

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DERİ ENDÜSTRİSİ ATIK YAĞLARINDAN ÜRETİLEN  
BİYODİZELİN DİZEL MOTOR YANMA PERFORMANS VE  
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OĞULCAN MUSTAFA İNAL**

**BOLU, OCAK - 2020**

T.C.  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



DERİ ENDÜSTRİSİ ATIK YAĞLARINDAN ÜRETİLEN  
BİYODİZELİN DİZEL MOTOR YANMA PERFORMANS VE  
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞULCAN MUSTAFA İNAL

BOLU, OCAK - 2020

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Oğulcan Mustafa İNAL tarafından hazırlanan “DERİ ENDÜSTRİSİ ATIK YAĞLARINDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN DİZEL MOTOR YANMA PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 10.01.2020 tarihinde savunularak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

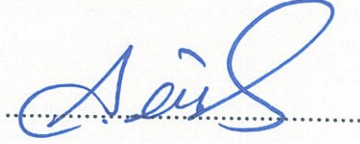
### Jüri Üyeleri

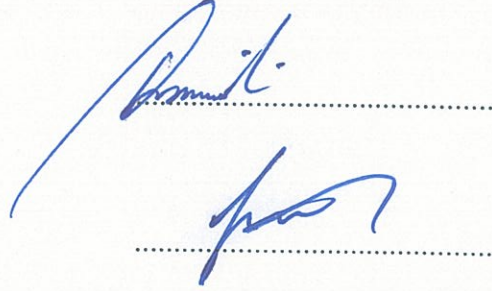
Danışman  
Doç. Dr. A. Osman EMİROĞLU  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Ömer ÖZYURT  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Suat SARIDEMİR  
Düzce Üniversitesi

### İmza





Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Oğulcan Mustafa İNAL



## ÖZET

**DERİ ENDÜSTRİSİ ATIK YAĞLARINDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN  
DİZEL MOTOR YANMA PERFORMANS VE EMİSYONLARINA  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OĞULCAN MUSTAFA İNAL  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALAATTİN OSMAN EMİROĞLU)  
(İKİNCİ DANIŞMAN: DOÇ. DR. AHMET KESKİN)  
BOLU, OCAK - 2020**

Günümüzde artan petrol ihtiyacını dünya genelinde sağlayabilecek rezerv sayısı gün geçtikçe azalmaktadır. Bu ihtiyacın petrol ile karşılanmasının zamanla imkansız olabileceğini düşünen araştırmacılar alternatif bir yakıt türü olarak, yenilenebilen ve bitmek gibi bir sorunu bulunmayan bitkisel ve hayvansal kökenli yağlardan elde edilmiş biyodizel üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bunun neticesinde, biyodizelin dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapmaksızın kullanılabilmesi görülmüştür. Hayvansal atık yağların çevreye olan zararları ve imha edilme maliyeti de göz önüne alındığında biyodizel yakıtı dönüştürülmesi cazip hale gelmektedir. Yapılan bu çalışmada, Bursa Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi'nden alınan deri endüstri atık yağı üzerinde bazı işlemler yapılarak biyodizel yakıtı elde edilmiştir. Üretilen biyodizel, %10 ve %30 oranında petrol kökenli dizel yakıtı ile karıştırılarak elde edilen biyodizel karışımlarının motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri analiz edildi ve referans motorin yakıtı ile karşılaştırıldı. Bu testlerin akabinde, biyodizel karışımların tutuşma gecikmelerinin uzun olması sebebiyle maksimum ısı salınımı ve maksimum silindir basıncının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten biyodizel oranının artmasıyla ısı verim ve moment değerlerinde azalma gözlenmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir miktar artış, is emisyon değerlerinde ise, biyodizel karışımlarında azalma tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Biyodizel, Deri Endüstri Atık Yağı, Dizel Motor, Alternatif Yakıt, Egzoz Emisyonu, Yanma

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BIODIESEL PRODUCED FROM LEATHER INDUSTRY WASTE OILS ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS**

**MSC THESIS**

**OĞULCAN MUSTAFA İNAL**

**BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: DOÇ. DR. ALAATTİN OSMAN EMİROĞLU)  
(CO-SUPERVISOR: DOÇ.DR. AHMET KESKİN)**

**BOLU, JANUARY 2020**

Today, the number of reserves that can meet the increasing oil need in the world is decreasing day by day. Researchers who think that meeting this need with oil may be impossible over time have made studies on biodiesel obtained from vegetable and animal origin oils which are renewable and have no problem of being exhausted. As a result, it has been found that biodiesel can be used in diesel engines without any modification. Considering the environmental costs and disposal costs of animal waste oils, it is desirable to convert them to biodiesel fuel. In this study, biodiesel fuel was obtained by performing some operations on leather industry waste oil obtained from Bursa Leather Specialized Organized Industrial Zone. The engine performance, exhaust emissions and combustion characteristics of biodiesel blends obtained by mixing biodiesel with 10% and 30% petroleum based diesel fuel were analyzed and compared with reference diesel fuel. Following these tests, it was determined that maximum heat release and maximum cylinder pressure were high due to long ignition delays of biodiesel blends. In addition, thermal efficiency and moment values decreased with increasing biodiesel ratio. Some increase in NO<sub>x</sub> emissions, soot emission values were decreased in biodiesel blends.

**KEYWORDS:** Biodiesel, Leather Industry Waste Oil, Diesel Engine, Alternative Fuel, Exhaust Emissions, Combustion.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....	xi
TEŞEKKÜR .....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
<b>3. BİYODİZEL NEDİR VE NASIL ÜRETİLİR? .....</b>	<b>10</b>
3.1    Biyodizel Nedir?.....	10
3.1.1    Hayvansal ve Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı.....	10
3.1.2    Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi.....	12
3.1.2.1    Transesterifikasyon .....	13
3.1.2.2    Pirroliz .....	14
3.1.2.3    Emülsiyon Oluşturma.....	14
3.1.3    Biodizel Yakıtı Standartları .....	16
3.1.4    Türkiye’deki Atık Hayvansal ve Bitkisel Yağların Potansiyeli... ..	18
3.1.5    Türkiye’de Biyodizel.....	19
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>20</b>
4.1    Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu .....	20
4.1.1    Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Kimyasallar .....	20
4.1.1.1    Manyetik Karıştırıcı, Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı.....	20
4.1.1.2    Cam Malzemeler.....	21
4.1.1.3    Hassas Terazi .....	21
4.1.1.4    Kimyasal Malzemeler .....	21
4.1.2    Biyodizel Üretiminde Hammadde Olarak Kullanılan Deri Endüstri Yağı ve Özellikleri.....	22
4.1.3    Biyodizel Üretim Yöntemi .....	23
4.1.3.1    Transesterifikasyon .....	23
4.1.4    Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi.....	24
4.2    Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Yanma Karakterizasyon Testleri.....	27
4.2.1    Yakıt Karışımlarının Hazırlanması .....	27
4.2.2    Motor Deneyleri.....	27
4.2.2.1    Test Motoru .....	29
4.2.2.2    Dinamometre .....	30
4.2.2.3    Tork Ölçme Ünitesi .....	30
4.2.2.4    Egzoz Emisyon Analiz Etme ve Is Ölçme Cihazı .....	31

4.2.2.5	Silindir Basınç Sensörü.....	32
4.2.2.6	Yakıt Hat Basınç Sensörü.....	32
4.2.2.7	Enkoder.....	33
4.2.2.8	Veri Toplama Sistemi (Kistler KiBox).....	33
4.2.2.9	Bilgisayar.....	34
4.2.3	Elde Edilmiş Olan ve Hesaplanan Performans Değerleri.....	34
4.2.3.1	Motor Momentinin Hesaplanması.....	34
4.2.3.2	Efektif Güç Hesabı.....	34
4.2.3.3	Özgül Yakıt Tüketiminin Hesabı.....	35
4.2.3.4	Isıl Verimin Hesaplanması.....	36
4.2.3.5	Isı Salınım Oranı Hesabı.....	36
<b>5.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>39</b>
5.1	Biyodizel Yakıt Analiz Sonuçları.....	39
5.2.	Motor Test Sonuçları.....	40
5.2.1	Püskürtme ve Yanma Karakteristikleri.....	40
5.2.1.1	Püskürtme Başlangıcı ile Tutuşma Gecikmesi.....	40
5.2.2.2	Silindir Gaz Basıncı.....	43
5.2.2.3	Isı Salınım Oranı.....	46
5.2.2	Motor Peformansı.....	49
5.2.2.1	Moment.....	49
5.2.2.2	Özgül Yakıt Tüketimi.....	50
5.2.2.3	Isıl Verim.....	51
5.2.3	Egzoz Emisyonları.....	52
5.2.3.1	NO <sub>x</sub> Emisyonları.....	52
5.2.3.2	İs Emisyonları.....	53
<b>6.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Trigliseridin kimyasal yapısı .....	11
Şekil 3.2. Yağ asitlerinin kimyasal yapısı.....	11
Şekil 3.3. Transesterifikasyon işleminin kimyasal denklemi.....	13
Şekil 3.4. Baz katalizörlü ester değişim reaksiyonuna ait süreç .....	13
Şekil 3.5. Ön iyileştirme reaksiyonu.....	16
Şekil 4.1. Manyetik karıştırıcılı sıcaklık kontrollü ısıtıcı .....	20
Şekil 4.2. Hassas terazi. ....	21
Şekil 4.3. Deri endüstri yağının normal şartlardaki görünümü.....	22
Şekil 4.4. Transesterifikasyon reaksiyonu sonrası faz ayrışması.....	24
Şekil 4.5. Motor test sisteminin fotoğrafı .....	28
Şekil 4.6. Motor test sisteminin şematik görünümü .....	28
Şekil 4.7. Test motoru.....	29
Şekil 4.8. Tork ölçüm ünitesi.....	30
Şekil 4.9. Egzoz gaz analiz cihazı.....	31
Şekil 4.10. Silindir basınç sensörü ve amplifikatör .....	32
Şekil 4.11. Yakıt hattı basınç sensörü ve yükseltici .....	32
Şekil 4.12. Enkoder.....	33
Şekil 4.13. Veri toplama cihazı (Kistler KiBox).....	33
Şekil 5.1. Yakıt hattı basıncı değişimleri. ....	41
Şekil 5.2. 1600 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.....	43
Şekil 5.3. 2000 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.....	44
Şekil 5.4. 2400 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.....	44
Şekil 5.5. 2800 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.....	45
Şekil 5.6. 3200 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.....	45
Şekil 5.7. 1600 d/d tam yükte ısı salınımı değişimi.....	46
Şekil 5.8. 2000 d/d tam yükte ısı salınımı değişimi.....	47
Şekil 5.9. 2400 d/d tam yükte ısı salınımı değişimi.....	47
Şekil 5.10. 2800 d/d tam yükte ısı salınımı değişimi.....	48
Şekil 5.11. 3200 d/d tam yükte ısı salınımı değişimi.....	48
Şekil 5.12. Tam yük altında motor momentleri .....	50
Şekil 5.13. Özgül yakıt tüketiminin tam yükte devirlere göre değişimi .....	51
Şekil 5.14. Isıl verimlerin değişimi.....	52
Şekil 5.15. NO <sub>x</sub> emisyon değişimi.....	53
Şekil 5.16. İS emisyon değişimi .....	54

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Yağ asitlerinin kimyasal yapıları .....	12
Çizelge 3.2. Amerika ve Avrupa biyodizel standartları.....	17
Çizelge 4.1. Deri endüstri yağının yağ asit bileşenleri .....	23
Çizelge 4.2. Test yakıtlarının temel özellikleri.....	27
Çizelge 4.3. Testlerde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri.....	29
Çizelge 4.4. Egzoz gaz analiz ve is ölçer cihazının özellikleri.....	31
Çizelge 5.1. Deri endüstri yağı biyodizelinin özellikleri.....	40
Çizelge 5.2. Püskürtme ve yanma karakteristikleri .....	42
Çizelge 5.3. Isı salınımı ve maksimum silindir basıncı değerleri ve yerleri.....	49



## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

### Semboller

%	yüzde
°C	santri grad derece
be	özgül yakıt tüketimi
cs	senti stokes
d/d	devir/dakika
g	gram
H <sub>u</sub>	alt ısııl değer
km/h	kilometre/saat
kW	kilo watt
mL	mili litre
m <sub>y</sub>	yakıt tüketimi
n	motor devri
Nm	newton metre
P <sub>e</sub>	efektif güç
ppm	milyonda bir
η <sub>t</sub>	ısııl verim
ω	açısııl hız

### Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Birliği
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	Toluen
CH <sub>3</sub> OH	Metil Alkol
CO	Karbonmonoksit
COOH	Karboksil Asit
D70	%30 Biyodizel %70 Motorin
D90	%10 Biyodizel %90 Motorin
D100	%100 motorin
DEYB	Deri Endüstri Yağı Biyodizeli
EN	Avrupa Birliği Standartları
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürik Asit
KOH	Potasyum Hidroksit
KOMe	Potasyum Metoksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaOMe	Sodyum Metoksit
NO <sub>x</sub>	Azot Oksitler
°KMA	Krank Mili Açısııl
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)
PKDY	Petrol kökenli dizel yakıtı
PM	Partikül Madde
SYA	Serbest yağ asidi
TG	Tutuşma gecikmesi

## TEŞEKKÜR

Yaptığım bu çalışmanın hazırlık aşamasında emeği geçen, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım kıymetli hocam Doç. Dr. Alaattin Osman EMİROĞLU'na ve bilgilerinden faydalandığım hocalarım Doç. Dr. Ahmet KESKİN ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ŐEN'e teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca annem Songül İNAL, babam M.Serdar İNAL, kardeşim Fatma Nur İNAL ve Eşim Büşra İNAL'a manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Saygılarımla  
Oğulcan Mustafa İNAL

# 1. GİRİŞ

Enerji üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda artış göstermiş özellikle fosil yakıt rezervlerinin tükenme tehlikesi ve emisyon değerlerinin çevreye verdiği zarar bizleri alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışma yapmaya itmiştir.

Hayvansal ve bitkisel kökenli yağlardan üretimi yapılan yağ asidi etil ve metil esterleri alternatif bir yakıt olarak değerlendirilmektedir (Gerpen, 2005).

Yapılan çalışmalar ışığında ülkeler gelecekte alternatif olarak hangi yakıtı kullanacağını ve bu yakıtın rezerv durumunun hangi seviyede olduğunu hesap etmek zorundadır. Bu yakıt türünün seçimi yapılırken rezerv durumunun yanında, ekonomikliği ile kimyasal ve fiziksel özelliklerinin uygunluğu da göz önüne alınmalıdır. Bunun yanı sıra, yanma reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan kirletici emisyonların çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkileri de yakıt belirlemede belirleyici bir etkidir (Alptekin ve Çanakçı, 2011).

Biyodizel hiçbir aksam değişikliği yapılmadan dizel motorlarda kullanılmakta ve temiz bir alternatif yakıt olarak düşünülmektedir. Biyodizel kütlece yaklaşık olarak %10-15 oranında oksijen bulundurmaktadır. Yenilenebilen, biyolojik açıdan parçalanabilen ve toksik barındırmayan bir yakıttır. Petrol kökenli yakıt olan dizel ile birbirlerine benzer yanma davranışı gösterirler. Bu nedenle dizel motorlarda dizel ile karıştırılarak veya direkt olarak kullanılabilir. Biyodizel atık yağlardan, kullanılmış kızartma yağlarından, bitkisel kökenli yağlı tohumlardan, hayvansal yağlardan ve bütün biyolojik kökenli yağlardan uygun katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile kimyasal reaksiyon sonucunda oluşabilen ve motorlarda yakıt olarak kullanılabilen yağ asidi metil esterleridir (Altınsoy, 2007).

Kalitesi yüksek olan rafine bitkisel yağların biyodizel hammadde ihtiyacında kullanılması, motorinden daha yüksek fiyatlı bir yakıt haline getirmiştir. Maliyet dengesini sağlamak amacıyla daha ucuz fiyatlı hammaddeler tercih edilmelidir. Kullanılmış veya yenilebilir bitkisel yağların fiyatları hayvansal yağların fiyatından

bir hayli fazladır. Bu nedenle atık hayvansal yağların biyodizel yakıtı üretiminde kullanılması maliyeti düşürecektir (Alptekin ve Çanakçı, 2011).

Dizel motorun tanıtımını yapan Rudolf Diesel muciti olduğu motorda yakıt olarak yer fıstığı yağından elde etmiş olduğu biyodizeli kullanmış ancak günümüzde enerji içeriği daha fazla olan motorin daha yaygın kullanılmaktadır. Egzoz emisyonlarının oksijenli yakıtlarda daha az olması ve çevre bilincinin daha da artması sebebiyle 1980'li yıllarda yağ asitlerinin dizel motorlarda kullanılması yine gündem olmuştur. Hele ki petrol krizinin olduğu yıllarda bitkisel yağlar dizel motorlarda kullanılmıştır. Ancak bu yağların motorine kıyasla viskozitelerinin ve moleküler ağırlıklarının yüksek olması, düşük yakıt atomizasyonuna; içerisinde gliserin bulundurması, silindirde oluşan tortulara, yapışan maddelere ve karbon toplanmasına sebep olmaktadır. Bu durumun akabinde bitkisel yağ kullanılan motorlarda sorunlar ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak hayvansal, bitkisel veya atık yağların dizel motorda herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılması için motorine benzer özelliklere sahip yakıtı dönüştürülmesi gerekmektedir (Özsezen ve Çanakçı, 2009).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun açıkladığı oranlarda ulaşım sektöründe kullanılan motorlu kara taşıtlarının %27,9'unu benzin, %50,7'sini dizel ve %20,9'unu LPG yakıtlı araçlar oluşturmaktadır (TÜİK).

Bu çalışmanın amacı, deri işleme tabakhanelerinden artan deri altı atık yağlarından, motorine benzer, daha ekonomik ve daha temiz bir alternatif yakıt olan biyodizel üretmek, bununla beraber deri işleme işleminde artan atık yağların değerlendirilerek çevreye ve ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde hayvansal ve bitkisel kökenli yağların biyodizel üretimindeki kullanılabilirliği, biyodizelin üretimi ve birbirinden farklı olacak şekilde kullanılan katalizörlerin biyodizel üretim aşamasındaki etkileri hakkında literatür taraması yapılan çalışmalara değinilecektir. Son olarak ise üretilen bu biyodizelin motor performans değerleri, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyon değerleri hakkında incelenen çalışmalardan bahsedilecektir.

