. 2).

**Alkali Katalizli Transesterifikasyon;** Potasyum hidroksit, sodyum hidroksittir veya sodyum metilat katalizör olarak kullanılır. Katalizör bir karıştırıcı yardımıyla alkolle karıştırılmaktadır. Katı katalizör kullanılıyorsa, katalizör metanol içerisinde eritilerek hazırlanan metoksiz çözeltisi kullanılır. Metil alkol içerisinde sodyum metilat % 30'luk bir konsantrasyona sahiptir (Dağ 2013).

**Asit Katalizli Transesterifikasyon;** Asidik katalizör ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu bitkisel yağ içerisinde bulunan serbest yağ asidi ve su miktarından etkilenmemektedir. Ancak asidik katalizörler ile transesterifikasyon alkali katalizörlere göre oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Sülfirik asit, fosforik asit ve hidroklorik asitler asidik katalizör olarak kullanılan asitlerdendir (Fukuda et al. 2001). Asidik katalizör kullanımı ile reaksiyon süresi uzamasına rağmen, hammaddenin serbest yağ asidi miktarından etkilenmemesi, alkali katalizörlere göre su miktarına daha az duyarlı olması ve bu özellikleri sonucunda da ayrıca bir ön işlem gerektirmemesi asidik katalizör yönteminin en önemli avantajlarından biridir.

**Enzim Katalizli Transesterifikasyon;** Bu yöntemde diğer iki yöntemden farklı olarak lipaz (lipase) adı verilen ve gliseritleri hidrolize etme kabiliyeti olan enzimler kullanılır. Öncelikle trigliseritlerli pazlar ile hidroliz edilerek, gliseritlere ve serbest yağ asitlerine dönüştürülürler. Daha sonra da bu serbest yağ asitleri ve metil alkol ile metil ester meydana getirilir. Bu yöntem kullanımında alkali katalizör kullanımından dolayı oluşan birçok sorun oluşmaz. Bununla birlikte bu yöntem alkali ve asidik katalizörlerle gerçekleştirilen yöntemlere göre çok daha yüksek maliyetlidir, bu yüzden de ticari amaçla uygulanması zor gözükmemektedir (Fukuda et al. 2001).

### **3.3 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları**

#### **3.3.1 Biyodizelin Avantajları**

1. Biyodizel yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri motorlarda yanma verimini olumlu yönde etkilemektedir.
2. CO ve SO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma sağlarlar.
3. Biyodizel-dizel karışımlarının kullanılmasıyla PM, HF, SO<sub>x</sub>, CO ve CH<sub>4</sub>



emisyollarında azalma gerçekleşirken; HC, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma göstermektedir.

4. Biyodizel yakıtı dizel yakıt ile belirli oranlarda kullanıldığı gibi % 100 oranında da kullanılabilir.
5. Biyodizelin yapısındaki C16-C18 metil esterleri hızlı ve kolayca parçalanarak ozlr. Biyolojik olarak ayrımı gerçekleşir. Toksik etkisi bulunmamaktadır.
6. Biyodizel evre dostu, alternatif bir enerji kaynağıdır.
7. Dizel yakıtlar ile karşılaştırıldığında CO<sub>2</sub> salımı görülmediği için sera etkisi oluşturmaz.
8. Biyodizelin tutuşma derecesi, dizel yakıtlardan daha yüksektir. (>110 C) Bu özelliği sayesinde depolanması ve taşınması güvenilirdir (Chattopadhyay and Sen 2013).

### **3.3.2 Biyodizelin Dezavantajları**

1. Akma noktası dizel yakıtlara göre daha yüksektir. Bitkisel yağların hammadde kaynağı olarak kullanılmasını etkileyen başlıca faktör viskozitelerinin yüksek olmasıdır.
2. Hammadde olarak kullanılan bitkisel yağların tohumlarının, ekstrakte edilme işleminde tohum zararının ıkarılmamasından dolayı egzoz borularında ve filtrelerde tıkanmaya neden olmaktadır.
3. Diğer sorun ise yakıt olarak kullanılacak bitkisel yağın doymamış yağ içermesidir. Doymamış yağlar, yağlanma yapısına katılarak ortamda polimerizasyonu arttırıp motoru tahrip etmektedir. Bu durum sonucunda viskozite artışı görülmektedir.
4. Biyodizel yakıtlar soğuk hava şartlarından kolay etkilenmektedir. Dizel yakıtlara göre düşük bulutlanma noktasına sahiptir. Isıl miktarı dizel yakıtlardan düşük olduğu için motorda yanma sonucunda enerji kaybına neden olmaktadır (Aksoy 2010).
5. Saf olarak kullanılan biyodizel (% 100), motor parçalarında tahribe sebep olduğundan bu parçaların uygun parçalarla yer değiştirilmesi gerekir. Ekonomik olarak maliyeti yüksektir (Alpgiray 2006).