Marchetti ve Errazu, oleik asit ile rafine Ayçiçek yağı karışımıyla biyodizel üretmişlerdir (Marchetti, 2008). Karışımın serbest yağ asidi (SYA) değeri %10,7 olarak bulunmuştur. Sonrasında, asit katalizör ile birlikte kullanılan yağın SYA değerini düşürmek istenmiştir. Reaksiyonda asit katalizör olarak  $H_2SO_4$ , alkol olarak etanol kullanılmış ve serbest olan yağ asitlerini estere dönüştürmek amaçlanmıştır. Ortaya çıkan karışımın ilk ölçülen SYA değerinden, reaksiyon bitince ölçülen SYA değerinin çıkarılmasından sonraki kalan değerin karışımın ilk ölçülen SYA değerine bölünmesi işlemiyle bulunan değeri SYA dönüşümü diye adlandırmışlardır. Reaksiyon  $45^{\circ}C$  sıcaklıkta, sokulacak toplam yağ karışımının %2,3'ü miktarında asit katalizörü kullanarak, birbirlerinden farklı yağ-etanol molar oranında ve ayrı sürelerde reaksiyon gerçekleştirmişlerdir. Reaksiyon süresi ile birlikte alkol miktarının artması ile SYA dönüşüm oranı artmıştır. 1 saatlik reaksiyon sonucunda ve 10,052:1 alkol-yağ molar oranında SYA dönüşümü %95'i geçmiş halde bulunmuştur. Katalizör miktarının da SYA üzerinde oluşan etkisini incelemek için 6,124:1 metanol-yağ oranı kullanılarak,  $45^{\circ}C$  sıcaklıkta, %1,026, %2,261, %5,139 olmak üzere 3 farklı katalizör oranları seçmişlerdir. Reaksiyon zamanı ve katalizör miktarının fazlaşmasıyla SYA dönüşümü artarken, 1 saatlik reaksiyonda %5,139 katalizör kullanılarak yapılması ile SYA dönüşümü %95 seviyesine yükselmiştir. Bu işlemden sonra reaksiyon için yapılan toplan yağ karışımının %2,3'ü kadar asit katalizör kullanılarak ve 6,124:1 metanol-yağ molar oranında birbirinden farklı sıcaklıklarda, reaksiyonun sıcaklığının SYA dönüşümüne etkisi incelenmiştir. Belirlenen  $35^{\circ}C$ ,  $45^{\circ}C$  ve  $55^{\circ}C$  sıcaklıkların arasında en yüksek SYA dönüşümü  $55^{\circ}C$  gerçekleşmiştir.

Berchmans ve Hirata, SYA içeriğine sahip olan hint fıstığı (jatropha) yağından (%14,9 SYA), fındık (%1,2 SYA) ve palmiye yağından (%14,9 SYA) biyodizel üretmişlerdir (Berchmans, 2008). İlk olarak tek aşamalı, katalizör olarak NaOH barındıran baz katalizörlü reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple kullanılan yağın miktarı göz önüne alınarak, birbirinden farklı katalizör miktarında (%0,5, %1,0, %1,5, %2,0, %2,5 ve %3,0) ve birbirinden farklı alkol oranlarında (%10, %15, %20, %25, %30 ve %40) reaksiyonlar gerçekleşmiştir. Reaksiyon süresi 2 saat, sıcaklığı ise 65°C olarak seçilmiştir. Düşük miktarda yağda (15 cm<sup>3</sup>) çalışmaları için, ester yıkama işlemi bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Fındık ve palmiye yağı için en fazla ürün eldesi, %28 metanol ve %1 NaOH miktarında gerçekleşmiş ve ürün sonuçları sırasıyla %80 ve %85 olmuştur. Yüksek SYA içeriğine sahip olan hint fıstığı yağı için ise daha fazla katalizör miktarlarına gerek duyulduğunu belirtmişlerdir. Hint fıstığı yağı için ideal reaksiyon şartları, %70 alkol ve %3,3 katalizör miktarı olarak belirlemişlerdir. Bu şartlarda bile ürün sonucu %55 olarak ölçülmüştür. Ürün açığa çıkmasının çok düşük olmasıyla beraber hint fıstığı yağının içerisindeki SYA analiz edilmiştir. Buna göre %14,9 SYA barındıran hint fıstığı yağının SYA dağılımı; %5,4 oleik, %6,9 linoleik, %0,2 stearik ve %2,4 palmitik asit olarak belirlenmiştir. Ürün sonuçlarının artırılması için 2 adımlı üretime geçilmiştir. İlk olarak hint fıstığı yağına ön iyileştirme işlemi uygulanmış ve bu yağın SYA değeri aşağı çekilmiştir. Ön iyileştirme işlemi için yağ ağırlığının %1'i kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve birbirinden farklı metanol miktarları kullanılmış olup reaksiyon süresi 1 saat, sıcaklığı ise 50°C olarak seçilmiştir. Miktarca %70 alkolde SYA değeri %1 seviyesine çekilmiştir. Bu miktar %1 seviyesine indirildikten sonra baz katalizörlü olan transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmiştir. Bu reaksiyon için reaksiyon süresi 2 saat, sıcaklığı ise 65°C olarak sabit tutulduğunda, en ideal reaksiyon şartları %24 metanol ve %1,4 NaOH miktarı olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda ürün miktarı %90 olarak tespit edilmiştir. Ancak elde edilen biyodizel yakıtının uluslararası standartlarda bulunan yakıt özellikleri ölçülmemiştir.

Dias ve arkadaşları, hayvansal kökenli yağların biyodizel üretimi için oluşabilecek en uygun reaksiyon şartları hakkında çalışmışlardır (Dias, 2009). İlk olarak atık domuz yağı kullanılarak elde edilen hayvansal kökenli yağın karakterizasyonunu belirlemişlerdir. Hayvansal kökenli yağın asit değerini 14 mgKOH/g olarak ölçmüşlerdir. Bitkisel yağlar ile bu değer kıyaslandığında oldukça



yüksek olduğu görülmektedir. Hayvansal kökenli yağların asit değerini optimum şartlara düşürmek sebebiyle ilk olarak yağa ön iyileştirme işlemi yapılır. Bu işlem için, kullanılacak yağın ağırlığına göre asit katalizör miktarı seçilmiştir. Çalışmada asit katalizörü olarak sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılmıştır. Ön iyileştirme reaksiyonunda %2  $H_2SO_4$ , farklı sıcaklıkta(  $45^\circ C$ ,  $55^\circ C$  ve  $65^\circ C$ ) ve 6:1 alkol-yağ molar oranı kullanılarak reaksiyonlar elde edilmiştir. Ancak  $65^\circ C$  5 saatlik reaksiyon sonucunda asit değeri hala 10 mgKOH/g olarak ölçülmüştür. Ölçülen sonuçla birlikte asit miktarı %2'den %3'e çıkarılmıştır. Asit katalizör oranı %3 kullanıldığında,  $65^\circ C$  3 saatlik reaksiyon nihayetinde asit değeri 3 mgKOH/g bulunmuştur. Sonra %1 sodyum hidroksit (NaOH), alkol-yağ molar oranı 6:1 kullanılarak transesterifikasyon reaksiyonu yapılmıştır. Bu işlem 3 saat olarak ayarlanmış ve sonucunda %46 ürün eldesi olurken,  $4,72 \text{ mm}^2/\text{s}$  viskozitesi ve ester içeriği %92 çıkmıştır.

Vicente ve arkadaşları, hammadde olarak ayçiçek yağından biyodizel üretebilmek için ideal reaksiyon şartlarını incelemişlerdir (Vicente, 2004). Hammadde olarak kullanılan ayçiçek yağının asit değerinin yaklaşık olarak 0,5 mgKOH/g olmasıyla beraber direkt olarak transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmiştir. KOH, NaOH, KOME ve NaOMe katalizör olarak, metanolü ise alkol olarak kullanmışlardır. Sıcaklık  $65^\circ C$ , kütle olarak yağın %1'ini katalizör miktarı ve zamanı ise 4 saat olarak belirlemişlerdir. Reaksiyonlar sonucunda ürün olarak elde edilen biyodizelin ester içeriği bütün katalizörler için %99 civarındadır. Fakat, en yüksek ürün eldesini KOME ve NaOMe kullanımında elde edilmiştir. KOME ve NaOMe için ürün sonuçları %98-99 civarındayken, NaOH için %86-87, KOH için %91-92 arasında bulunmaktadır. Sabunlaşma bu aralarındaki farkı oluşturduğu belirtilmiştir. Ayrıca ortaya çıkan sabunun gliserinde çözülmüş olduğu ve bununda esterinin, gliserinde çözünürlüğünü artırarak son basamaktaki ürün miktarını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Üretilen biyodizellerin önemli yakıt özelliklerinden olan serbest gliserin, monogliserit, toplam gliserin, trigliserit ve digliserit miktarlarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak ölçülen gliserit değerlerinin EN14214 ve DIN 51606 standartlarına uygun olduğu belirtilmiştir.

Chung ve arkadaşları, biyodizel üretiminde restoranlardan aldıkları atıl ördek yağını hammadde olarak kullanmışlardır (Chung, 2009). Atıl ördek yağından biyodizel üretmek için 3 farklı baz katalizör olarak hidroksit (KOH), katı halde

sodyum metoksit (NaOMe) ve NaOH kullanmışlardır. Reaksiyon için en optimum şartı belirlemek amacıyla metanol-alkol oranı, katalizörün miktarı, reaksiyonun süresi ve sıcaklığı değiştirilerek gerçekleştirmişlerdir. Yağ ağırlığının %1'i kadar KOH kullanılarak, 65°C sıcaklıkta, 3:1 metanol yağ molar oranında, 3 saatlik reaksiyon süresinin sonunda ester içeriği %75 bulunmuştur. Metanol ile yağ molar oranı 6:1'e çıkarılmış ve sonuç olarak ester içeriği %97'ye yükselmiştir. İlaveten reaksiyonun ardından farklı katalizörlerle üretilen biyodizellerin yağ asitlerinin dağılımı incelemiştir. Atıl ördek yağının reaksiyondan önce oluşan yağ asidi dağılımının çoğunluğu 3 yağ asidinden oluşmuştur. Yağdaki oleik asit (C18:1) miktarı %59, palmitik asit (C16:0) miktarı %17 ve linoleik asit (C18:2) miktarı %19,6 olarak belirtilmiştir. Yağ ağırlığının %1'i kadarını baz katalizör kullanılarak, 65°C sıcaklıkta, 6:1 metanol-yağ oranında ve 3 saatlik süre sonunda atıl ördek yağındaki oleik asitleri, NaOH, KOH ve NaOMe katalizörleri ile kullanılmak için sırasıyla %71,5, %72,5 ve %71,9'a yükseltilmiştir. Sırası aynı olarak linoleik asitin miktarları %1,5, %2,2 ve %1,6'ya düşmüş, palmitik asitin miktarı ise %26,0, %24,2 ve %25,8'e yükseltilmiştir. Reaksiyon şartları aynı kalmak şartıyla üretilen biyodizellerin viskoziteleri NaOH, KOH ve NaOMe katalizörleri için sırayla 6,0, 5,5 ve 5,8 mm<sup>2</sup>/s olarak belirtilmiştir. Ancak yapılan bu çalışmada yakıtın özelliği ayrıntılı olarak karakterize edilmemiştir.

Reyes ve arkadaşları (Reyes, 2006) ham olarak elde ettikleri somon balığı yağından dizel-biyodizel karışımı ve rafine olmuş dizel-biyodizel karışımlarıyla beraber kullandığı motor performansını ve partikül maddeli emisyon performansı üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada, fazlaca YSA bulunduran somon balığı yağından biyodizelin üretimi iki ayrı aşamada yapmışlardır. İlk aşama, somon balığı yağını katalizörü sülfürik asit olarak metanol ile 60 dakika, 55°C'de reaksiyona sokmuşlar ve elde edilen biyodizeli 30 dakika süreyle 70°C'de ısıtmışlardır. Bu biyodizelin erime noktası -11°C, viskozitesini ise 4,96 cs olarak bulmuşlardır. Rafine edilmiş biyodizel ile ham biyodizel, parçacık emisyonu ve güç ölçümü için dizel motorda test edilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda, dize yakıtı oranla %100 rafine biyodizel kullanıldığında partikül madde emisyonunda %50 azalma olduğu, en yüksek güç kaybının %3,5, rafine biyodizel veya ham biyodizel karışımlarında ise güç kaybında azalma olduğu ve partikül madde emisyon değerinin de azaldığı tespit edilmiştir.

Özgünay ve arkadaşları, deri altı yağı ile ürettikleri biyodizeli Fiat marka Doblo aracında (maksimum tork 118 Nm, 1,9L dizel motor, 4 silindirli) şasi dinamometresini kullanıp teste tabi tutmuşlardır (Özgünay, 2007). İlk olarak deri yağından üretilmiş olan biyodizelin yakıt özelliklerini belirlemiştir. Belirlenmiş olan bu yakıtın özellikleri uluslararası biyodizel standart değerlerine uygun çıktığı görülmüştür. Ancak üretilmiş olan biyodizelin ölçülen değerlerinden bulutlanma noktası 10°C olduğu görülmüştür. Bu sonuçla bir yorum yapılacak olursa yakıtın kış şartlarında kullanılamayacağını anlaşılmakta, ilaveten hayvansal kökenli yağların doymuşluğunun da yüksek olduğunu göstermektedir. Elde edilmiş olan deri yağı biyodizeline, oleik asit miktarı (C18:1) %41,8, palmitik asit miktarı (C16:0) %20,59, stearik asit miktarı (C18:0) %8,36, palmitoleik asit miktarı (C16:1) %4,6, linoleik asit miktarı (C18:2) %2,97 ve miristik asit miktarı (C14:0) olarak belirlenmiştir. %100 biyodizel ile motorin kullanılarak karşılaştırmalar yapmışlardır. Yapılmış olan bu deneylere göre motorin için motor gücü en fazla 38 kW iken, B100 de 37,5 kW belirlenmiştir. Araç ivmelenmesini 0 km/h hızdan 100 km/h te hızlanması olarak bakıldığında, ivmelenme ile motorinin arasında belirgin bir fark olmayarak daha kısa bir zaman zarfında gerçekleştiği de görülmüştür. Yapılmış olan emisyon testlerinin sonucunda, hidrokarbon (HC), partikül madde (PM) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarında gözle görülür bir azalma, azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyon değerlerinde ise artma görülmüştür.

Kondamudi ve arkadaşları, üretimi yapılacak biyodizel için tavuk yağı seçmişlerdir (Kondamudi, 2009). Öncelikle yapılan çalışma ile tavuk yağından elde edilen biyodizel üretiminde yağda bulunan SYA miktarını düşürmüşlerdir. Bu aşamada KOH'u katalizör olarak kullanmışlar ve bunun sonucunda SYA'larından sabun elde etmişlerdir. Ortaya çıkan sabun tabakası ayrıldıktan sonra yağ içindeki su ısıtılarak uzaklaştırılmış ve yağın transesteri reaksiyon için hazır hale getirilmiştir. Bu yağın SYA değeri hakkında ise bir bilgi verilmemiştir. KOH miktarı %1, metanol yağ oranı 9:1 olacak şekilde 60 dakika süreyle, 70 °C'de üretilen biyodizelin serbest ve toplam gliserin değerinin standartlara uygun ölçüldüğü belirtilmiştir. Ancak soğuk akış değerleri incelendiğinde akma noktası 6°C ölçülmüştür. Bu değere bakılarak kış şartlarına uygun olmadığı söylenmiştir. Üretilmiş olan biyodizelin yağ asit dağılımı incelendiğinde; oleik asit miktarı (C18:1) %46,10, palmitik asit miktarı (C16:0)

%28,86, stearik asit miktarı (C18:0) %10,06, linoleik asit miktarı (C18:2) %14,44 olarak belirtilmiştir.

Bhatti ve arkadaşları tarafından koyun yağı ve atık tavuk yağından biyodizelin üretimi için uygun olan şartlar araştırılmıştır (Bhatti, 2008). Bu sebeple reaksiyona sokmak için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ü asit katalizörü olarak, KOH'u ise baz katalizörü olarak kullanmışlardır. Katalizörü asit olan reaksiyonlarda kullanılan yağ ağırlığının %100, %50 ve %25'i kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, kullanılan yağ ağırlığının 30 katı kadar hacimsel metanol (150mL metanol 5 gram yağ için) kullanılmış ve birbirinden farklı reaksiyon sıcaklığı (30°C, 40°C, 50°C, 60°C) seçilmiştir. Katalizörü baz olan reaksiyonlar da ise 3 farklı metot kullanmışlardır. İlkinde, 1,8g KOH, 120g yağ ve 33,5ml metanol kullanılmış ve 60 dakika süreyle, 30°C sıcaklıkta reaksiyon gerçekleştirilmiştir. İkinci de, 2,5g KOH, 120g yağ ve 24mL metanol kullanılmış ve 60 dakika süreyle oda sıcaklığında reaksiyona sokulmuştur. Üçüncüsü de 0,5g KOH, 50g yağ ve 11,25g metanol kullanılmış ve 120 dakika süreyle oda sıcaklığında reaksiyona sokulmuştur. Biyodizelin üretiminde 5gr tavuğun yağı için en optimum şartlar; yağ/alkol oranı 1:30, reaksiyon sıcaklığı 50°C ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> miktarı 1,25g olacak şekilde, 5g koyun yağı kullanıldığında en optimum şartlar; yağ/alkol oranı 1:30, reaksiyon sıcaklığı 60°C ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> miktarı 2,5g olacak şekilde belirtilmiştir. Normal şartlar altında 24 saatte koyun ve tavuk yağ için sırasıyla %93,21 ± 0,71 ve %99,01 ± 0,71 ürün elde edilmiştir. Sıcaklık 60°C üzerinde olduğu reaksiyonlarda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmaması gerektiğini önermişlerdir. Çünkü 60°C sıcaklığın üzerine çıkıldığında sülfürik asidin yağ yakarak ürün ortaya çıkarmasını düşürdüğü ifade edilmiştir. Katalizörü baz olan reaksiyonlarda ise en yüksek ürün sağlanmıştır (%78,33 koyun yağ ve %88,14 tavuk yağ). Üretilmiş olan biyodizelin ölçülen değerleri uluslararası standartları karşıladığı belirtilmiştir.

Sahoo ile arkadaşları, içerisinde yüksek serbest yağ asidi barındıran polonga yağını kullanarak biyodizel yakıt üretimi yapmışlardır (Sahoo, 2007). Yapılan çalışma esnasında kullanılan polonga yağın asit değerini 44 mg KOH/g yani yaklaşık olarak % 22 SYA ölçülmüştür. Rafine edilmeden elde tutulan polonga yağının kalıntıları ile artıklarını kullanmak için bütün işlemlerden daha önce tolüen ile metanolla beraber 65 °C'de 2 saat zaman zarfında karıştırılmıştır. Yapılan bu aşamanın ardından ölçülen yağ asit değeri 18 mg KOH/g olarak ölçülmüştür. Bundan

sonraki işlemde asit katalizör ( $H_2SO_4$ ) kullanıldığı belirtilmiştir. Metanol ile yağ oranı 6:1,  $H_2SO_4$  miktarı % 0,65 olarak seçilmiş, 4 saat süre ile 65 °C’de reaksiyona tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonucunda ölçülen asit değeri 4 mg KOH/g seviyesinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bundan sonra yapılacak olan transesterifikasyon işlemi için gereken yağ asit değerinde olduğu görülmüş, katalizör olması için KOH belirlenmiştir. Bir sonraki işlemde, katalizörün miktarı %1,5, 9:1 olarak metanol yağ oranı, 4 saat zaman zarfında 65 °C’de reaksiyona sokulmuştur. Transesterifikasyon işlemi sonunda elimizde hazır bulunan polonga yağı biyodizelinin parlama noktası, viskozite, akma noktası, bulutlanma noktası ve ısıl değer gibi yakıtın özelliklerini belirten parametreler ölçülmüş ve uluslararası yakıt standartları değerleri sınırlarında olduğu tespit edilmiştir. Üretilmiş olan biyodizel yakıt, motorin ile belirli oranlarda karışım oluşturularak su soğutmalı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir motorda teste tabi tutulmuş ve bu testler farklı yükler altında yapılmıştır. Yapılan bu testler sonucunda B100 kullanılmış sonuçların diğer yakıt karışımlarının sonuçlarına oranladığımızda özgül enerji tüketiminde yüksek bir sonuç tespit edilmiştir. Sonuç incelemesi devam ettiğinde efektif verimin daha iyi bir sonuç verdiği belirlenmiştir. Emisyon incelemesi yapıldığında ise hidrokarbon (HC) değerlerinde motorinle kıyaslandığında bir azalma, azot oksitte ise artma gözlemlenmiştir.