## 4. MATERYAL ve METOD

### 4.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar ve Deney Düzenekleri

Yapılan çalışmada, haşhaş yağı sentezinden transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretimi yapılmıştır. Yapılan deneylerde metil alkol olarak ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ve katalizör olarak da sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) kullanılmıştır. Biyodizeli damıtma sürecinde suyla yıkama yöntemi uygulanmıştır. Farklı parametrelerin (katalizör oranı, reaksiyon süresi, alkol oranı, reaksiyon sıcaklığı) verim üzerine etkileri incelenmiştir. Haşhaş yağı metil esteri B10 karışımı direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli bir dizel motorda farklı hızlarda test edilmiştir.

#### 4.1.1 Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler termometre, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, geri soğutucu, manyetik balık, reaktör kabı vb. kullanılan deney mekanizması Resim 4.1'de görülmektedir.



Resim 4.1 Biyodizel üretimi.

#### 4.1.2 Terazi

Üretimi yapılan biyodizel evresinde numuneler, soya yağı, katalizör ve alkolün tartılmasında RADWAG marka AS220 C/2 modelinde hassas ölçüm yapabilen bir tartı kullanılmıştır. Dijital terazi 0,1 mg hassasiyete sahiptir. Minimum ölçebileceği değer 10 mg ve maksimum ölçebileceği değer 220 g'dır. Deneysel çalışmalarda kullanılan hassas terazi Resim 4.2'de görülmektedir.



**Resim 4.2** Hassas terazi.

#### 4.1.3 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı

Üretimi yapılmış biyodizel evresinde Dragon-Lab marka ısıtıcı kullanılmıştır. Manyetik karıştırıcılı bu ısıtıcının 340 °C kadar sıcaklığı kontrol edilebilmektedir. Yüzeyi seramikle kaplıdır. Resim 4.3'de manyetik karıştırıcılı ısıtıcıdan bir görüntü gösterilmiştir.



**Resim 4.3** Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.

#### 4.1.4 Santrifüj

Biyodizel üretim ve optimizasyonunda tüplere yerleştirilmiş karışımın yüksek devirli santrifüj cihazı ile döndürülerek çökelme ilkesine göre ayrıştırma yapılır. Santrifüj, biyodizel üretimi aşamasında yıkama işlemi yapılmış ancak ayrılmamış olan merkezkaç kuvvetinin de yardımıyla gliserin tabakasının tüpün alt kısmında toplanması sağlanır. Üst tarafında toplanmış olan biyodizel ise damlalık pipet yardımı ile ayrılma işlemi tamamlanır. Bu çalışmada kullanılmış maksimum 5000 rpm dönme hızı olan, dijital göstergeli, zaman ve hız ayarlı, 12×15 ml tüp kapasiteli ELEKTRO-MAG marka M 4812 P modelindedir. Resim 4.4’de santrifüj ’den bir görüntü gösterilmiştir.



**Resim 4.4** Santrifüj.

#### 4.1.5 Katalizör

Üretimi yapılırken biyodizel evresinde kullanılmış olan katalizör, Carlo Erba marka (NaOH) içerir. Katalizörün saflık değeri % 97’den büyük ve moleküler ağırlığı 39,997 g/mol ‘dür. Resim 4.5’de katalizörden bir görüntü gösterilmiştir.



**Resim 4.5** Katalizör.

#### **4.1.6 Metil Alkol (Metanol)**

Üretimi yapılırken biyodizel evresinde kullanılmış olan metanol Merk marka  $\text{CH}_3\text{OH}$  kimyasal özelliklere sahip metil alkol kullanılmıştır. Metil alkolün moleküler ağırlığı 32,04 g/mol ve yoğunluğu 20 °C, 0,791-0,793 kg/l 'dir. Resim 4.6 'da metil alkolden bir görüntü gösterilmiştir.