### **3. BİYODİZEL NEDİR VE NASIL ÜRETİLİR?**

Petrol kökenli yakıtların azalması ile alternatif yakıt arayış çalışmaları ile bulunan yakıtlar arasında kullanılabilirlik olarak en dikkat çekici yakıt biyodizeldir. Tezin bu bölümünde, ilk olarak hayvansal ve bitkisel yağların özellikleri, biyodizelin nasıl üretildiği, hayvansal atık yağ veya bitkisel yağ potansiyelini ve ülkemizdeki durumu hakkında bilgi verilecektir.

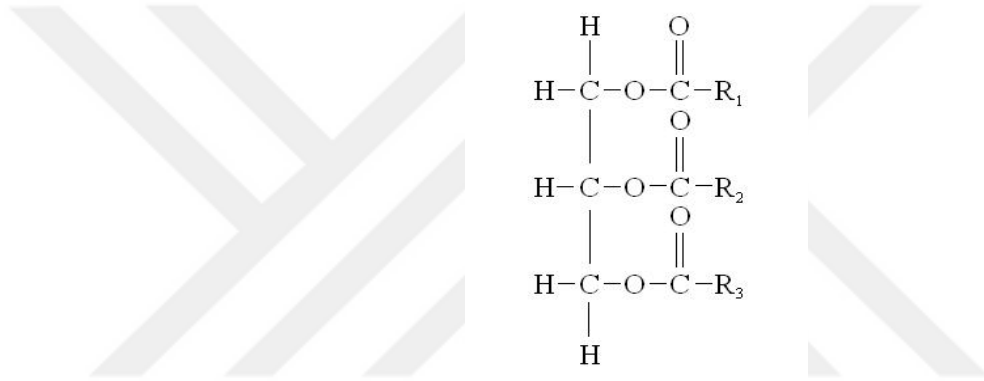
#### **3.1 Biyodizel Nedir?**

Biyodizel, hayvansal ve bitkisel kökenli yağ kaynaklarından elde edilebilen petrol kökenli yakıtlara alternatif olabilecek bir dizel yakıt türüdür. Bitkisel ve hayvansal kökenli yağların katalizör eşliğinde alkol ile reaksiyona sokulmasıyla üretilmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde görülmüştür ki, kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından alternatif olarak düşünülen petrol kökenli yakıtlara benzer özellik göstermektedir. Biyodizel, hiçbir değişiklik yapmaksızın dizel motorlarda saf olarak kullanılabilirdiği gibi, motorinle belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Üretilen biyodizelin kimyasal yapısı yakıt özelliklerine de etki etmektedir. Bu amaçla, hayvansal ve bitkisel yağların kimyasal yapıları hakkında da bilgi sahibi olunmalıdır.

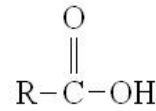
##### **3.1.1 Hayvansal ve Bitkisel Yağların Kimyasal Yapısı**

Biyodizel üretme işlemlerinde hammadde olarak kullanılan hayvansal veya bitkisel kökenli yağların kimyasal özellikleri biyodizel değerlerine etki etmektedir. Hayvansal ve bitkisel kökenli yağların büyük bir kısmı trigliseritten meydana gelmektedir. Trigliseritler, gliserol molekülü ile 3 yağ asidinin birleşmiş halidir. Bitkisel ve hayvansal yağlar içerdikleri yağ asitlerinin gliserol molekülü ile bağlanma şekillerine göre farklılık göstermektedir. Eğer yağ asidi çift karbon bağından bir tane içeriyorsa, tekli doymamış yağ asidi, birden fazla içeriyorsa çoklu doymamış yağ asidi olarak adlandırılmaktadır (Caringal, 1989). Şekil 3.1'de

trigliseridin kimyasal yapısı gösterilmektedir. Şekildeki R, yağ asidini simgelemektedir. Yağ asitleri, hidrojen ve karbon atomlarından meydana gelmiş, içerisinde karboksil asit olan bir kimyasal bileşik olarak adlandırılmaktadır. Karboksil asit ise (COOH) yağ asitlerinin sonunda bulunan kimyasal gruptur. Karboksil asit, bir proton kaybedip COO- olabilir veya herhangi bir alkol grubu ile birleşerek ester oluşturabilir. İçeriğinde bulunan karbon atomu sayısı çift bağ ve zincir üzerindeki yeri bakımından birbirinden farklılık gösterirler. Bu yağ asidi eğer diğer bileşiklerle bir bağ oluşturmazsa serbest yağ asidi olarak isimlendirilir (Stauffer, 1996). Aşağıda Şekil 3.2’de ise bir yağ asidinin kimyasal yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Trigliseridin kimyasal yapısı.



**Şekil 3.2.** Yağ asitlerinin kimyasal yapısı.

Stearik asit (18:0) ve palmitik asit (16:0) bilinirliği en çok olan iki doğmuş yağ asididir. Bitkisel yağların hepsi bu yağ asitlerinden en az birini içermektedir. Buna benzer oleik asit (18:1) bilinen tekli doymamış yağ asididir. Buna ilaveten bütün yağlar belli bir miktar linolenik asit (18:2) ve (18:3) içerebilir. Çizelge 3.1’de ise yağ asitlerinin kimyasal yapısı görülmektedir (Goering, 1982). Yağ asit yapısı 2 rakam ile gösterilmektedir. İlk rakam yağ asitlerinin toplam atom sayısını, ikincisi ise çift karbon bağ sayısını göstermektedir (Peterson, 1986).

### Çizelge 3.1. Yağ asitleri kimyasal yapıları

Yağ Asitleri	Karbon Sayısı
Miristik asit	C-14:00
Palmitik asit	C-16:00
Stearik asit	C-18:00
Oleik asit	C-18:01
Linoleik asit	C-18:02
Linolenik asit	C-18:03
Araşidik asit	C-20:00
Behenik asit	C-22:00
Erukik asit	C-22:01

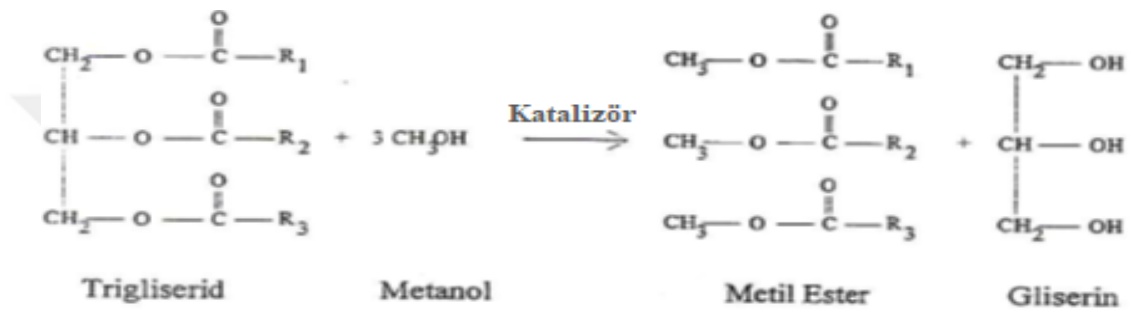
#### 3.1.2 Hayvansal ve Bitkisel Kökenli Yağlardan Biyodizel Üretimi

Hayvansal ve bitkisel kökenli yağlar, dizel motorlarca kullanılabilen alternatif bir yakıttır. Petrol kökenli yakıtların biteceğini ön gören birçok araştırmacı, hayvansal ve bitkisel kökenli yağları dizel motorlarda defalarca denemişlerdir. Bu denemeler esnasında, hayvansal ve bitkisel kökenli yağların viskozitelerinin yüksek olması nedeniyle dizel motorlarda kullanılması halinde enjektörlerde karbon birikintileri ve piston sekmanlarına yapışmaları gibi birçok motor arızalarını meydana getirdikleri gözlenmektedir. Bu yüzden bu yağların yakıt özelliklerinde iyileştirmeye gidilmesiyle alakalı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar özellikle yağların viskozitelerini azaltmaya yönelik olmuştur. Yağların viskozitelerini azaltmak için mikro emülsiyon oluşturma, seyreltme, transesterifikasyon ve piroliz gibi birbirinden farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanı ise transesterifikasyondur.



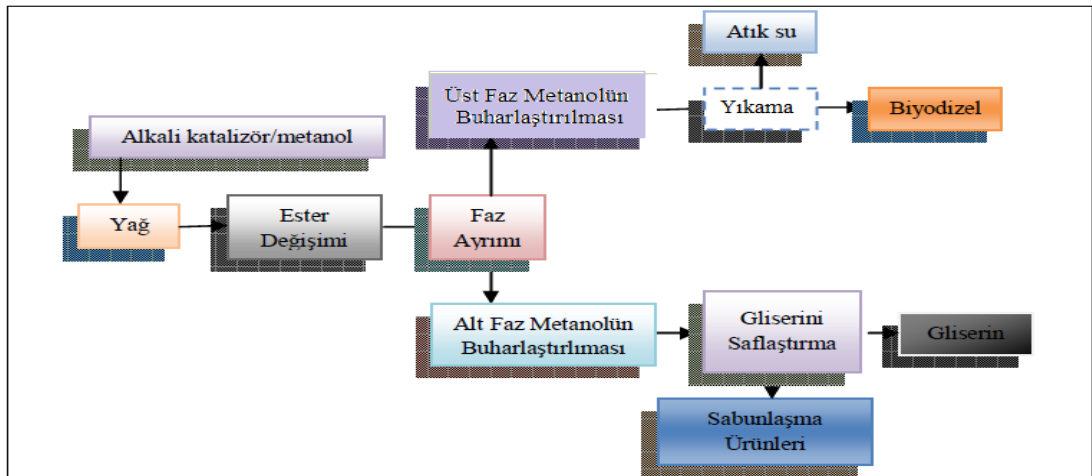
### 3.1.2.1 Transesterifikasyon

Yağların dizel motorlara uygun alternatif bir yakıt haline getirilmesi için izlenebilecek en önemli kimyasal yöntem alkoliz reaksiyonu veya bir başka isimle transesterifikasyondur. Şekil 3.3'te kimyasal denklemi verilen transesterifikasyon işlemi, hayvansal kökenli yağların küçük molekül ağırlığında olan katalizör-alkol eşliğinde yağ asidi ve gliserin oluşturulması amacıyla reaksiyona sokulma işlemidir. Hayvansal kökenli yağların katalizör ve metanolün birbiriyle karıştırılması gerekmektedir (Kaplan, 2001).



Şekil 3.3. Transesterifikasyon işleminin kimyasal denklemi (Çildir, 2003).

Transesterifikasyon işlemini daha hızlı yapabilmek için bazik ve asidik katalizörlerle enzimler kullanılmalıdır. Bu işlemde baz katalizör kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanılan elde edilen biyodizel üretiminde aşağıda verilen işlemler takip edilmektedir. Şekil 3.4'te katalizörü baz olan ester değişim reaksiyonu genel prosesi görülmektedir.



Şekil 3.4. Baz katalizörlü ester değişim reaksiyonuna ait süreç (Yenioğlu,2009).

### 3.1.2.2 Piroliz

Kraking veya piroliz, kimyasal bağların daha küçük molekül haline gelmesi amacıyla kırılma işlemidir. Hayvansal kökenli yağlardan piroliz ürünü elde etmek için 2 farklı yöntem vardır. İlki, kapalı bir kaptaki hayvan kökenli yağı ısıtma işlemiyle parçalara ayırma, diğer yöntem ise standart ASTM distilasyon ile ısı parçalara ayırmadır. İkinci yöntem uygulanarak yapılan çalışmada, hayvan kökenli yağdan yapılan distilatın saf yağla kıyaslandığında dizel yakıtına daha benzer özellikler taşıdığı görülmüştür (Kaplan, 2001).

### 3.1.2.3 Emülsiyon Oluşturma

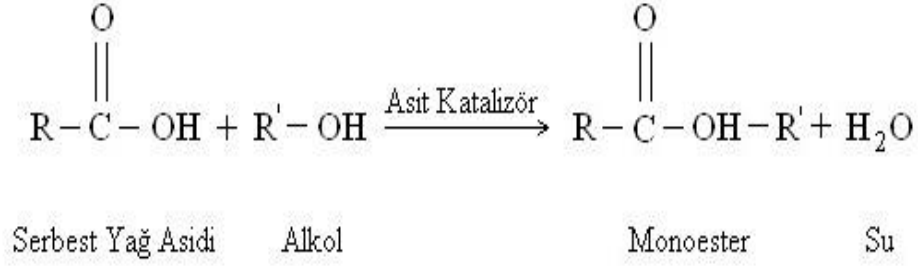
Hayvansal kökenli yağların viskozitesini daha aşağıya çekmek için, etanol veya metanol gibi kısa zincirli alkol ile mikro emülsiyon oluşturulmasıdır. Mikro emülsiyon ise, normal şartlar altında karışmayan iki sıvı ile bir ya da birden fazla amfifilin bir araya getirilmesiyle oluşur. Kullanılan bu yöntem ile petrol kökenli yakıtlardan tamamen farklı alternatif bir dizel yakıt oluşturmak mümkündür. (Kaplan, 2001).

Hayvansal ve bitkisel kökenli yağların dizel motorlarda kullanılmasına engel olan en önemli nedenlerden birisi olan viskozite, transesterifikasyon reaksiyonuyla beraber %90'a varan oranda azaltılabilmektedir. Yoğunluğu ise bir miktar daha düşmektedir. Buna ilaveten molekül ağırlığı, yağ molekül ağırlığının üçte birine inmekle beraber uçuculuğunda ise iyileşmeler meydana gelmektedir. Bununla beraber ısı değerlerinde de artma gözlenmektedir.

Biyodizelin üretilmesinde yaygınca kullanılan alkol çeşidi metanoldür. Diğer alkol çeşitlerine göre daha iyi sonuçlar vermesi seçim için yeterliken ucuz olmasıyla beraber metanolü diğer alkollere kıyasla bir hayli tercih sebebi yapmıştır. Diğer alkoller, izopropil alkol, etanol ve bütil alkoldür. Bununla beraber metanol harici başka alkol kullanımında reaksiyon şartlarında değişiklik göstermekte ve biyodizelin üretimi zorlaşmaktadır. Ancak motor performansı gözle görülür bir şekilde değişmemiştir (Georing, 1982). Transesterifikasyon reaksiyonunda, reaksiyon hızı ve tamlığını geliştirmek için bazı katalizörler kullanılmaktadır. Bu reaksiyonda

kullanılan katalizörler, sodyum hidroksit (NaOH), sodyum metoksit (NaOMe), potasyum metoksit (KOMe) ve potasyum hidroksittir (KOH). Bununla beraber asit katalizörlerde kullanılabilir. Asit katalizörler transesterifikasyon reaksiyonu esnasında alkali katalizörler ile kıyaslandığında daha yavaştır ve ilaveten daha çok alkole ihtiyaç duyulmaktadır. Reaksiyonlarda en çok kullanılan asit katalizörler, hidroklorik asit, sülfonik asit ve sülfürik asittir. Asit katalizörlü bir transesterifikasyon reaksiyonu oda sıcaklığında gerçekleşirken çok yavaş gerçekleşmiş ve düşük ester elde edilmiştir (Çanakçı, 2001).

Bitkisel kökenli yağların asit değeri genellikle 1 mgKOH/g'ın altındadır. Eğer yağ asit değeri 1 mgKOH/g 'a eşit ise, serbest olan yağ asit miktarı yaklaşık %0,5'tir. Atık olan bitkisel kökenli yağların kullanımında yağ özelliklerinin değişmesi sebebiyle SYA miktarı artabilmektedir. Yüksek miktarda SYA içeren bir yağ alkali katalizörle reaksiyona girildiğinden ürün olarak sabun ortaya çıkmaktadır. SYA ester dönüşümünü azaltırken, reaksiyonla birlikte ortaya çıkan sabun, reaksiyonun sonucundaki ester, gliserin ve yıkama suyu ayrışmasına engel olmaktadır. Bu sebeple serbest yağ asidi yüksek olan yağlar, doğrudan alkali katalizörle reaksiyona sokulmaz. Sonuç olarak, atık hayvansal veya bitkisel yağlar ile transesterifikasyon reaksiyonuna başlamadan önce, yağın SYA miktarını bilmek gerekmektedir. SYA miktarı %0,5'den fazla ise, asit katalizörler alkali katalizörlerin yerine kullanılmalıdır. Böylece serbest yağ asitlerini estere dönüştürülür. Ön iyileştirme diye de adlandırabileceğimiz bu adımla beraber yağların SYA'ları düşürülmüş olacaktır. Ön iyileştirme işlemi için, katalizör ve alkol miktarı içerisinde bulunan SYA miktarına göre belirlenir. Yağın serbest yağ asidi miktarı istenilen düzeye gelince reaksiyon başlar. Ancak transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör ve alkol miktarı reaksiyona sokulmamış trigliserit miktarı baz alınarak belirlenir. Baz katalizörler asit katalizörlere kıyasla daha hızlıdır ancak SYA'ları estere dönüştürmede asit katalizörlerin yavaş olduğu söylenmez. SYA miktarını düşürmek için asit katalizör kullanıldığında ortaya çıkan sorun ise sonuçta su oluşumudur. Bu ürün (su) reaksiyonun tamlığını engeller. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi SYA'lari alkol ve asit katalizör ile birlikte reaksiyona girer. Reaksiyon sonunca SYA'lar estere dönüşürken, su da oluşur. Ortaya çıkan bu suyun ön iyileştirme reaksiyonunun arkasından uzaklaştırılması gerekmektedir.



**Şekil 3.5.** Ön iyileştirme reaksiyonu

### 3.1.3 Biyodizel yakıt standartları

Biyodizelin üretiminde birden fazla hammaddenin kullanımı vardır. Amerika, genellikle biyodizel üretmek için soya yağını, Avrupa ise kanola kökenli yağı tercih etmektedir. Biyodizel üretmek için farklı hammaddeleri kullanmanın yanı sıra farklı katalizör ve alkol de kullanılmaktadır. Ancak üretilmiş esterlerin biyodizel adı altına alınması ve dizel motorlarda herhangi bir sorunla karşılaşmadan uzunca bir zaman kullanılması için belli bir standardı sağlaması gerekmektedir. Bu standartlar Avrupa'da EN 1421, Amerika'da ASTM D6751 olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 3.2'de Avrupa ve Amerika biyodizel standartları verilmiştir. Bu çizelgede görüleceği gibi Amerika ve Avrupa standartlarında birkaç özellik haricinde pek bir fark yoktur. Örnek olarak Amerika standardında biyodizel setan sayısı 47 iken, Avrupa'da 51'dir. Ayrıca Amerika standardında kükürt miktarı 15 ve 500 ppm iken Avrupa standardında bu değer 10 ppm'dir.

Bu standartların yanı sıra pek çok ülke kendi biyodizel standardını oluşturmuştur. Örneğin üretilmiş biyodizelin çevre şartlarına göre akışkanlığı değişmekte ve bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Bu sebeple bulutlanma noktası veya soğuk filtre tıkanma noktası gibi özellikler farklılık arz etmektedir.

**Çizelge 3.2.** Amerika (ASTM D6751) ve Avrupa (EN 14214) biyodizel standartları

Özellikler	Birim	ASTM D6751-11b	(EN 14214)	Standartlar
Yoğunluk (15°C)	kg/m <sup>3</sup>	-	860 – 900	EN ISO 12185
Viskozite (40°C)	mm <sup>2</sup> /s	1,9 – 6,0	3,5 – 5,0	EN ISO 3104 D445
Parlama Noktası	°C	93 min.	101 min.	EN ISO 3679 D93
Setan Sayısı		47 min.	51 min.	EN ISO 5165 D613
Su ve Tortu	% (hacimsel)	0,05 mak.	10 mak.	EN ISO 20884 D2709
Sülfür İçeriği S15 S500		15 mak. 500 mak.	-	D5453 D5453
Serbest Gliserin	% (kütleli)	0,02 mak.	0,02 mak.	EN 14105 D6584
Soğuk Filtreleme -12°C altında	saniye	360 mak. 200 mak.	-	D7501 D7501
Fosfor İçeriği	mg/kg	10 mak.	4 mak.	EN 14107 D4951
Asit Değeri	mgKOH/g	0,50 mak.	0,50 mak.	EN 14104 D664
Toplam Gliserin	% (kütleli)	0,24 mak.	0,25 mak.	EN 14105 D6584
Distilasyon %90 Geri Kazanım	°C	360 mak.	-	D1160
Sülfat Külü İçeriği	% (kütleli)	0,020 mak.	0,020 mak.	EN ISO 3987 D874
Karbon Kalıntısı (% 100 Biyodizel)	% (kütleli)	0,050 mak.	0,30 mak.	EN ISO 10370 D4530
Oksidasyon Stabilitesi (110°C)	saat	3 min.	8 min.	EN 15751 EN1112
Bakır Şerit Korozyon(3h,50°C)	korozyon derecesi	No 3 mak.	No 1 mak.	EN ISO 2160 D130
Gurup I Metaller (Na+K)	mg/kg	5 mak.	5 mak.	EN14538
Gurup II Metaller (Ca+Mg)	mg/kg	5 mak.	5 mak.	EN 14538
Bulutlanma Noktası	°C	bölgesel		D2500
Metanol İçeriği	% (kütleli)	-	0,20 mak.	EN 14110
Monogliserit	% (kütleli)	-	0,80 mak.	EN 14105
Digliserit	% (kütleli)	-	0,20 mak.	EN 14105
Trigliserit	% (kütleli)	-	0,20 mak.	EN 14105
Ester İçeriği	% (kütleli)	-	96,5 min.	EN 14103
Linolenik asit metil ester içeriği	% (kütleli)	-	12,0 mak.	EN 14103
(≥ 4 Çift Bağ) Metil Ester içeriği	% (kütleli)	-	1 mak.	EN 15779
İyot Değeri	g I.100/g	-	120 mak.	EN 14111
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24 mak.	EN 12662
Su İçeriği	mg/kg	-	500 mak.	EN ISO 12937

### 3.1.4 Türkiye’deki atık hayvansal ve bitkisel yağların potansiyeli

Dizel motor tanıtımında biyodizel kullanılmasına ve biyodizelin motorinle karşılaştırıldığında birçok üstün özelliği bulunmasına rağmen, hammadde olarak bitkisel kökenli yağ seçiminden dolayı maliyeti oldukça yüksek çıkmıştır. Bu sebeple konu üzerinde yapılan çalışmalarla beraber maliyeti daha düşük olan hammaddelere yönelim olmuştur. Öncelikle göze batan yağlar ise atık hayvansal ve atık bitkisel yağlardır. Restorantlar, yemek sanayileri, lokantalar, hoteller, kızartma yapılan işletmeler ve hastanelerin mutfaklarında kullanılmış atık haldeki bitkisel yağlar genellikle pis su giderine dökülmekte veya çevreye atılmaktadır. Sonunu düşünmeden atılan bu yağlar, drenaj sistemine sıvanmakta, boruları tıkamakta ve kanalizasyon içerisindeki atıkların yapışmasına neden olmaktadır. Bu yağlar kendinden sonra dökülmeye devam eden diğer yağları tutmakta ve şehirlerin alt yapı sistemi zamanla kullanılamaz olmaktadır. Ülkemizde imha edildiği sanılan bu yağlar geri dönüşüme kazandırılabilse hem çevre kirliliğinden kurtarılacak hem de biyodizel üretimi için hammadde oluşturulacaktır. Bitkisel kökenli atılmış yağların yönetimi ile alakalı esaslar Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan “Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” başlığı ile yayımlanmıştır. Kullanılmış bitkisel kökenli yağların tekrar kazanılmasıyla beraber evsel atık suların kirliliği de iyileştirilecektir. Buda atık su arıtma tesislerinde oluşan bakım onarım maliyetini en aza indirecek ve bir kazanç sağlayacaktır. Bununla beraber toprağın bozulması da önlenecektir. Sonuç olarak bu atıkların toplanması hem değerli bir hammadde ortaya çıkaracak, hem de çevre kirliliğini önleyecektir.

Düşük maliyetli sistemlerden birisi de küçük baş veya büyük baş hayvanın deri endüstri yağlarıdır. Tabakhanelerde işlenen derilerden geri kalan yağlar atık durumundadır. Bu yağların işletme sahibine vereceği imha maliyeti ve gereken zamanı, hem de doğaya vereceği zarar tespit edilerek bir planlanma yapılmalıdır. Bu planlama neticesinde kurulacak tesisler aracılığıyla hem yenilenebilir bir kaynak hem çevre dostu bir uygulama elde edilmiş olacaktır.

### 3.1.5 Türkiye’de biyodizel

Ülkemizde biyodizel kullanmayı yaygınlaştıramamanın önündeki büyük engel özel tüketim vergisidir. Bu vergi ile birlikte bir maliyet hesabı çıkarıldığında, biyodizel motorinden daha pahalı olmaktadır. Ancak ülkemizde bu şartlarda biyoetanol ve biyodizelin motorinle harmanlanmış %2’lik kısmı özel tüketim vergisinden muaf tutulmaktadır. Kullanılan dizel motorlu araçların çokluğu göz önüne alındığında %2’lik biyodizel ilavesinin bile ekonomik olarak fayda sağladığı aşıkardır.

Bununla beraber Enerji Piyasası Denetleme Kurulu tarafından 29.09.2019 tarihinde güncellenmiş olan tebliğde piyasada akaryakıt adı altında olan motorin çeşitlerinin, biyodizel ile harmanlanma oranı %0,5 olarak zorunlu olmuştur. Bu oran başka ülkelere kıyasla düşüktür. Biyoyakıt kullanımını artıracak düzenlemelerin akabinde dışa bağımlılık azalacaktır.

Ülkemizde hala birden çok firma biyodizel üretimi için lisans almış olmasına rağmen üretim yapamamaktadır. Biyodizel üretimi için standartların altında değer çıkaran bu firmalar, kullanılan alkolün yeteri kadar saf olmaması, yıkamadaki sorunları ve katalizörü de düşük kalitede kullanmak gibi bir takım alt yapı eksiklikleri biyodizel kalitesini düşürmektedir. Son olarak tesis maliyetini düşürmek için yapılan eksik malzeme kullanımı da biyodizelin kalitesini etkilemektedir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu

Tezin bu kısmında biyodizel üretiminde kullanılan laboratuvar, üretim yöntemleri ve üretim esnasında kullanılan kimyasallar ve diğer malzemeler hakkında bilgi verilecektir. Bununla beraber üretilmiş olan biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi için nasıl bir yöntem uygulandığından bahsedilecektir.

#### 4.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Kimyasallar

##### 4.1.1.1 Manyetik Karıştırıcılı ve Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı (Hot-plate)

Biyodizelin üretilmesi için çözelti hazırlanırken, çözeltiyi ısıtabilmek ve belirli bir sıcaklıkta sabit tutabilmek için Şekil 4.1’de sunulan HEIDOLPH marka, MR Hei-Tec model, ısıtıcılı, %  $\pm 2$  hız hassasiyetli, manyetik karıştırıcılı, sıcaklık kontrolü yapan, 30-1400 d/d aralığında çalışabilen bir ısıtıcı kullanılmıştır.



**Şekil 4.1.** Manyetik Karıştırıcılı ve Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı



#### 4.1.1.2 Cam Malzemeler

Biyodizel üretimi yapılırken, laboratuvar ortamında ayırma hunisi (teflon musluklu), beherler, balon jojeler, mezürler ve boru camlar gibi malzemeler kullanılmıştır.

#### 4.1.1.3 Hassas Terazi

Biyodizel üretimi için çözelti hazırlama aşamasında herhangi bir maddenin tartılması için, Şekil 4.2’de gösterilen 0,01 g hassasiyeti bulunan OHAUS-PIONEER markalı 10 °C ile 40 °C arasında yoğunlaşmadan çalışabilen terazi kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Hassas terazi

#### 4.1.1.4 Kimyasal Malzemeler

Biyodizel üretilirken alkol olarak metil alkol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ , Merck, %99,9 saflıkta), fenolftalein (CARLO ERBA), 2-Propanol (SIGMA-ALDRICH), tolüen ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ ), potasyum hidroksit (KOH) ve son olarak yıkama suyu olarak ise damıtılmış saf su kullanılmıştır.

#### 4.1.2 Biyodizel Üretiminde Hammadde Olarak Kullanılan Deri Endüstri Yağı ve Özellikleri

Biyodizel üretimi için hammadde olarak kullanılan deri endüstri yağı, Bursa'da bulunan Bursa Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi tesislerinden alınmıştır. Sanayi bölgesinde işlenen hayvan derileri büyük baş hayvanlara aittir. Kullanacağımız yağın içerisinde bulunan yüksek miktardaki serbest yağ asidi, transesterifikasyon reaksiyonu için baz katalizör kullanılması halinde sabunlaşma olabilmektedir. Baz katalizörünü transesterifikasyon reaksiyonda kullanabilmek için, araştırmacılar tarafından biyodizel üretiminde kullanılacak hammaddenin SYA değeri % 1'in altında olması önerilmektedir (Freedman,1984).

Deri endüstri yağı normal şartlarda Şekil 4.3'te görüldüğü gibi katı haldedir. Yapılan çalışmalar neticesinde deri endüstri yağı asit değeri 1,9 mgKOH/g olarak ölçülmüştür. Bu değer ise yaklaşık %0,95 SYA değerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle herhangi bir ön iyileştirme işlemine gerek duyulmamıştır. Deri endüstri yağının yağ asit dağılımı çizelgesi Çizelge 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.3. Deri endüstri yağının normal şartlardaki görünümü

**Çizelge 4.1.** Deri endüstri yağının yağ asidi bileşenleri

<b>Yağ asitleri</b>	<b>İsimler</b>	<b>Bileşenler (%)</b>
C14:0	Miristik	2,99
C14:1	Miristoleik	1,7
C15:0	Pentadekanic	0,39
C16:0	Palmitik	25,5
C16:1	Palmitoleik	7,23
C17:0	Heptadecanoic	0,77
C18:0	Stearik	11,6
C18:1n9t	Elaidik	1,8
C18:1n9c	Oleik	43,44
C18:2n6t	Linolelaidik	0,66
C18:2n6c	Linoleik	1,65
C18:3n6	Linolenik	0,47
C20:0	Araşidik	0,12
C20:1	İkosenic	0,47

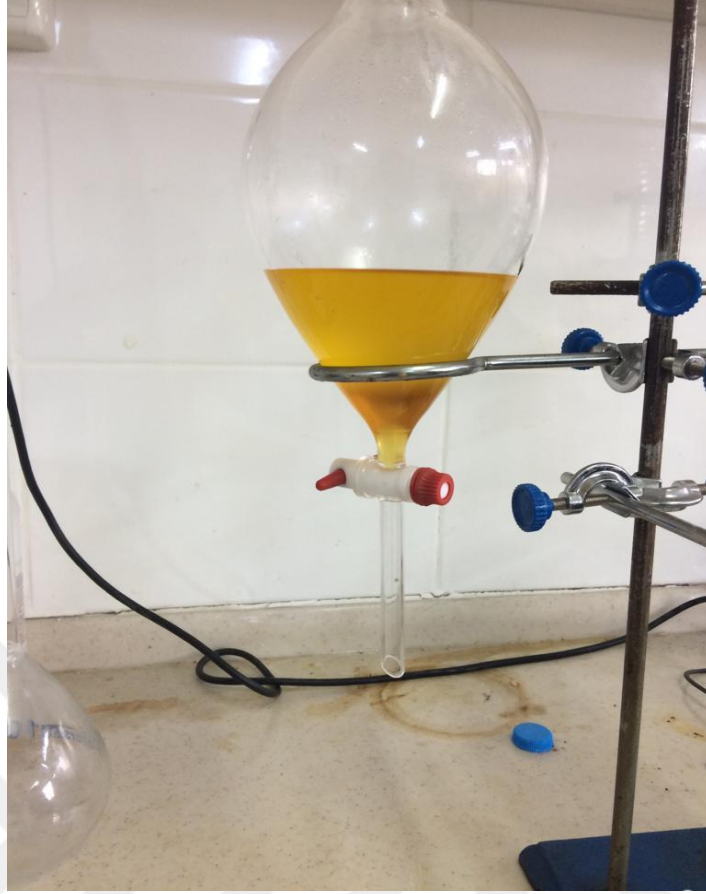
### 4.1.3 Biyodizelin Üretim Yöntemi

Yapılan bu çalışma esnasında kullanılmış olan deri endüstri yağının SYA değerinin %1'den az olması sebebiyle ön iyileştirme işlemine gerek duyulmamıştır.

#### 4.1.3.1 Transesterifikasyon

Alkol-Yağ molar oranı 6:1 olarak seçilmiştir. Katalizör olarak KOH seçilmiştir. Katalizör miktarı ise deri endüstri yağının ağırlıkça %0,8'i olarak kullanılmıştır.

Bu çalışma esnasında transesterifikasyon reaksiyonu için 63 °C sıcaklık seçilirken, reaksiyon süresi 1 saat, reaksiyon devri ise 600 d/d olarak seçilmiştir. Reaksiyon için belirlenen süre sona erdiğinde, yapılan karışım reaksiyonun yapıldığı kaptan alınıp dinlenme kabına konulmuştur. Ayrılma işlemi tamamlanması amacıyla bekleme kabında 24 saat kadar bekletilmiştir (Şekil 4.4). Bekletilen karışımın altında kalan tabaka esterden ayrılmıştır. Daha sonra ester saf suyla yıkanmıştır. Yıkama işlemi gerçekleştikten sonra ester içerisinde bulunan fazla alkol ve suyun alınması için 110 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle kurutma işlemi yapılmıştır.



**Şekil 4.4.** Transesterifikasyon reaksiyonu sonrasında faz ayrışması.

#### **4.1.4 Üretilen Biyodizelin Yakıt Özellikleri Belirlenmesi**

Transesterifikasyon parametreleri yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi için üretilmiş olan biyodizelin uluslararası standartlarda bulunan yakıtların özellikleri belirtilmiştir. Yakıtın analizi TÜBİTAK MAM'da yaptırılmıştır.

Biyodizel üretimi için kullanılacak olan hammaddenin temel özelliklerinden birisi de yağ asit dağılımıdır. Kullanılan yağ ile üretilmiş olan biyodizelin yağ asit dağılımı IUPAC 2.301 standart test yöntemine göre belirlenmiştir. Biyodizel üretiminde maliyeti direkt olarak etkileyen ve bunun belirlenmesine gerek duyulan etkenlerden birisi esterin elde edilmesidir. Yapılan bu çalışmada ester elde edilmesi, transesterifikasyon sonucu elde edilmiş ester miktarıdır.

Yoğunluk ise motor performanslarını direkt olarak etkileyebilecek olan yakıtların önemli bir özelliğidir. Yakıtın atomizasyonu, ısı değeri ve setan sayısı gibi

birden fazla performansı etkileyen karakteristik değer yoğunlukla ilgilidir (Ryan, 1984). Yakıtı hacimsel olarak ölçen sistem, yakıt enjeksiyon sistemidir. Bu sebeple yakıtın yoğunluğundaki değişim kütleye birbirinden farklı yakıt enjekte edilmesine sebep olacak sonuç olarak motorun çıkış gücünü etkileyecektir (Bahadur, 1995). Biyodizel yoğunlukları 860 ila 900 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasında olmaktadır. Yapılan çalışmalar ışığında bu yoğunluk değerlerinin pek değişmediği görölmüştür. Ortaya çıkan bu sonuca, kullanılmış olan yağ ve metanolün yoğunluğunun sonuçtaki ester yoğunluğuyla değer olarak birbirlerine yakın olmasının kaynaklandığı sebep olmaktadır. Yoğunlukların değerleri sıcaklık 15 °C’de ve ASTM D4052 test yöntemine göre belirlenmiştir.

Yakıtların fiziksel özellikleri biyodizelin dizel motorlarda kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bunların başında viskozite gelmektedir. Viskozite, penetrasyonu, yakıt damlacık çapını, atomizasyon kalitesini ve sonuç olarak yanma kalitesini etkilemektedir (Tate, 2006). Viskozitenin yüksek olması, eksik yanmaya, zayıf yakıt atomizasyonuna, sekman karbonlaşmasına, enjektör tıkanmasına ve son olarak yakıtların motor yağları ile karışmasına, düşük viskozite ise yakıt sistemi yapısında kaçak oluşmasına sebep olmaktadır. Buna ilaveten yüksek viskozite, yakıt pompalamak için gereken enerji miktarını artırmakta ve pompa elamanlarını aşındırmaktadır (Schwab, 1987). Hayvansal ve bitkisel kökenli yağların viskozite değerleri motorin ile kıyaslandığında oldukça yüksek çıkmaktadır. Bununla beraber transesterifikasyon reaksiyonu sonunda elde edilmesi düşünölen değerlerden birisi, viskozite değerini standartlara düşürmektir. Viskozite ölçme işlemleri 40 °C sıcaklıkta, ASTM D445 standart test yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Biyodizel ile petrol kökenli yakıtların kıyaslanmasıyla ortaya çıkan biyodizelin üstün özelliklerinden birisi parlama noktasının yüksek olmasıdır. Yakıtların parlama noktası genel olarak yakıtın güvenliği ve depolanmasıyla ilgili olmak ile birlikte motor performansında göz görülür bir değişiklik yapmamaktadır. İlaveten parlama noktasında oluşun değişim yanma karakteristiğini çok fazla etkilememektedir (Caro, 2001). Biyodizel yakıtın parlama noktası Amerika ve Avrupa standartlarında sırasıyla 130 °C ve 101 °C olarak gösterilmiştir. Petrol kökenli yakıt olan motorinde ise EN 590 standardına göre en az 55 °C’dir. Buradan

çıkarılacak sonuçla biyodizel motorine kıyasla daha güvenli bir yakıt haline gelmektedir. Parlama noktası ASTM D93 test metoduna göre ölçülmüştür.