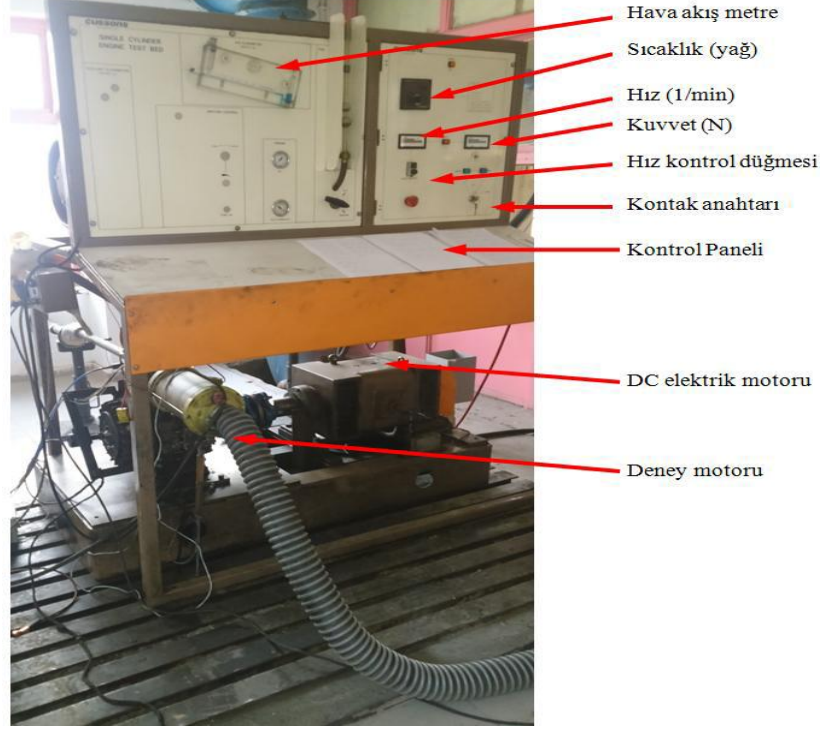


**Resim 4.6** Metil alkol (Metanol).

#### **4.2 Motor Testinde Kullanılan Ekipmanlar**

Üretimi yapılmış olan biyodizelin motor performans testleri Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümü motor test laboratuvarında yapılmıştır. Testte egzoz emisyonları ve motor performans ölçümleri yapılmıştır. Testte gaz kelebeği sabit ve basılı konumda iken sırasıyla 1750, 2000, 2200, 2500, 2750 ve 3000 dev/dk olmak üzere altı farklı devirde motora yükleme yapılmıştır. Yapılan deneylere, tam gaz konumda ve motor

yüksüz bir şekilde başlanılmıştır. Motor ile dinamometre yüklenerek motor en düşük devire ininceye kadar yüklemelere devam edilmiştir.



**Resim 4.7** Test düzeneği.

İs emisyonu, moment değerleri, yakıt tüketimi ve motor devri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Aynı şartlar altında en az üç test sonucunda motor devri ve motor momenti verilerinin aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar tespit edilmiştir. Hassas terazi ve kronometre kullanılarak ölçülen yakıt sarfiyatı baz alınarak 2 dakikadaki yakıt tüketimlerine göre kaydedilmiştir. Egzoz emisyonunu ölçmek için ise motor ile dinamometre yüklendikten sonra motor momenti ve motor devrinin sabit olması beklenmiş ve bu noktadan sonraki değerler alınmıştır. Maksimum 8 kg yakıt ölçebilen ve dizel yakıt tüketimi 0,1 g hassasiyete sahip Ohaus Marka GT-8000 model dijital terazi ile kütleli debisi g/min olarak ölçülmüştür. Resim 4.7’de dinamometreden bir görüntü gösterilmiştir. Motor testlerinde rejeneratif DC elektrikli Cussons marka P 8160 model tek silindirli bir dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin moment kolu 0,25 m’dir. Dinamometre maksimum 4000 dev/dk’da 10 kw güç absorbe edebilmektedir.

#### 4.2.1 Test Motoru

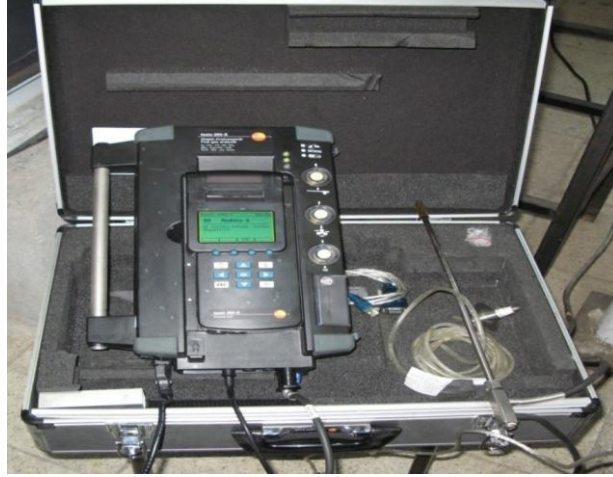
Deneyleerde direkt enjeksiyonlu (DI) ve tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılacak motorun teknik özellikleri izelge 4.1’de görülmektedir.