Yakıtların içerisinde bulunan asit miktarlarını belirlemek için asit değeri kullanılmaktadır. Bu özellikler hem yakıtların ömrü, hem de kalitesi hakkında bilgi vermek amacıyla kullanılır. Biyodizellerin asit değerleri Avrupa ve Amerika standartlarında aynı belirlenmiş ve 0,5 mgKOH/g olarak belirtilmiştir. Üretilmiş olan biyodizellerin asit değerleri bu standart değerinin üzerinde çıkarsa, yakıt sisteminde tortulara sebep olacak ve nihayetinde yakıt filtresinin ve pompasının ömrünü kısaltacaktır (Tyson, 2001). Asit değer ölçümü AOCS Cd-3a-64 test yöntemine göre yapılmıştır.

Yakıtlardan elde edilebilecek enerji miktarı ısı değeri ile ölçülmektedir. Bu ısı değeri direkt olarak yakıt tüketimini etkilemektedir. Motorin ısı değeri biyodizele kıyasla daha yüksektir. Biyodizel ısı değeri yakıtın kimyasal yapısına göre farklılık göstermektedir. Doymuşluk ile zincir uzunluğunun artması ısı değeri arttırmaktadır (Graboski, 1998). Isı değeri ASTM D6751 ile EN 14214 standartlarında gösterilmemiştir. Fakat motorine oranla yakıt tüketimine bakılması esnasında kullanılmaktadır. Bununla beraber belirtilen standartlarda belirtilmemesine rağmen, yakıtların ısıtma amacıyla kullanılan EN 14213 standardında 39700 kJ/kg olarak verilmiştir. Isı değerlerin ölçülmesi ASTM D240 standardına göre yapılmıştır.

Yakıtlarda karbon depoziti oluşturabilme eğilimi belirlemek için, yakıtlara karbon kalıntısı yöntemi yapılmaktadır. Bu yöntem, yakıtların motorlarda kullanılmasıyla ortaya çıkacak karbon miktarının net bir göstergesi olmasa da, yaklaşık bir değer olarak verilmektedir. Karbon kalıntısı değerlerinin ölçülmesi ASTM D4530 test yöntemine göre yapılmıştır. Yakıtların barındırdığı su, metal sistemlerde korozyon oluşturmaktadır. Bu sebeple motorlarda kullanılacak yakıttaki su oranının da bilinmesi gerekmektedir. İçerdiği suyun ölçülmesi EN ISO 12937 test yöntemiyle ölçülmüştür.

## 4.2 Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Yanma Karakterizasyon Deneyleri

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi (2), Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Laboratuvarı'nda üretilmiş olan biyodizel yakıt, dizel (petrol kökenli) yakıt ile kıyaslanarak, tek silindirli dizel motor ile teste tabi tutulmuş ve motor performansı, yanması ve egzoz emisyon karakteristik değerleri belirlenmiştir.

### 4.2.1 Yakıt İçin Karışımların Hazırlanması

Elde edilmiş olan deri endüstri yağı biyodizeli (DEYB), referans olarak kullanılan ticari dizel yakıt (D100) ile hacimsel %10 ve %30 oranlarıyla karıştırılarak D90 ve D70 yakıt karışımları elde edilmiştir. Test yakıtlarının temel özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

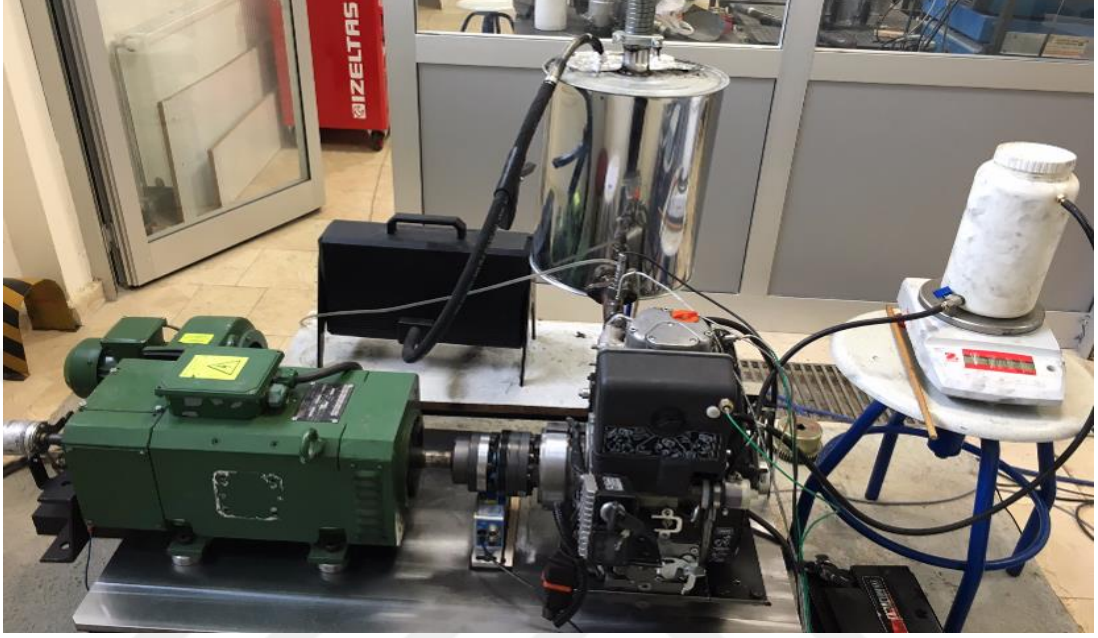
Çizelge 4.2. Test yakıtlarının temel özellikleri

Özellikler	D100	D90	D70
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,7	42,4	41,8
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	831,5	835,9	844,7
Setan Sayısı	58,8	58,8	58,8
Kinematik Viskosite (mm <sup>2</sup> /s)	2,40	2,62	3,07

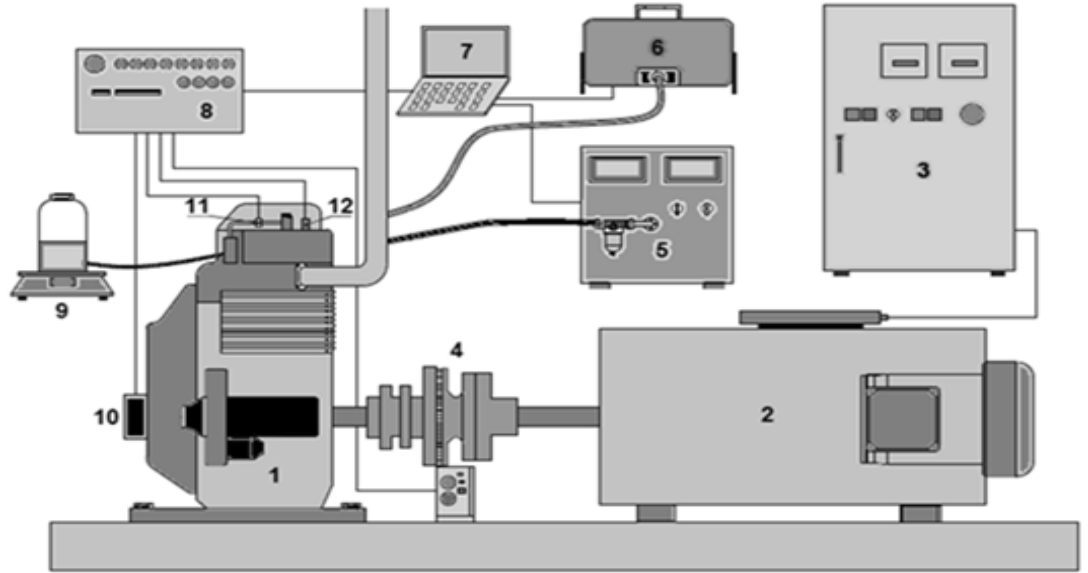
### 4.2.2 Motor Deneyleri

Deri endüstri yağından elde ettiğimiz biyodizelin motor performansını, yanma karakteristiğini ve egzoz emisyonlarının belirlenmesi için Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sırasıyla fotoğraf ve şematik resimlerinin görüldüğü test düzeneği kullanılmıştır. Biyodizel ve dizel yakıtlarının karışımları test için belirlenen tam yük altında, 1600, 2000, 2400, 2800 ve 3200 d/d koşullarında gerçekleştirilmiştir. Silindir basıncı ile yakıtın hat basıncı 0,1 derecelik krank açısı ile kaydedilmiştir. Sonuçta oluşacak verilerin tamamı Kistler KiBox veri toplama sistemleri kullanılarak tutulmuştur. Test işlemlerine başlamadan önce yakıt sisteminde bir önceki yapılan

testten herhangi bir yakıt kalmadığından emin olunup öyle devam edilmiştir. Yapılan her bir testten önce motor 5 dakika kadar çalıştırıldı. Stabil veri çıkışına ulaşıldıktan sonra ölçüm almaya geçildi. KiBox ile toplanan veriler 100 çevrim ortalaması alınıp kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Motor test sisteminin fotoğrafı



- |                   |                   |                       |                              |
|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1. Dene motoru    | 4. Torkmetre      | 7. Bilgisayar         | 10. Enkoder                  |
| 2. Dinamometre    | 5. Emisyon cihazı | 8. Veri toplama kartı | 11. Yakıt hat basınç sensörü |
| 3. Kontrol paneli | 6. İş ölçer       | 9. Hassas terazi      | 12. Silindir basınç sensörü  |

Şekil 4.6. Motor test sisteminin şematik görünümü

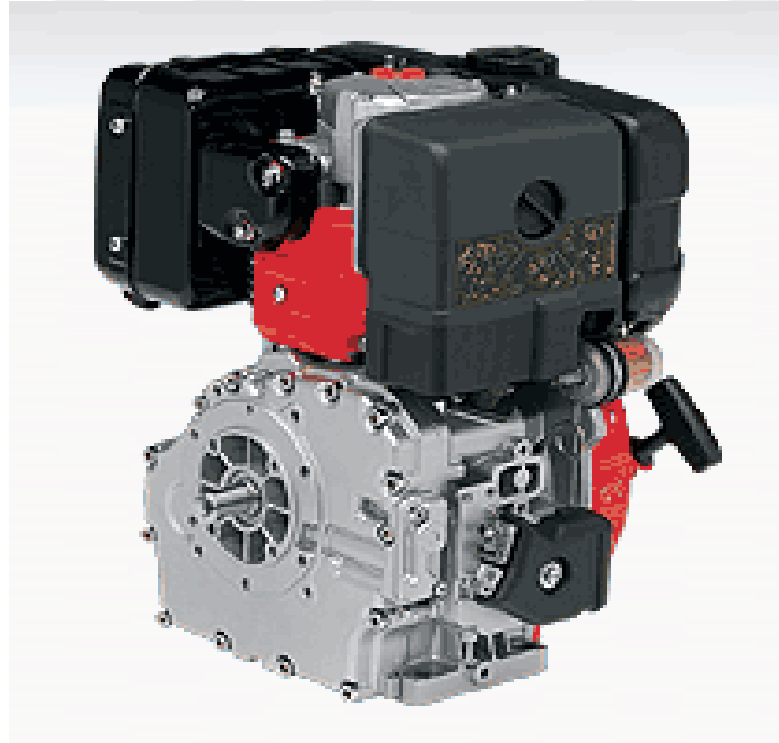


#### 4.2.2.1 Test Motoru

Motor testleri yapılırken, Şekil 4.7'deki fotoğrafta da gördüğümüz Lombardini marka 15 LD 350 modeli dört zamanlı, doğal emişli, tek silindirli, direk enjeksiyonlu ve hava soğutmalı dizel motor kullanılmıştır. Bu motorun fabrika çıkışı teknik bilgileri Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Testlerde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri

<b>Model</b>	<b>Lombardini 15 LD 350</b>
Maksimum güç	5,5 kW/3600 d/d
Maksimum tork	16,6 Nm/2400 d/d
Çap × kurs	82 mm × 66 mm
Silindir hacmi	349 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	20.3/1
Enjeksiyon pompa tipi	QLC tipi
Enjektör memesi	0.22 x 4 delik x 160°
Enjektör iğnesi kalkma basıncı	207 bar
Yakıt püskürtme avansı (°KMA)	20° ÜÖNÖ
Emme supabı açık/kapalı (°KMA)	10° ÜÖNÖ / 42° AÖNS



**Şekil 4.7.** Test motoru

#### 4.2.2.2 Dinamometre

Yapılan testlerde KEMSAN marka, gücü 15 kW olan eddy-current dinamometre kullanılmıştır. Fren yapma özelliği elektriksel indüksiyon ile sağlanır.

#### 4.2.2.3 Tork Ölçme Ünitesi

Tork, dönme momenti veya kuvvet momenti olarak adlandırılır. Kuvvetin, nesnesinin eksenine dönme isteğidir. Uygulanmış olan kuvvet, çekme veya itme olabilir. Test sistemlerinde 20 Nm ve 200 Nm tork sınırları arasında ölçüm yapabilen, motor miline flanşla montajı yapılabilen, statör ve rotordan oluşan Şekil 4.8'deki resimde görülen markası Kistler olan 4550 A model tork ölçme ünitesi kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Tork ölçüm ünitesi

#### 4.2.2.4 Egzoz Emisyonları Analiz Etme ve İis Ölçme Cihazı

Testlerde, oluşan is emisyonlarını ve dışa verilen egzoz gazı emisyonlarını ölçme amacıyla Şekil 4.9’da görülen ve Çizelge 4.4’te özellikleri verilmiş olan Mobydick marka, 5000 kombi model egzoz gaz analizörüyle beraber Mobydick marka is ölçme cihazı kullanılmıştır.

**Çizelge 4.4.** Egzoz gaz analiz ve is ölçer cihazının özellikleri

	Aralık	Doğruluk
NO <sub>x</sub> (ppm)	0~5000	1
İs emisyonu (%)	0-100	0,1



**Şekil 4.9.** Egzoz gaz analiz cihazı

#### 4.2.2.5 Silindir Basınç Sensörü

Silindir basınç değerini ölçmek amacıyla Şekil 4.10’da görülen markası Kistler, modeli A3 6052C olan piezoelektrik basınç sensörü ve 5064 şarj amplifikatörü kullanıldı.



Şekil 4.10. Silindir basınç sensörü ve amplifikatör

#### 4.2.2.6 Yakıt Hat Basınç Sensörü

Yakıt hattı basıncını ölçmek için Şekil 4.11’de görülen Kistler marka 4065B model piezoresistiv sensör ile 4665 yükseltici kullanıldı.



Şekil 4.11. Yakıt hattı basınç sensörü ve yükseltici

#### 4.2.2.7 Enkoder

Üst ölü nokta, krank açısı ve motor devir sayısını bulmak amacıyla kullanılacak cihaza enkoder denir. Şekil 4.12’de görülen markası Kistler, modeli 2614B olan enkoder, krank miline bağlanıp ölçümleri yapıldı.



Şekil 4.12. Enkoder

#### 4.2.2.8 Veri Toplama Sistemi (Kistler KiBox)

Yakıt hattı basınç ve silindir basınç verileri 0,1 derecelik krank açısıyla kaydedilmiştir. Bütün sinyaller Şekil 4.13’te resmi verilen markası Kistler KiBox olan veri toplama sistemiyle işlenerek kaydedilmiştir.



Şekil 4.13. Veri toplama cihazı (Kistler KiBox)

#### 4.2.2.9 Bilgisayar

Cihazları birbirleri ile eş zamanlı çalıştırma ve bunun kontrolünü sağlamak amacıyla markası HP olan bilgisayar kullanılmıştır.

#### 4.2.3 Elde Edilmiş Olan ve Hesaplanan Performans Değerleri

Üretilen biyodizel karışımları dizel motorlarda kullanılarak performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini belirlemek için deneylerde elde edilmiş olan datalar ile özgül yakıt tüketimi (ÖYT), efektif güç, efektif verim, silindirin basıncı, sıcaklığın değişimi ve ısı salınımı ile ilgili veriler hesaplanmış, grafik haline getirilmiştir. Bunlar için kullanılan formül ve yöntemler aşağıda verilmiştir.

##### 4.2.3.1 Motor Momentinin Hesabı

Tork veya başka bir deyişle moment, motorun devri ile beraber bir motorun iş yapması için gerekli kabiliyeti belirleyen parametredir. Motorun momenti, motor krank miline uygulanmış olan döndürme momenti olarak belirtilmektedir.

$$M_d = F \times l \quad (4.1)$$

##### 4.2.3.2 Efektif Güç Hesabı

Efektif gücü açıklamak gerekirse, motor volanı kullanılarak alınan faydalı güçtür. Açısal hız ve motor momentine bağlı olarak değişebilmektedir. Efektif güç verilen formüller ışığında hesaplanmaktadır;

$$P_e = \omega \times M_d \quad (4.2)$$

Motor devri (n), (d/d) olarak hesaplandığı için açısal hız ise şu şekildedir;

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} = \frac{\pi \times n}{30} \left(\frac{1}{s}\right) \quad (4.3)$$

Açısal hız için, Denklem (4.2)'de yerine konular ve birimi kW olarak hesaplanırsa;

$$p_e = \frac{\pi \times n}{30} \times M_d \times 10^{-3} \quad (4.4)$$

$$p_e = \frac{n \times M_d}{9549,58} \text{ (kW)} \quad (4.5)$$

elde edilir.

Burada;

Pe: Efektif güç (kW)

n: Motor devri (d/d)

$\omega$ : Açısal hız (rad/s) olarak ifade edilmektedir.

#### 4.2.3.3 Özgül Yakıt Tüketiminin Hesabı

Birim güç için motorun harcadığı yakıtın miktarı özgül yakıt tüketimi olarak tanımlanmaktadır. Motor testi yapılırken dijital terazi üzerine konulan yakıt deposundaki yakıtın tüketimi dijital terazi aracılığıyla birimi gram olacak şekilde kaydedilmiştir. Özgül yakıt tüketimi aşağıda görülen denklemlerdeki gibi hesaplanmaktadır;

$$be = \frac{m_y}{p_e} \times 3600 \quad (4.6)$$

Bu formülde;

Pe = Efektif güç (kW)

m<sub>y</sub> = Yakıt tüketimi (g/s)

be = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

olarak ifade edilir.

#### 4.2.3.4 Isıl Verimin Hesaplanması

İçten yanmalı motor çevriminde motorda kullanılacak bir kısım yakıt yanmamakta, egzoz yolu ile atılmaktadır. Motordan alınacak faydalı güç ile motorda kullanılacak enerji miktarının oranına ısı verim denilmektedir. Bununla beraber ısı verim verilen denklemlerdeki gibi hesaplanmaktadır;

$$n_t = \frac{P_e}{Q_e} \quad (4.7)$$

Bu formül ile sunulan  $Q_e$ , motora verilen enerjinin miktarıdır. Denklem (4.7) birim zaman ile yazılacak olur ise, yakıt alt ısı değeri ( $H_u$ ) dikkate alınmış olursa aşağıda verilen formül ile ulaşılabacaktır;

$$n_t = \frac{P_e}{Q_e} = \frac{P_e}{m_y \times H_u} \quad (4.8)$$

#### 4.2.3.5 Isı Salınım Oranı Hesabı

Silindir basıncını krank açısını inceleyerek elde etmek, silindirde gerçekleşen yanma reaksiyonu hakkında kayda değer bilgiler vermektedir (Heywood, 1988). Dizel yakıtlı motorların silindirdeki basınç verilerini kullanarak, ısı salınım analiz işlemi yapılmaktadır. Bunlar yapılarak aynı şartlar altında birbirlerinden farklı yakıtların performans değerleri karşılaştırılabilmektedir. Yaptığımız tez çalışmasında, bahsedilen silindir basıncı verileri kullanılmış olup ısı salınım analizi yapılmış, bu analiz verileri kullanılarak ise yanma karakteristiği ve tutuşma gecikmesi hesaplanmıştır.

Motorlar için önemli olan tutuşma gecikmesini hesaplayabilmek için, yakıt sistemi basıncı eğrisinden enjektör açılma zamanı belirlenmiştir. Bir başka hesapta ise ısı salınımı sonucu incelenerek de yanmanın ne zaman başladığı tespit edilmiştir. Yanmanın başlaması, ısı salınım grafik eğrisinde yükselmenin başladığı an olarak belirlenmiştir. Enjektörün açılma zamanı ile yanma başlamasını belirten iki nokta arası krank açısı cinsi ile tutuşma gecikmesi olarak tespit edilmiştir. Enjeksiyon başlangıcı ise enjektör açılma basınç değeri kullanılıp belirlenmiştir.



Isı salınım analizi termodinamiğin 1.kanunu kullanılarak hacmi belli olan silindirden alınan basınç verisi ile analiz edilmiştir. Bazı kabuller ısı salınım analizinde yapılmıştır. Termodinamik bir dengenin varlığı silindirdeki yanma esnasında kabul edilmiş, basınç dalgalanmaları ile beraber sıcaklıktaki ani değişim yok sayılmış, yakıt buharlaşması ve karışım oluşumu gibi dengede olmayan hususlar ihmal edilmiştir.

Termodinamiğin 1.yasasına göre,

$$\frac{dU}{dt} = Q_t - W \quad (4.7)$$

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{dQ_t}{dt} - \frac{dQ_d}{dt} = P \frac{dV}{dt} + \frac{dU}{dt} \quad (4.8)$$

belirtilen denklemi yazılır. Yazdığımız denklemde U harfi ile sistemdeki iç enerji ifade edilmiştir. Net olan ısı salınımı ( $Q_n$ ), toplam ısının salınımı ( $Q_t$ ) ile silindir duvarına olan ısı transferi ( $Q_d$ ) arasındaki fark olup, piston üzerine yapılmış olan iş ile iç enerjinin değişiminin toplamını ifade eder.

İç enerjide oluşan değişim aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır:

$$\frac{dU}{dt} = m \times c_v \frac{dT}{dt} \quad (4.9)$$

W piston yer değiştirmesi sonucu karşılığında yapılan iş:

$$W = P \frac{dV}{dt} \quad (4.10)$$

Silindir içinde bulunan dolgu ideal bir gaz kabul edildiği takdirde:

$$\frac{dQ_n}{dt} = P \frac{dV}{dt} + m c_v \frac{dT}{dt} \quad (4.11)$$

İdeal gaz denklemi göz önüne alınıp, R katsayısı sabit olarak kabul edilirse ve türevi alınırsa:

$$PV=mRT \quad (4.12)$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} \quad (4.13)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{mR} \left[ P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} \right] \quad (4.14)$$

sonuç olarak yukardaki denklem elde edilir. Denklem (4.11) ile Denklem (4.14) birleştirilirse:

$$Q_n = \left[ \frac{C_v}{R} + 1 \right] P \frac{dV}{dt} + \frac{C_v}{R} V \frac{dP}{dt} \quad (4.15)$$

elde edilir. Denklem (4.15)'de zamanın (t) yerine krankın açısı ( $\theta$ ) konulduğu taktirde ve son olarak özgül ısı oranı (k) denkleme eklenir, sonuçta ısı dağılım denklemi aşağıda verildiği şekilde elde edilir:

$$Q_n = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (4.16)$$

Isı transferinin alt modeli hesaplanıp, toplamdaki ısı dağılım  $Q_d$ , net olan ısı salınım ( $Q_n$ ) ile silindir duvarına olan ısının transferi ( $Q_d$ ) toplamına eşit olur. Sonuç olarak aşağıda görülen denklem elde edilmiş olur.

$$Q_t = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + Q_d \quad (4.17)$$

Isı salınım denklemi, Denklem (4.17)'de gösterildiği gibidir ve bu denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda çıkan veriler grafik haline getirilip, sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında ilk aşamada laboratuvar ortamında yüksek oranda serbest yağ asidi içeren deri endüstri yağı kullanılarak biyodizel üretilmiş ve üretilen yakıtın özellikleri belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada ise, laboratuvar şartlarında ürettiğimiz biyodizel, petrol kökenli bir yakıt olan motorin ile belirli oranlarda karıştırılarak tek silindirli dizel motorda test edilerek, performans, yanma karakteristiği ve egzoz emisyon değerleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

### 5.1 Biyodizel Yakıt Analizi Sonuçları

Hayvansal kökenli yağ olarak deri endüstrisi yağı kullanılıp üretilmiş olan biyodizelin yakıt özellikleri Çizelge 5.1'de sunulmaktadır. Yaptırılan testler neticesinde DEYB'nin ölçülen yoğunluk değeri, 15 °C'de 875,5 kg/cm<sup>3</sup> bulunmuştur. Kullanılacak yakıtın akış yeteneği kazandıran, akışkanlar için önemli bir değer olan viskozite EN14214, ASTM D6751 standartlarına uygun biçimde 4,636 mm<sup>2</sup>/s bulunmuştur. Parlama noktası 173,5 °C olup istenilen aralıkta çıkmıştır. Yakıt için önemli bir değer olan asit değeri de yine istenilen standartlarda çıkmış olup bu değer 0,42 mgKOH/g'dır. Bu değer yüksek çıkması halinde, pompa tıkanması ve korozyon gibi istenmeyen durumlara yol açabilmektedir. Analiz sonuçları gösteriyor ki, elde edilen biyodizel modern dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan sorunsuz bir şekilde kullanılabilir.

**Çizelge 5.1.** Deri endüstri yağı biyodizelin temel yakıt özellikleri

Özellikler	Birim	EN 14214: 2012+A1:2014	ASTM D6751-15	Test Metodu	DEYB
Yoğunluk (15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	860-900	-	EN ISO 12185	875,5
Net yanma ısısı	MJ/kg	35 min.	-	ASTM D 240	39,7
Kinematik viskozite (at 40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,0	1,9-6,0	EN ISO 3104	4,636
Parlama noktası	°C	101 min.	130 min.	EN ISO 3679	173,5
Setan sayısı	-	51 min.	47 min.		58,8
Karbon kalıntısı	% (m/m)	0,3 mak.	-	EN ISO 10370	<0,1
Akma noktası	°C	-	-	ISO 3016	9
Su içeriği	mg/kg	500 mak.	-	EN ISO 12937	455
Asit sayısı	mgKOH/g	0,50 mak.	0,50 mak.	EN 14104	0,42

## 5.2 Motor Test Sonuçları

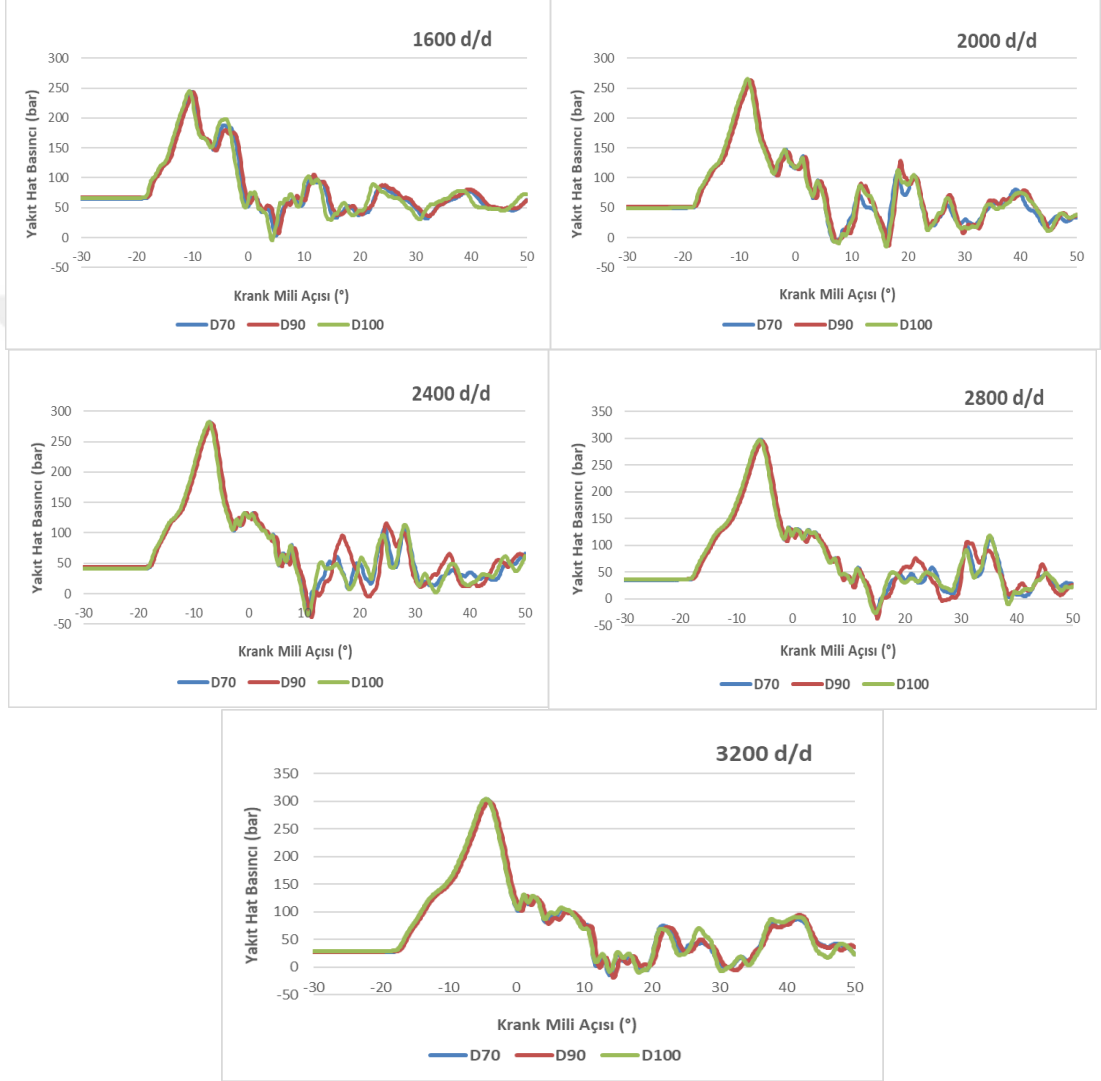
Tezin bu bölümünde, motorin ile biyodizel belirli oranlarda karışım yapılarak enjeksiyon, yanma karakteristikleri, egzoz emisyonları ve motor performans değerleri incelenmiştir. İncelenen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

### 5.2.1 Püskürtme ve Yanma Karakteristikleri

#### 5.2.1.1 Püskürtme Başlangıcı ile Tutuşma Gecikmesi

Yakıt hat basıncını ölçmek, enjeksiyon başlangıcını bulmada yardımcı olmaktadır. Yakıt hat basıncını ölçmek için farklı yakıt karışımları kullanılmış olup birbirinden farklı devirlerde çalıştırılmıştır. Sonucunda oluşan grafik Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Bu çalışma esnasında kullanılmış olan motor, yüksek basınçlı sıra tipi yakıt pompasıdır. Petrol kaynaklı yakıt sistemlerinin mekanik pompalı sisteminde, basınç pompasında yüksek oranda sıkışmış olan ve bu sebeple basıncı yükselen yakıt, enjektöre iletilmektedir. Enjeksiyonun açılma basıncının yakıt hattı basıncından daha düşük olması halinde yakıtın enjeksiyonu başlamış olacaktır. Bununla beraber kullanılacak yakıtın sıkışma oranı nitekim daha az ise yakıtın enjeksiyon basıncı çok hızlı artmış olacak ve sonuçta püskürtme işlemi tahmin

edilenden önce başlayacaktır (Tat, 2000). Sonuca bağlayacak olursak, kullanılacak yakıtın yakıt özellikleri direkt olarak yakıt hattının basıncını etkileyecektir. Tezin önceki aşamalarında da belirtildiği gibi deney sisteminde enjektör açılma zamanını ölçmek için enjektör iğnesi açılma sensörü bulunmadığı için püskürtmenin başladığı an olarak enjektör açma basıncı referans olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 5.1.** Yakıt hattı basıncı değişimleri

Tam yük altında, farklı devir ve farklı yakıt karışımı oranlarında yapılan deneylerin püskürtme başlangıcının ve yanma karakteristiklerinin tablosu Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Biyodizel karışımlarının viskozite ve yoğunluk bakımından motorine oranla daha yüksek olması sebebiyle tabloda da görüldüğü gibi şartların tümünde püskürtme basınçları daha erken zamanda gerçekleşmiştir. Devir yükseldikçe tüm yakıtların ve karışımların tutuşma gecikmeleri ve enjeksiyon

basınçları azalmıştır. Buna sebep olarak biyodizel yakıtların da az oranda sıkışabilir olmasıdır. Bu konu hakkında yapılan araştırmalarda Monyem'in yapmış olduğu doktora çalışması, tam yükte yapılmış olan çalışmalar neticesinde motorinle biyodizelin kıyaslanması sonucu enjeksiyon zamanı 2 °KMA önce gerçekleşmiştir (Monyem, 1998).

Tabloda gösterilen tutuşma gecikmesi değerlerinin karşılaştırılması sonucunda artan motor devriyle beraber tutuşma gecikmesinde de artış olduğu görülmüştür. Nedenini açıklayacak olursak, yakıtlarda kimyasal ve fiziksel bir tutuşma gecikmesi zamansal anlamda aynı sürede olmasına rağmen, bu zamanda krank mili açısı olarak daha fazla yol kat etmiştir.

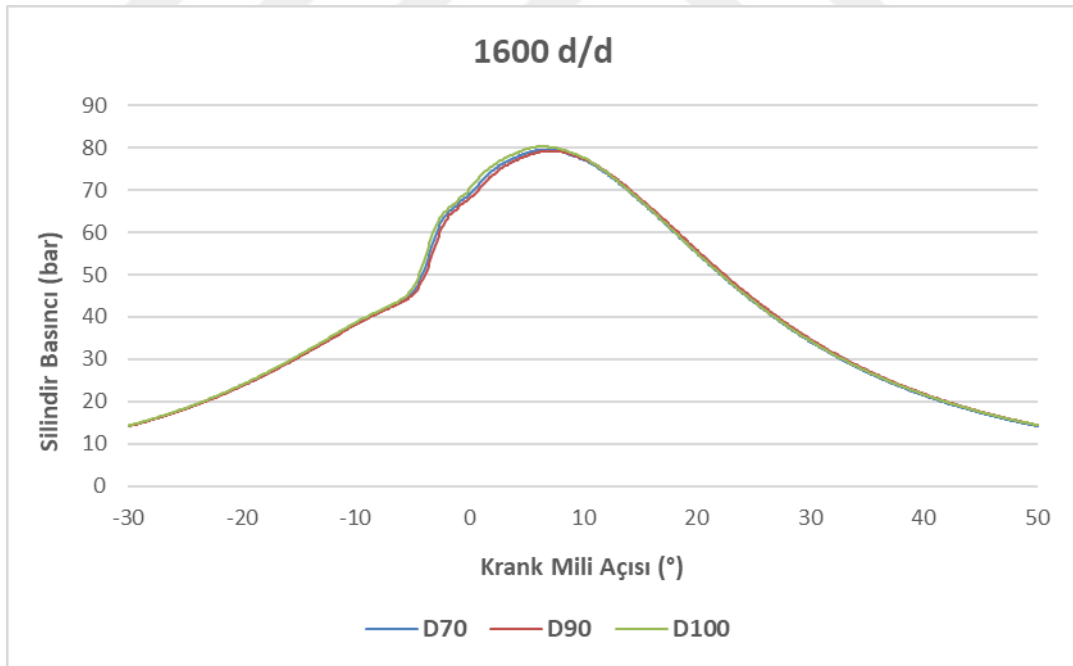
Motor devirlerinin artmasıyla beraber yanma sürelerinde artma olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise, yüksek devirde krank daha hızlı döndüğü için yanma işlemi tamamlanmaya kadar daha uzun krank açısına ihtiyaç olmasıdır. Motorinle biyodizel karışımlarının yanma sürelerini kıyaslayacak olursak, biyodizelin yanma süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Bu durum biyodizelin sahip olduğu oksijen içeriğiyle izah edilebilir.