**Çizelge 4.1** Antor 6LD400 test motoru zellikleri.

Marka	Antor 6LD400
Motor tipi	DI, Dizel
Silindir sayısı	1
Silindir apı (mm)	86
Kurs	68
Strok hacmi (cm <sup>3</sup> )	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum motor devri (dev/dk)	3600
Maksimum motor gücü (KW)	5,4 (3000 dev/dk ’da)
Maksimum moment (Nm)	19,6 (2200 dev/dk ’da)
Yanma odası geometrisi	Meksika şapkası
Enjektör delik sayısı ve çapı	4x0,24
Enjektör u açısı (°)	160
Enjektör püskürtme basıncı (MPa)	20
Püskürtme avansı	N ’den 24° KA nce
Em. Açılma avansı	N ’den 7,5° KA nce
Em. Kapanma gecikmesi	AN ’den 25,5° KA sonra
Supap zamanlaması	Eg. Açılma avansı AN ’den 21° KA nce
	Eg. Kapanma gecikmesi N ’den 3° KA sonra

#### 4.2.2 Emisyon Cihazı

Egsoz emisyon değerlerinin llmesinde TESTO 350-S marka cihaz kullanılmıştır. Egsoz emisyon cihazı Resim 4.8’de ve teknik özellikleri de izelge 4.2’de verilmiştir.



**Resim 4.8** TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı.

**Çizelge 4.2** Motor deneylerinde kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.

Ölçüm Aralıkları	Birim	Değer
CO	% Vol	0 - 10
CO <sub>2</sub>	% Vol	0 - 20
HC	ppmVol	0 - 20000
O <sub>2</sub>	% Vol	0 - 21
NO <sub>x</sub>	Ppm	0 - 5000
SO <sub>2</sub>	Ppm	0 - 500
Lambda		0 - 5

#### 4.2.3 İS Ölçüm Cihazı

Deneysel çalışmalarda AVL 400 serisi is ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3** AVL 4000 is ölçüm cihazının teknik özellikleri.

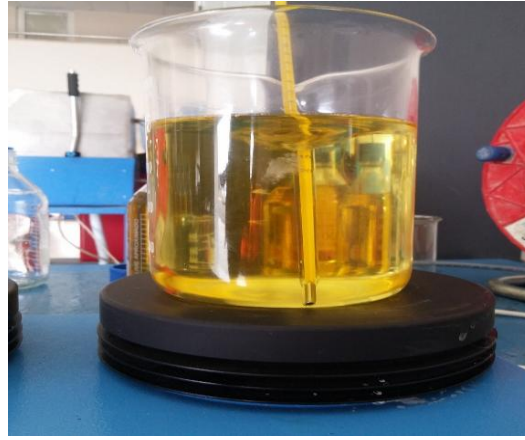
Model	AVL DiSmoke 4000 İS ölçüm cihazı	
Ölçüm prensibi	Kısmi akışlı	
Opasite	0-100 % ölçüm aralığı	Doğruluk % 0,1
K değeri	0-99,99 m <sup>-1</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>



### 4.3 Deneysel Çalışmalar

#### 4.3.1 Biyodizel Üretimi

Yapılan çalışmada biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Ölçümler Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Akaryakıt Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizel Resim 4.9'da gösterilmiştir. Optimum koşullarda üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.



**Resim 4.9** Üretilen biyodizel.

**Çizelge 4.4** Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler.

Özellikler	Sonuçlar
Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	4,682
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,89
Su (ppm)	75,39

#### 4.3.1 Motor Test Yöntemi

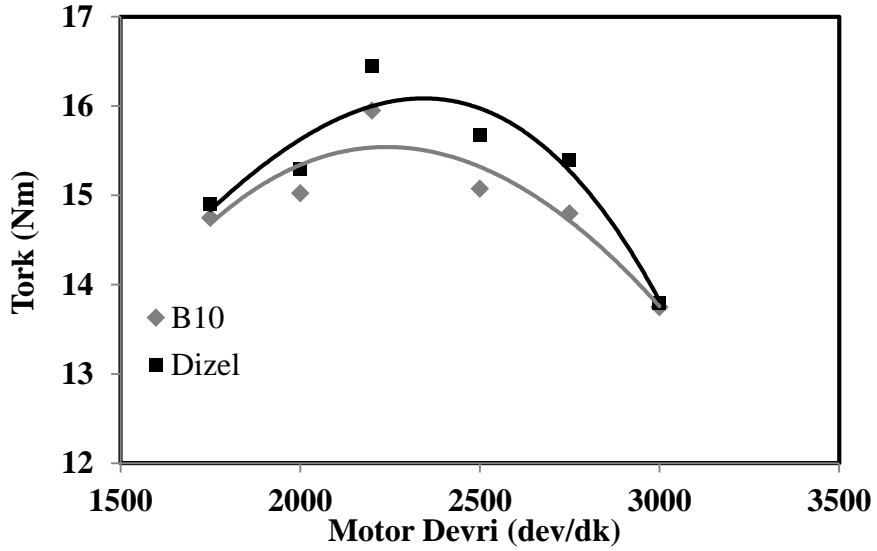
Testler motorun farklı devirlerinde yapılmıştır. Farklı yakıt karışımları için motor performansı ve is ölçümleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Motorun uygun çalışma sıcaklığına gelmesiyle, dinamometre ile yükleme yapılarak motor devri istenen devre getirilmiştir. Her yakıt karışımının güç, moment ve özgül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

## 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Motor devrine bağı olarak efektif güç, tork ve özgül yakıt değişimi dizel ve B10 yakıtları için tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir.