**Çizelge 5.2. Püskürtme ve Yanma Karakteristikleri**

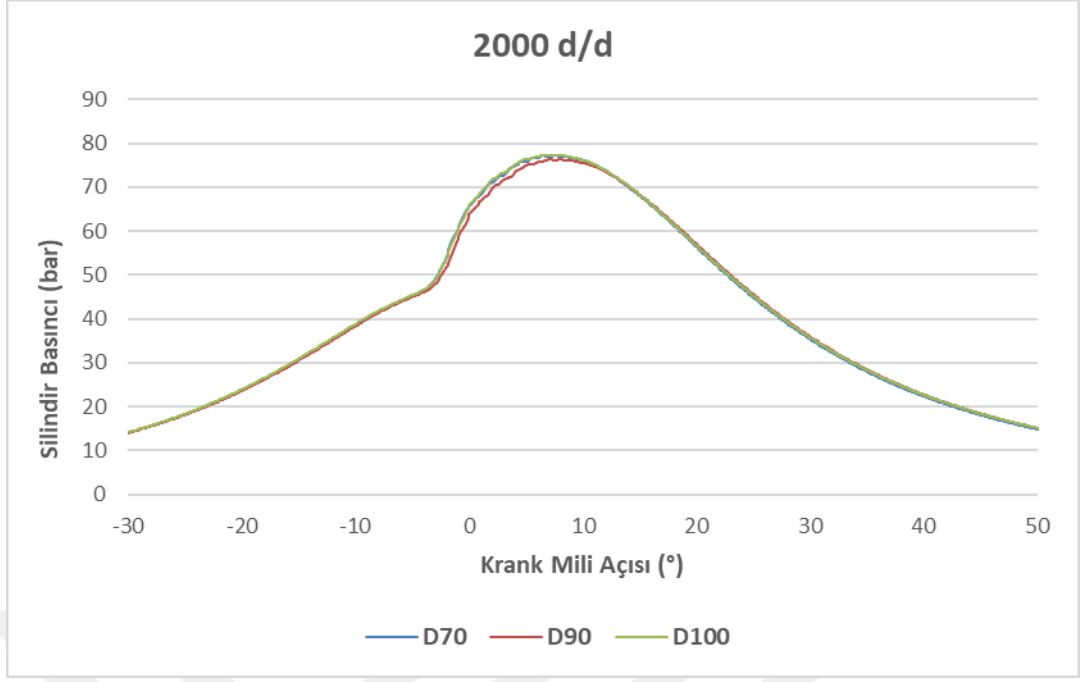
<b>Motor Devri (d/d)</b>	<b>Yakıt</b>	<b>Tutuşma Gecikmesi (°KMA)</b>	<b>Püskürtme Başlangıcı (°KMA)</b>	<b>Yanma Başlangıcı (°KMA)</b>	<b>Yanma Sonu (°KMA)</b>	<b>Yanma Süresi (°KMA)</b>
<b>1600</b>	<b>D70</b>	7,73	-11,7	-3,97	28,14	32,11
	<b>D90</b>	7,71	-11,4	-3,69	28,04	31,72
	<b>D100</b>	7,85	-12,1	-4,25	30,74	34,98
<b>2000</b>	<b>D70</b>	8,47	-10,6	-2,13	30,51	32,64
	<b>D90</b>	8,5	-10,2	-1,7	30,59	32,28
	<b>D100</b>	8,79	-10,8	-2,01	32,25	34,25
<b>2400</b>	<b>D70</b>	9,43	-9,9	-0,47	32,66	33,13
	<b>D90</b>	9,32	-9,5	-0,18	32,76	32,94
	<b>D100</b>	9,53	-10	-0,47	34,98	35,45
<b>2800</b>	<b>D70</b>	10,14	-8,9	1,24	35,8	34,56
	<b>D90</b>	10,04	-8,5	1,54	35,82	34,28
	<b>D100</b>	10,36	-9,1	1,26	38,4	37,14
<b>3200</b>	<b>D70</b>	10,98	-7,8	3,18	37,99	34,81
	<b>D90</b>	10,85	-7,3	3,55	39,33	35,79
	<b>D100</b>	10,97	-7,8	3,17	40,06	36,89

### 5.2.1.2 Silindir gaz basıncı

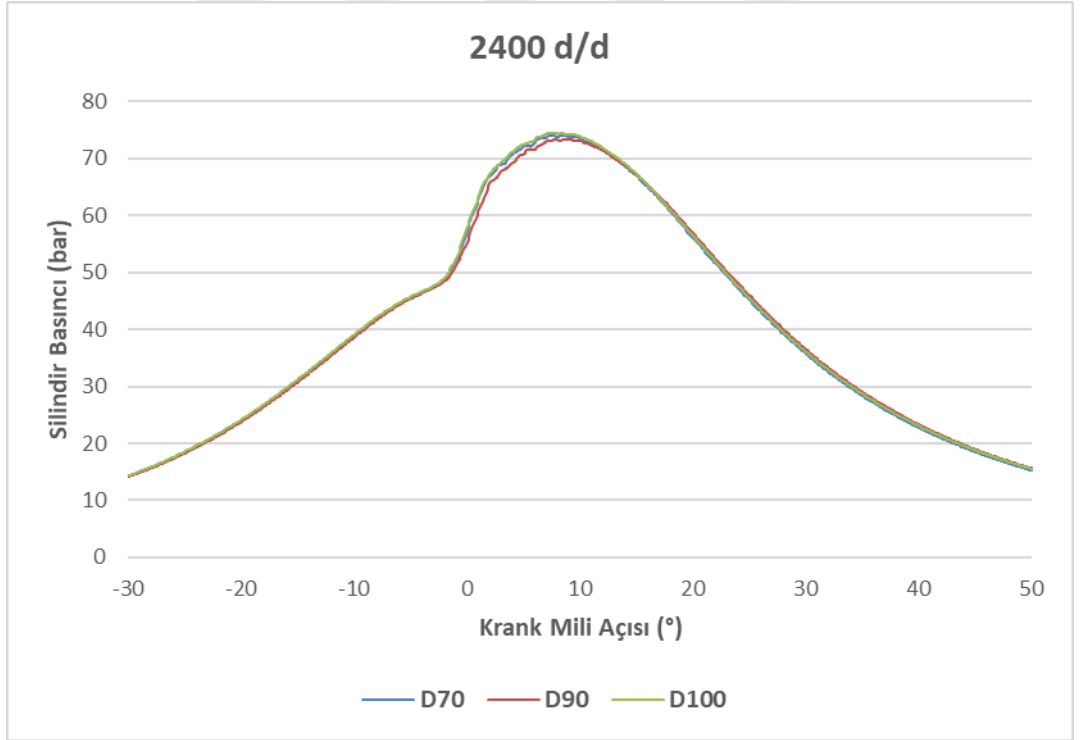
Deneyler kullanılmak üzere hazırlanmış bütün yakıt karışımları için testlerin yapıldığı devirlerdeki silindir basınç değişimleri Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.3'te görülen tabloda maksimum silindir basınç değeri ve yeri bütün yakıtlar için ayrı ayrı gösterilmiştir. Teste tabi tutulan biyodizel yakıt karışımları silindir basınç değişim değerleri incelendiğinde, maksimum basınç değerinin, motorinle kıyaslandığında bütün devir ve değerlerde bir miktar daha az olduğunu görülmektedir. Bu durum, biyodizel kökenli karışımların tutuşma gecikmelerinin daha az olması ile açıklanabilir. Maksimum basıncı artıran etkenlerden birisi, tutuşma gecikmesi esnasında silindir hacminde biriken yakıt ani olarak yanması ile açıklanabilir. Bu artışın tersine, devir sayısındaki artmanın etkisiyle maksimum silindir basıncının düştüğü görülmüştür. Neden olarak ise yüksek devir bir yanmada daha fazla genişlemeye doğru bir kayma göstermesi ile açıklanabilir. Aynı devir ile farklı biyodizel oranlı yakıtlarda yapılan incelemede ise biyodizel miktarı artmasıyla maksimum silindir basınç artmaktadır.



Şekil 5.2. 1600 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.

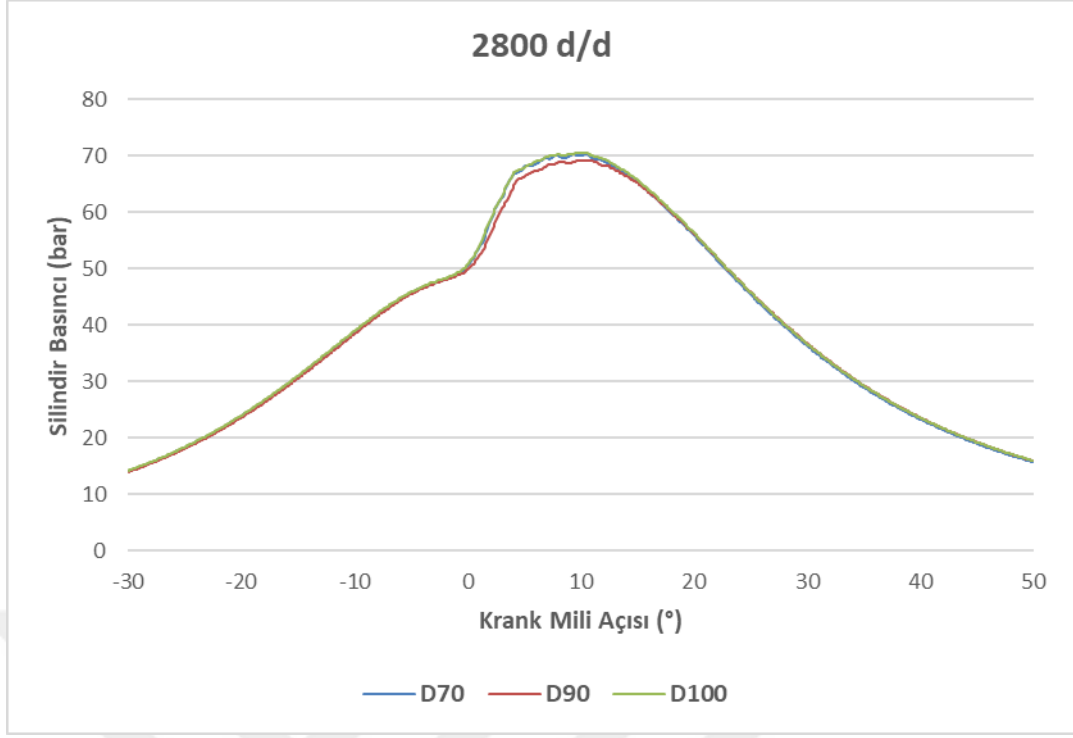


Şekil 5.3. 2000 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.

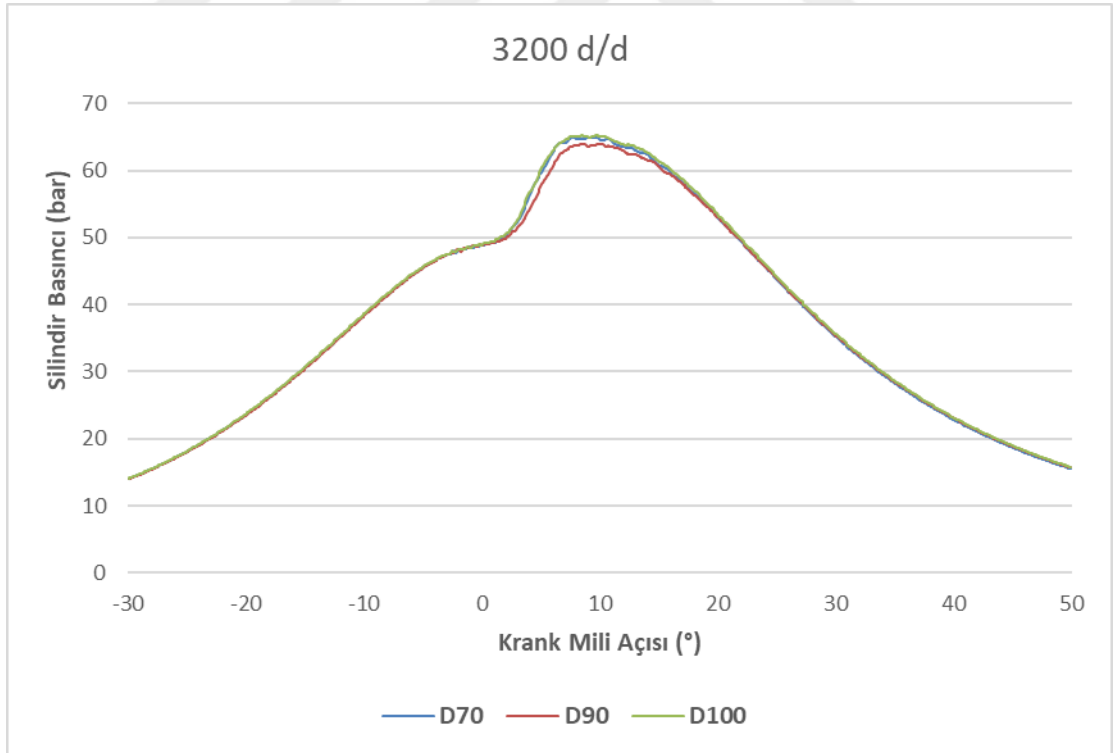


Şekil 5.4. 2400 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.





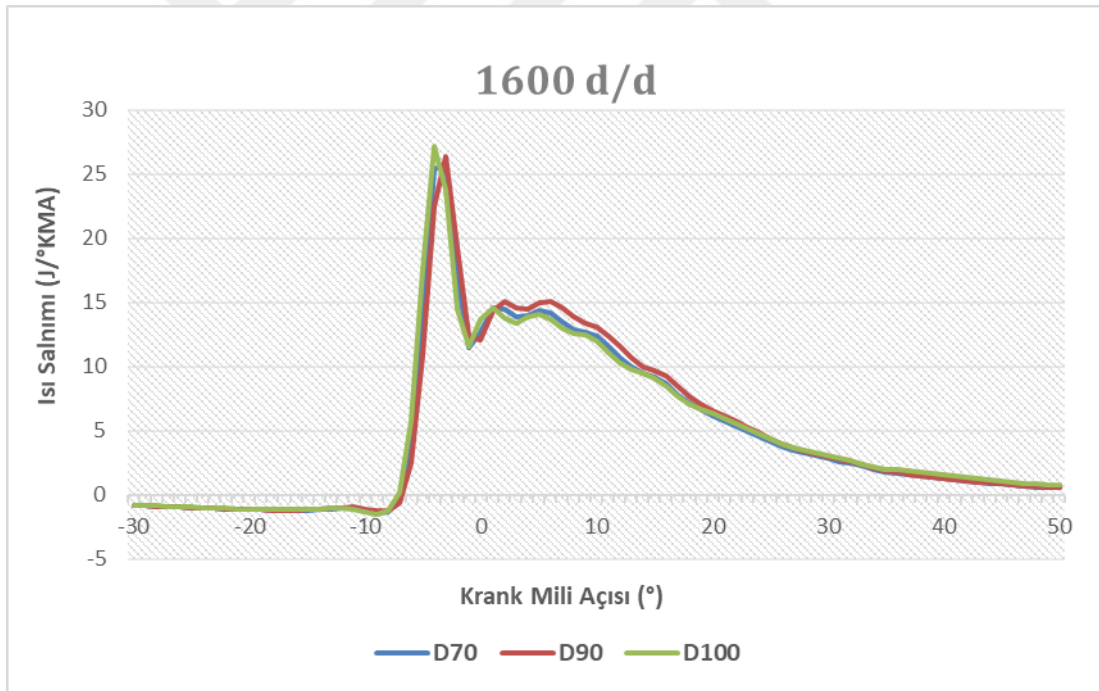
Şekil 5.5. 2800 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.



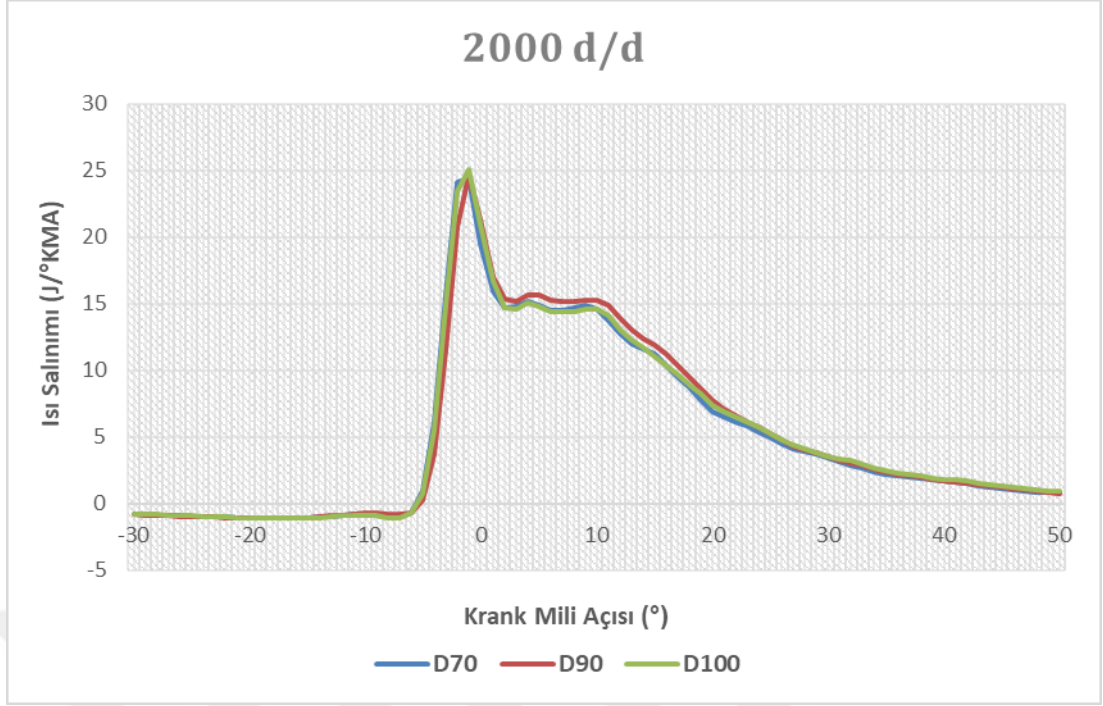
Şekil 5.6. 3200 d/d tam yükte silindir basıncı değişimi.

### 5.2.1.3 Isı Salınım Oranı

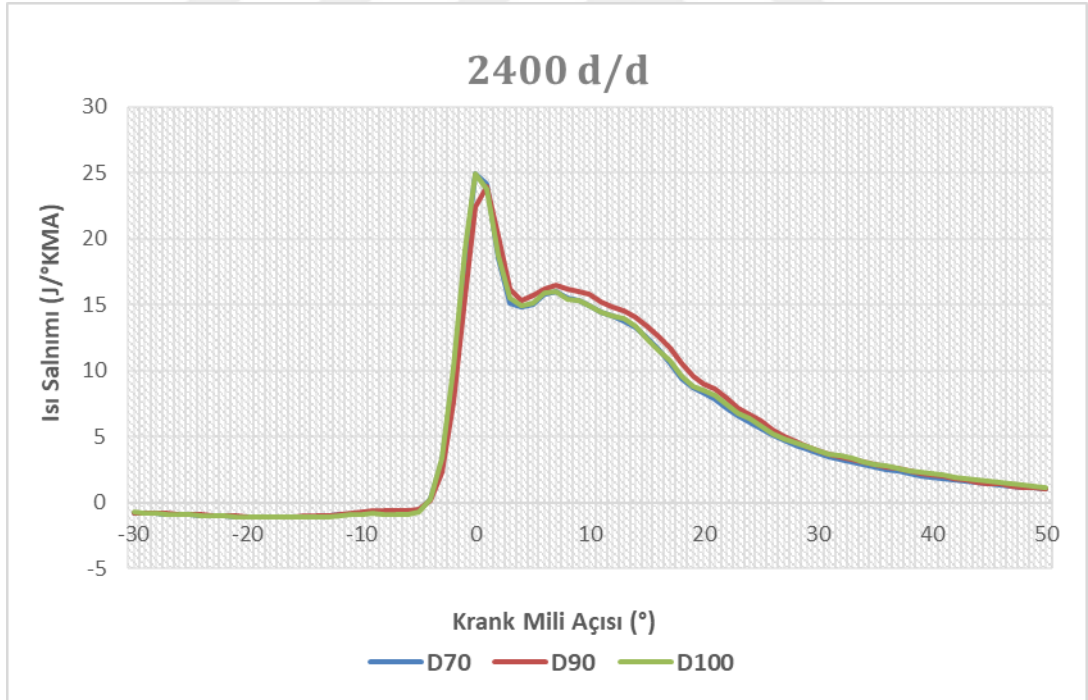
Motor deneyleri esnasında, tam yükte, birbirinden farklı devirlerde ısı salınım oranında gözlenen değişimler Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Buna ilaveten maksimum ısı salınım değerleri ve yeri Çizelge 5.3’te gösterilmiştir. Bu çizelgede ve gösterilmiş olan ısı salınım grafiklerinde de görüleceği gibi motor devir sayılarının artmasıyla ters orantılı olarak maksimum ısı salınımları belli bir oranda azalmıştır. Ayrıca, motorinle biyodizel karışımlarını kıyaslayacak olursak, biyodizel karışımlarının ısı salınım değerlerinin genel anlamda daha az olduğu görülmüştür. Buna sebep olarak biyodizelin tutuşma gecikmesinin düşük olması gösterilebilir. Tutuşma gecikmesi esnasında silindirde birikmiş olan yakıt, yanma işleminin aniden oluşması sonucunda yanma reaksiyonu daha çok ön karışımli yanma fazında oluşmakta ve bu nedenle maksimum ısı salınım değeri de yüksek olmaktadır.