### 5.1 Motor Momenti Değişimi

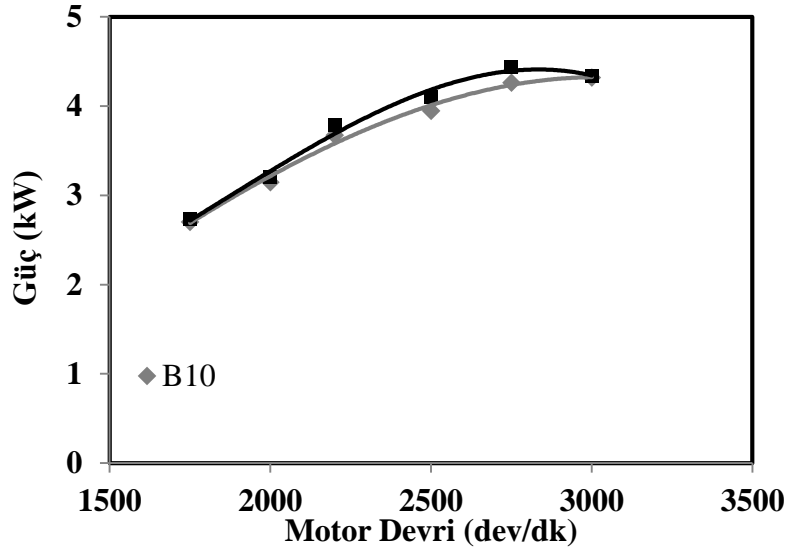
Şekil 5.1’de motor devrine bağı olarak motor torku değişimleri verilmiştir. Dizel yakıt kullanımı ile B10’da ortalama % 2,38 tork değerleri düşmüştür. En yüksek motor tork değerine bağı olarak motor gücü değişimleri dizel ve B10 yakıtları için verilmiştir. Motor gücü 2200 dev/dk motor devrinde ulaşılmıştır. Tork değerleri dizele göre düşük çıkması viskozitenin yüksek, alt ısı değerinin dizele göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.1 Dizel ve B10 yakıtların motor torklarının değişimi.

### 5.2 Motor Gücü Değişimi

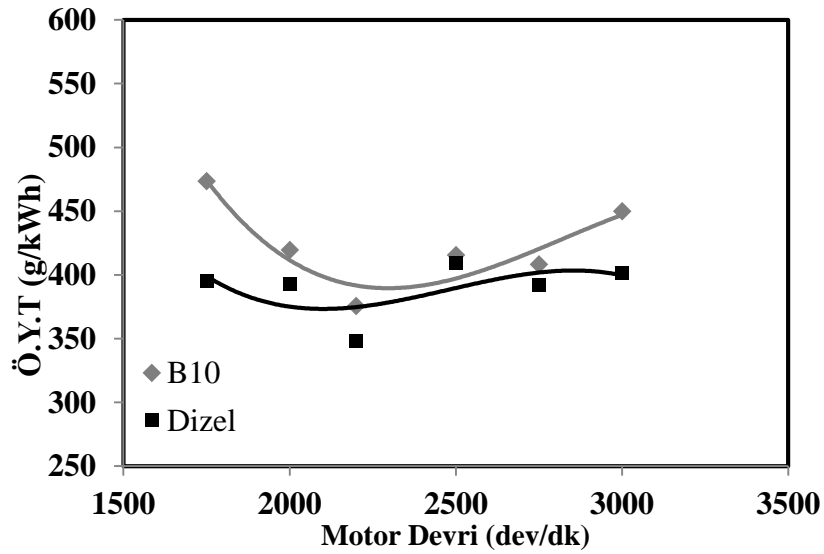
Şekil 5.2’de motor devrine motor devrinin artması ile artış göstermektedir. Maksimum motor güçleri tüm yakıtlar için 2750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. B10 yakıt kullanımı ile motor güçlerinde dizel yakıtına göre ortalama olarak % 2,45 düşüş gözlemlenmiştir. Biyodizel kullanımı ile motor gücündeki azalma literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.2 Dizel ve B10 yakıtların motor güçlerinin değişimi.

### 5.3 Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi

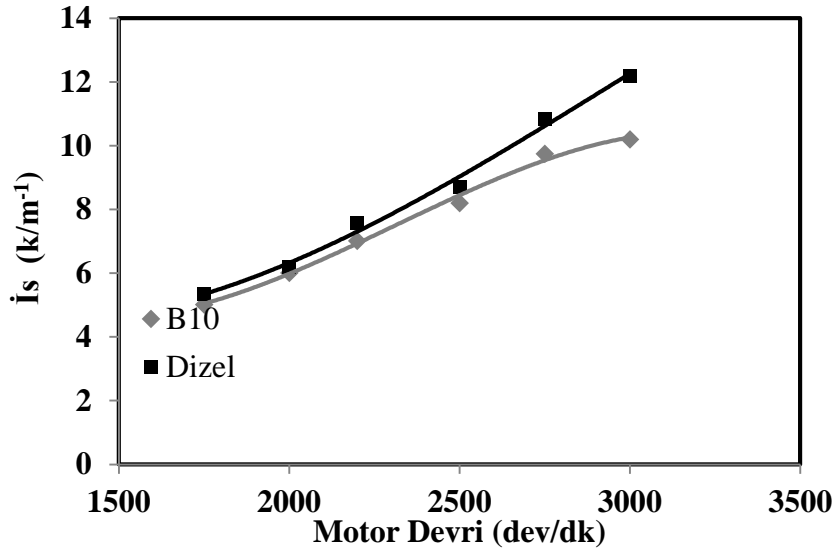
Şekil 5.3’de motor devrine bağlı olarak özgül yakıt değişimleri görülmektedir. Motor devrinin artması ile özgül yakıt tüketimleri belirli bir değere kadar azalmakta ve sonra artış göstermektedir. Tüm yakıtlar için minimum özgül yakıt tüketimi 2200 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde B10 yakıtı kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre % 8,53 artış elde edilmiştir.



Şekil 5.3 Dizel ve B10 yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin değişimi.

#### 5.4 İis Emisyonu Değişimi

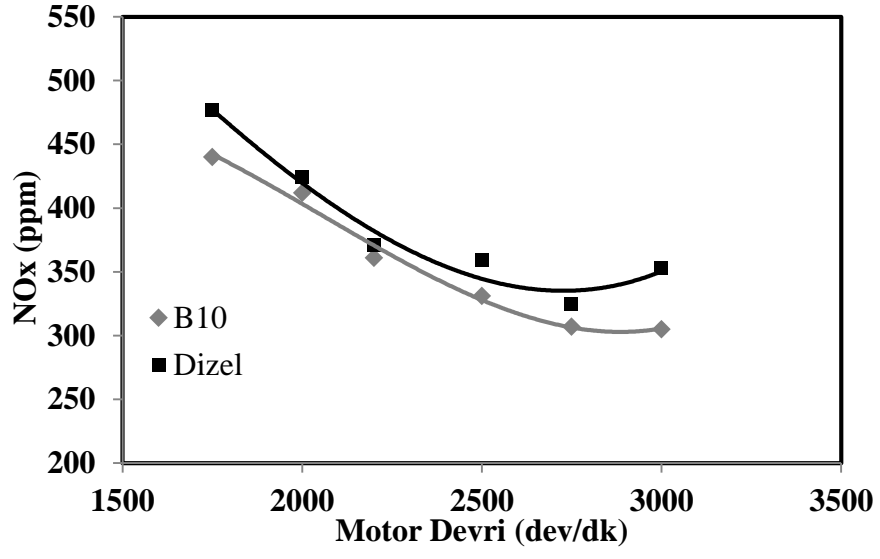
şekil 5.4'de motor devrine bağlı olarak is emisyonu değişimi görülmektedir. Yüksek motor devirlerinde is emisyonu maksimumdur. Motor devrinin artması ile is emisyonu motor devrine bağlı olarak artmaktadır. Minimum is emisyonları dizel ve B10 için 1750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde B10 yakıtı kullanımı ile is emisyonunda tüketiminde dizel yakıtına göre % 9,18 azalma görülmüştür.



şekil 5.4 Dizel ve B10 yakıtların is emisyon verileri.

#### 5.5 NO<sub>x</sub> Emisyonları Değişimi

NO<sub>x</sub> emisyonunu motor hızına bağlı olarak değişimi şekil 5.5'de verilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonu dizel yakıtına göre B10'da ortalama % 6,62 azalma görülmüştür.



Şekil 5.5 Dizel ve B10 yakıtların NO<sub>x</sub> emisyon verileri.

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; haşhaş yağı sentezinden, tek basamaklı transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi; katalizör oranı, metil alkol oranı, sıcaklık ve reaksiyon süresi gibi parametrelerin verim üzerine etkileri incelemiştir. Üretilen biyodizelin bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Dizel ve B10 yakıtlarının is emisyonu ve motor performans etkisi direk enjeksiyonlu ve tek silindirli bir dizel motorunda incelenmiştir.

Transesterifikasyon işlemi ile elde edilen haşhaş yağı biyodizeli(B10) ve dizel yakıt özellikleri bütün yakıtlarda kinematik viskozite, su içeriği, parlama noktası ve yoğunluk analizleri sınır değerler içerisinde çıkmıştır.

Haşhaş yağından elde edilen biyodizelin fiziksel özellikleri standart dizel yakıtı ile benzer özellikler göstermektedir. Optimum koşullarda üretilen biyodizele ait fiziksel özellikler; yoğunluk  $0,89 \text{ g/cm}^3$ , viskozite  $4,682 \text{ mm}^2/\text{s}$ , su içeriği  $75,39 \text{ ppm}$ , kükürt miktarı  $0,15 \text{ ppm}$  olarak belirlenmiştir.

B10 yakıt kullanımı ile dizel yakıtına göre motor momentinde sırası  $2,38$  azalma elde edilmiştir. Bu azalmanın biyodizelin düşük alt ısı değerine ve yüksek viskoziteye sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Motor güçleri incelendiğinde B10 yakıtı kullanımı ile motor gücü dizel yakıtına göre ortalama olarak  $\% 2,45$  azalmalar elde edilmiştir. Bu azalmanın biyodizelin düşük ısı değerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Motor devrinin artması ile özgül yakıt tüketimleri belirli bir değere kadar azalmakta ve sonra ise artış göstermektedir. B10 yakıtı için minimum özgül yakıt  $2200 \text{ dev/dk}$  motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde B10 yakıtları kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre  $\% 8,53$  artışlar elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde artış olduğu gözlemlenmektedir.

İs emisyonu, yüksek motor devirlerinde maksimumdur. Motor devrinin artması ile is emisyonunda artış göstermektedir. Minimum is emisyonları B10 yakıtı için 1750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde B10 yakıtı kullanımı ile is emisyonunda tüketiminde dizel yakıtına göre % 9,18 azalma elde edilmiştir.

NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtına göre daha azdır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtına uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO<sub>x</sub> emisyonu dizel yakıtına göre B10'da % 6,62 daha azdır. Bununla birlikte biyodizel kükürt içermez. Bu yüzden NO<sub>x</sub> kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir.

Bu çalışmadan sonra şunlar önerilebilir;

Ülke ekonomisi ve gereklilikleri için biyodizel yakıtlarının çeşitlendirilmesi, ekilemeyen alanlara uygun biyodizel elde edilebilecek ürünlerin ekilmesi gerekmektedir. Böylece ülkeye ve dolayısıyla insanlığa katkı sağlanabilecektir.

Haşhaş yağından elde edilen biyodizelin sera gazlarına ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılabilir. Üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve biyodizeli daha cazip hale getirmek için kullanıcıların özendirilmesi, devlet tarafından özel sektöre teşvik verilip, kolaylık sağlanması ve vergi indirimine gidilmesi gerekmektedir. Ayrıca araçlarda %100 kullanılsa bile dizel yakıtına belirli oranda katılarak kullanılması sağlanıp her yıl dış ülkelere ödenen döviz miktarında azalma sağlanabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Acharya, B., Guru, P. S., and Dash, S. (2016). Tween-80-n-butanol/isobutanol-(Diesel + Kerosene)-Water micro emulsions – phase behavior and fuel applications. *Fuel*, **171**: 87–93.
- Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**: 45-52.
- Alibaş, K., Ulusoy, Y. (1995). Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanakları. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi 5-7 Eylül, 147-156. Bursa.
- Altın, R. (1998). Haşhaş yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması. *Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Teknoloji Dergisi*, 3-4, Z.K.Ü.
- Altun, Ş. (2009). Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Alpgiray, B. (2006). Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arslan, M. (2015). Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (olea oleaster) üretilecek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Behçet, R. Oral, F. (2014). Dizel motor performans ve emisyonları üzerindeki biyodizel-dizel karışım yakıtların etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **3**: 15-23.
- Bolat, A. (2007). Orta segment bir tarım traktöründe biyodizelin motor performansı üzerine etkileri ve biyodizelin Türkiye için önemi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.



- Chattopadhyay, S., Sen, R. (2013). Fuel properties, engine performance and environmental benefits of biodiesel produced by a green process. *Appl. Energy*, **105**: 319–326.
- Dağ, C. (2013). Biyodizel su karışımlarının dizel motor performansı ve emisyonu üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, O. (2012). Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Eryılmaz, T. (2014). Yozgat ili şartlarında yetiştirilen aspir (*carthamustinctorius* L.) dinçer çeşidinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. *J. Agric. Fac. Gaziosmanpaşa Üniv.*, **31**: 63–63.
- Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. (2001). Review: Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **92**: 405-416.
- Gerpen, J.V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., Knothe, G. (2004). Biodiesel production technology. subcontractor report nrel national renewable energy laboratory, NREL/SR-510-36244, Colorado, 22-27.
- Gök, C. (2008). Biyodizel olarak çeşitli bitkisel yağların etil ester metoduyla üretilerek karakteristiklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Özsert, İ. (2008). Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23**: 207-213.
- Şahin, A. (2014). Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Özgür, T. (2011). Investigation of nano particle additives to the biodiesel and diesel fuels for improvement of the performance and exhaust emissions in a compression ignition engine. Master of Science Thesis, Çukurova University, Institute Of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Şahin, S. (2013). Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kılınçlı, Ö. (2011). Biodiesel production. Master of Science Thesis, Ege University, Graduate School Of Natural and Applied Sciences, Bornova-İzmir.
- Karabektaş, M. (2002). Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımının motor performansına etkisi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Menyem, A., Gerpen, J.H.V. (2001). The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, **20**: 317-325.
- Masjuki, H.H., Irfan, M.D. (2003). Comparative analysis of CPO/Water Emulsion fuel for direct injection diesel engine. Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 24.
- Kakati, J., Gogoi, T.K. (2016). Biodiesel production from Kutkura (Meynas pinosa Roxb. Ex.) fruit see doil: Its characterization and engine performance evaluation with 10% and 20% blends. *Energy Conversion and Management*, **121**: 152-161.
- Karamanlı, B.İ. (2015). Soya ve fındık yağı karışımından üretilen biyodizelin motor performansına etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Karaosmanoğlu, F. (2002). Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin. *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, **10**: 50-56.
- Knothe G., Dunn, R.O., Bagby, M.O. (1996). Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. The Official Site of The National Biodiesel Board.

- Kılınçlı, Ö. (2011). Biodiesel production. Master of Science Thesis, Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bornova-İzmir.
- Leung, M.K.H., Leung D.Y.C., Wu, X., Leung, M.K.H., (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, **87**: 1083–1095.
- Lin, C.Y., Li, R.J. (2009). Engine performance and emission characteristics of marinefish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish. *Fuel Processing Technology*, **90**: 883-888.
- Li, D., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z., Jian-guang, Y. (2005). Physico chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renewable Energy*, **30**: 967-976.
- Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S., Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy*, **88**: 1020–1031.
- Özer, S., Vural, E., Özdalyan, B. (2011). Dizel motorlarında kanola yağı metil esteridizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, **3**: 9-18.
- Özçelik, A.E. (2011). Aspir biyo dizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Paulo, A.A.D., Costa, R.S.D., Rahde, S.B., Vecchia, F.D., Seferin, M., Santos, C.A.D. (2016). Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waste frying oil biodiesel. *Applied Thermal Engineering*, **98**: 288-297.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Aslan, H.E., Soruşbay, C. (1995). İçten yanmalı motorlar. Birsen Yayınevi, İTÜ Makine Fakültesi, 50-57.
- Sekmen, Y. Aktas, A. (2008). Soya yağı metil esterinin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri. *Politeknik Dergisi*, **11**: 249-254.
- Şahin, S. (2013). Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Tippayawong, N., Chumjai, P., Preparation, A.S. (2012). Characterization and performance of biofuel from passion fruit processing residues. **2**: 24–27.
- Usta, N. (2005). An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oilmethyl ester. *Energy Conversion and Management*, **46**: 2373–2386.
- Yücesu, H. S. İlkılıç, C. (2006). Effect of cotton seed oil methyl ester on the performance and exhaust emission of a diesel engine. *Energy Sources Part A*, **28**: 389–398.
- Zhenyi, C., Xing, J., Shuyuan, L., Li, L. (2004). Thermodynamics calculation of the pyrolysis of vegetable oils. *Energy Sources*, **26**: 849–856.

### **7.1 İnternet Kaynakları**

1. [www.muhendisbeyinler.net/biyodizel-nedir-biyodizel-kullanim-alanlari/](http://www.muhendisbeyinler.net/biyodizel-nedir-biyodizel-kullanim-alanlari/)  
(04.06.2017)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet İNAL  
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA - 05.06.1986  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) :0535 697 65 12 / ahmetinal42@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Konya İsmil Ç.P. Lisesi, (1999-2002)  
Lisans : Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği  
Bölümü, (2004-2008)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2013-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :Karayolları 3. Bölge Müdürlüğünde Makine Arazi  
Mühendisi (2013- Devam ediyor)