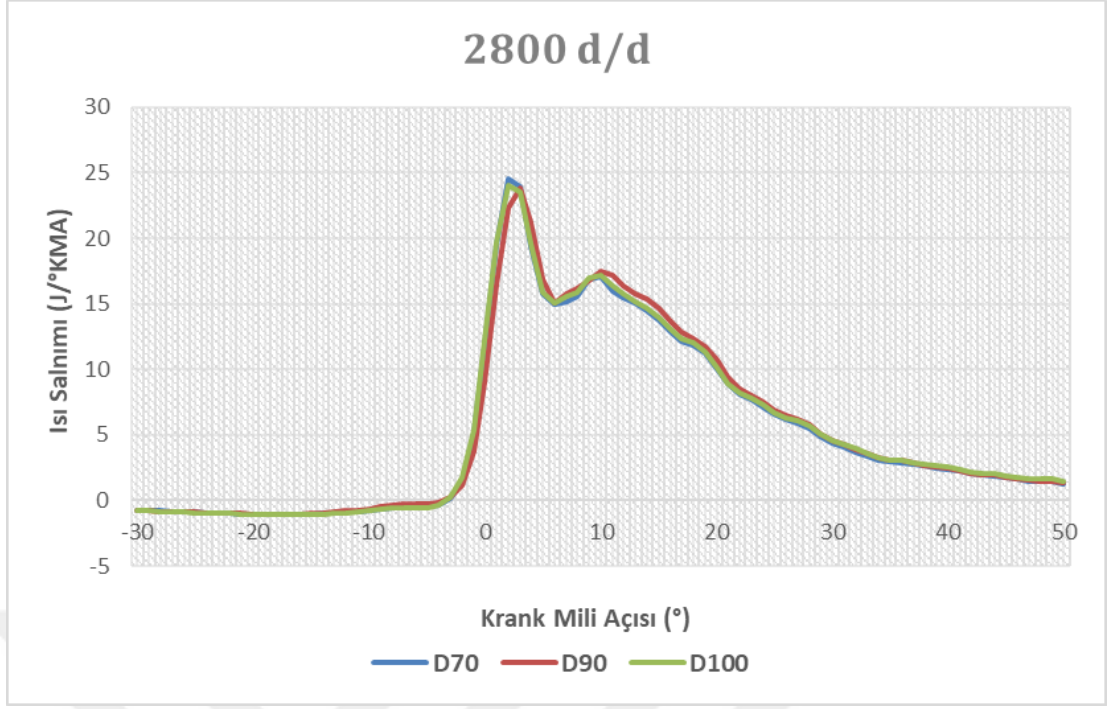
Şekil 5.7. 1600 d/d, tam yükte ısı salınım değişimi.



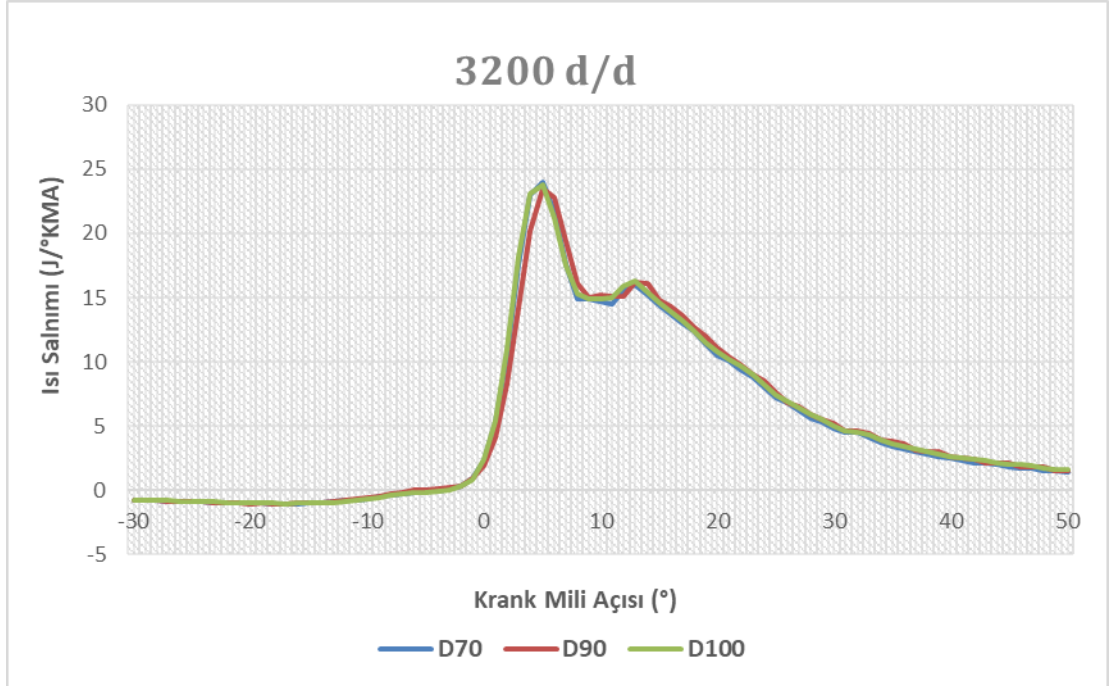
**Şekil 5.8.** 2000 d/d, tam yükte ısı salınım değişimi.



**Şekil 5.9.** 2400 d/d, tam yükte ısı salınım değişimi.



**Şekil 5.10.** 2800 d/d, tam yükte ısı salınım değişimi.



**Şekil 5.11.** 3200 d/d, tam yükte ısı salınım değişimi.

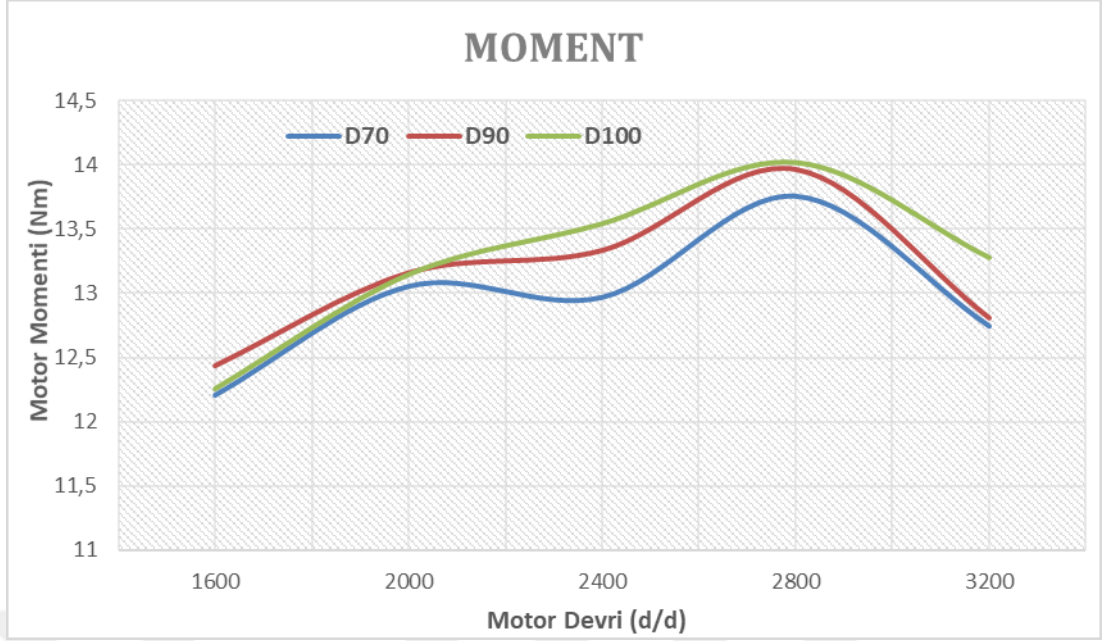
**Çizelge 5.3.** Isı salınımı ve maksimum silindir basıncı değerleri ve yerleri

Motor Devri (d/d)	Yakıt	Maksimum Silindir Basıncı Yeri (°KMA)	Maksimum Silindir Basıncı (bar)	Maksimum Isı Salınımı (J/°KMA)
1600	D70	6,60	79,55	26,72
	D90	7,11	79,25	26,52
	D100	6,40	80,28	27,14
2000	D70	7,49	77,15	24,78
	D90	7,75	76,31	24,67
	D100	7,24	77,36	25,08
2400	D70	8,16	74,02	25,07
	D90	8,59	73,37	23,99
	D100	7,91	74,49	25,01
2800	D70	9,63	70,25	24,73
	D90	10,28	69,26	23,90
	D100	9,98	70,59	24,28
3200	D70	8,80	65,09	24,12
	D90	9,38	64,11	23,70
	D100	9,04	65,35	24,07

## 5.2.2 Motor performansı

### 5.2.2.1 Moment

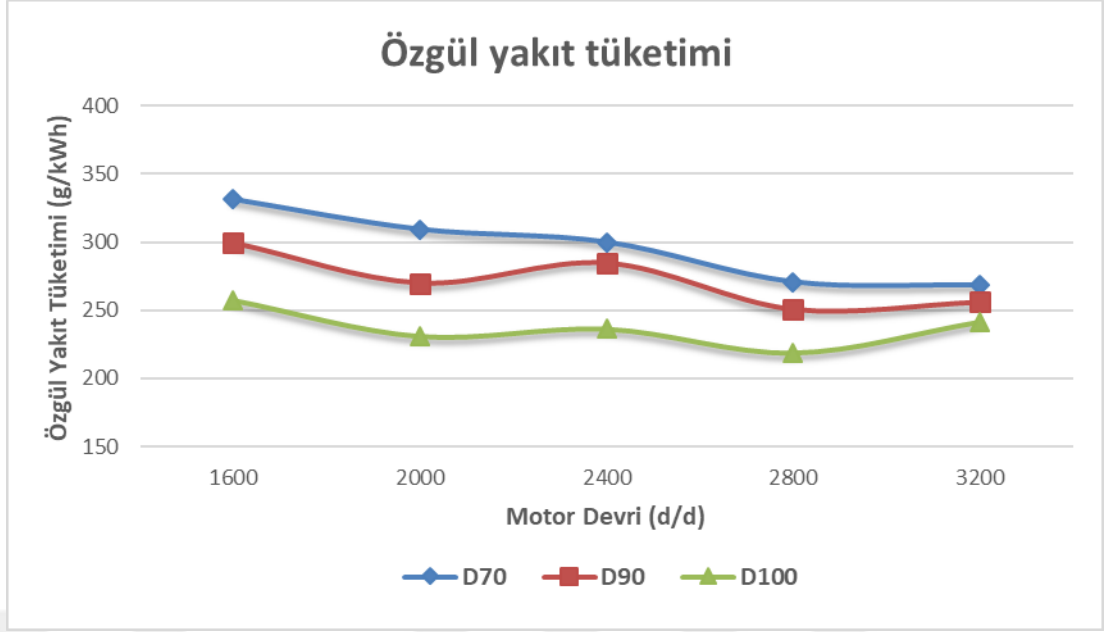
Referans olarak alınan petrol kökenli dizel yakıt ile deri endüstri yağından elde ettiğimiz biyodizel yakıt karışımlarının motor devirleri belirtilerek elde ettiğimiz motor moment grafiği Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Dizel yakıtın tüm devirlerde biyodizel yakıt karışımlarına oranla daha yüksek bir moment değerinde olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda çıkan grafikler incelendiğinde, maksimum momentin dizel yakıtta, 2800 d/d 14,01 Nm olarak gösterilmiştir. Biyodizel ile yapılmış karışımların değerleri incelendiğinde en büyük moment D90 oranında 2800 d/d devirde 13,96 Nm olarak ölçülmüştür. Biyodizel miktarını artırdıkça momentin düştüğü görülmüştür.



Şekil 5.12. Motor moment değişimi.

### 5.2.2.2 Özgül Yakıt Tüketimi

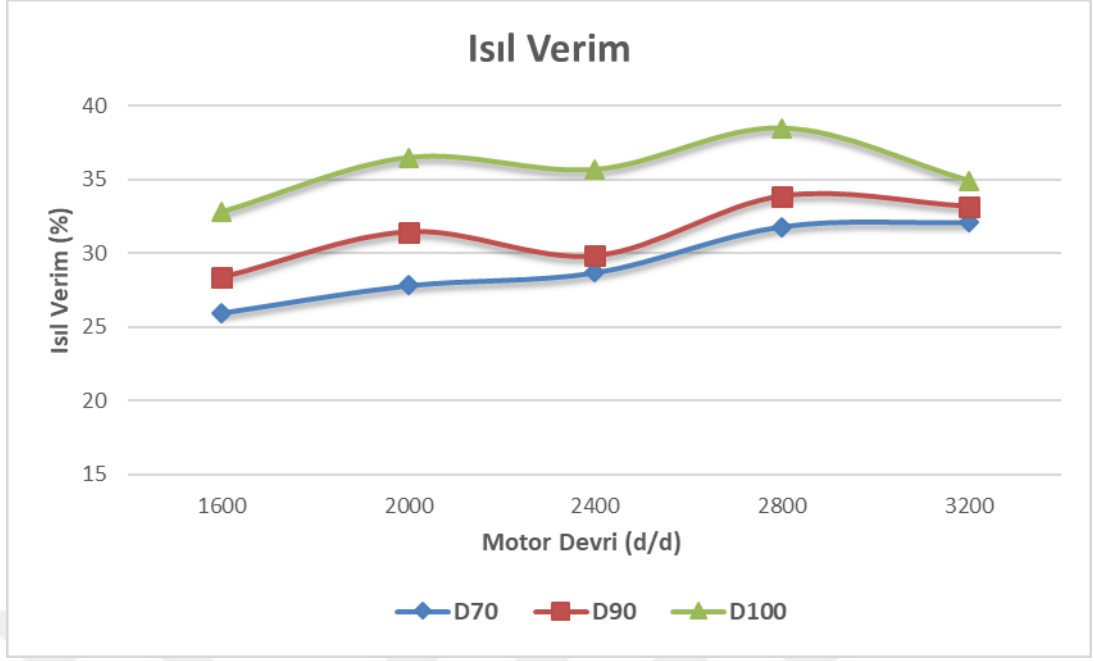
Yapılan motor deneyleri sırasında yakıtların performans etkilerini kıyaslarken bakılması gereken en değerli parametrelerden birisi özgül yakıt tüketimidir. Teste tabi tutulmak için oluşturulmuş D100, D90 ve D70 yakıtlarının 1600, 200, 2400, 2800, 3200 d/d'daki özgül yakıt tüketimlerdeki farklar Şekil 5.13'da gösterilmiştir. Grafiği incelediğimizde karşımıza çıkan sonuçlardan birisi özgül yakıt tüketiminin en az olduğu yer D100, 2800 d/d'dır. Buna sebep olarak motorların en verimli çalıştığı tork devri olması gösterilmektedir. Petrol kökenli yakıtın her şartta biyodizel yakıt karışımlarından daha az bir özgül yakıt tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi de artacaktır.



**Şekil 5.13.** Özgül yakıt tüketiminin tam yükte farklı devirlere göre değişimi.

### 5.2.2.3 Isıl Verim

Birbirinden farklı yakıtların motor performanslarını test ederken ısı verim belirleyici bir parametre olmuştur. Isıl verim, motordan alınmış olan faydalı güç, motora sürülmüş olan enerjinin miktarına oranıdır. Deneysel işlemlere tabi tutulan bütün yakıtların ısı verimleri Şekil 5.14’da verilmiştir. Tam yükte yapılan deneyler sonucunda ısı veriminin, 2800d/d gelinceye kadar artış eğiliminde bulunduğu ardından tekrar düşüşe geçtiği görülmektedir. Isıl veriminin 2800 d/d’da en üst seviyede olması özgül yakıt tüketiminde ki minimum seviyede olmasıyla da açıklandığı gibi maksimum tork devrinde çalışmasıdır.



**Şekil 5.14.** Isıl verimlerin değişimi.

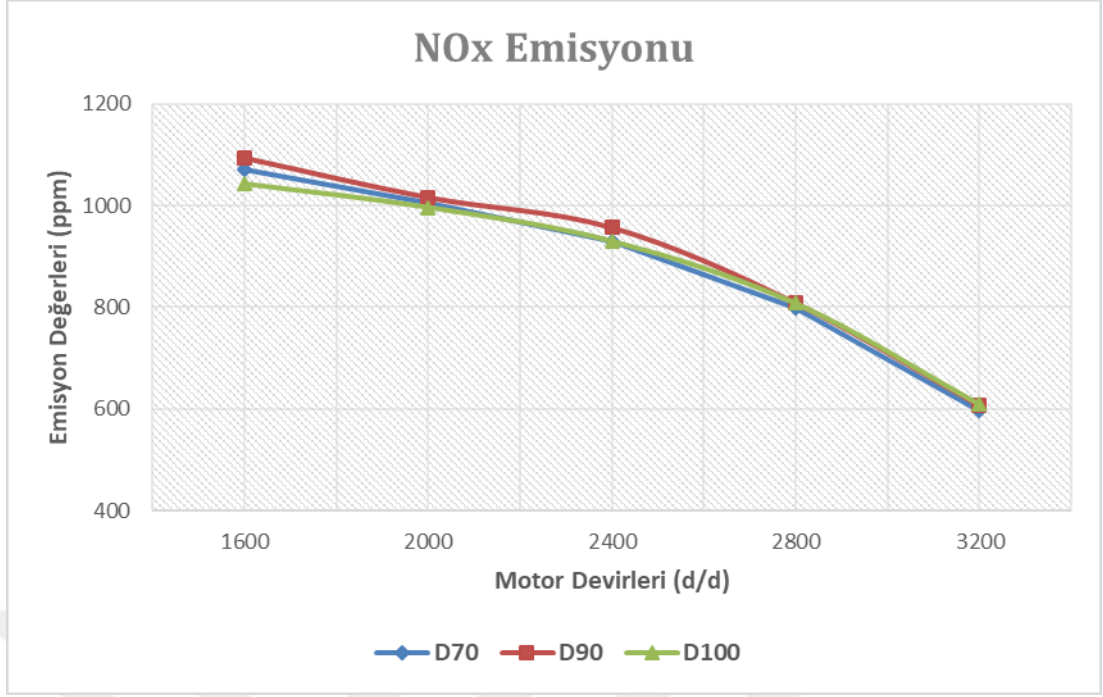
### 5.2.3 Egzoz Emisyonları

Biyodizel yakıt karışımlarının motor deneyleri esnasında çıkardığı egzoz gazlarının emisyon sonuçları bu kısımda gösterilmiştir. Tartışılan deney sonuçları is emisyonları ve azot oksitlere aittir.

#### 5.2.3.1 NO<sub>x</sub> Emisyonları

Motor devirlerine göre farklı deneylere tabi tutulan yakıt karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyon değerleri Şekil 5.15’da gösterilmiştir. Grafiklerde gösterilen sonuçlar incelendiğinde petrol kökenli yakıtlara katılan biyodizelin emisyon değerlerinde pek fazla bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. Düşük devirlerde NO<sub>x</sub> emisyonları yüksek devirlere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Devir yükseldikçe emisyon değerlerinin düştüğü görülmüştür. Grafikten çıkacak bir başka sonuç ise yakıt karışımlarında biyodizel oranı arttıkça emisyon oranı çok azda olsa artmaktadır.

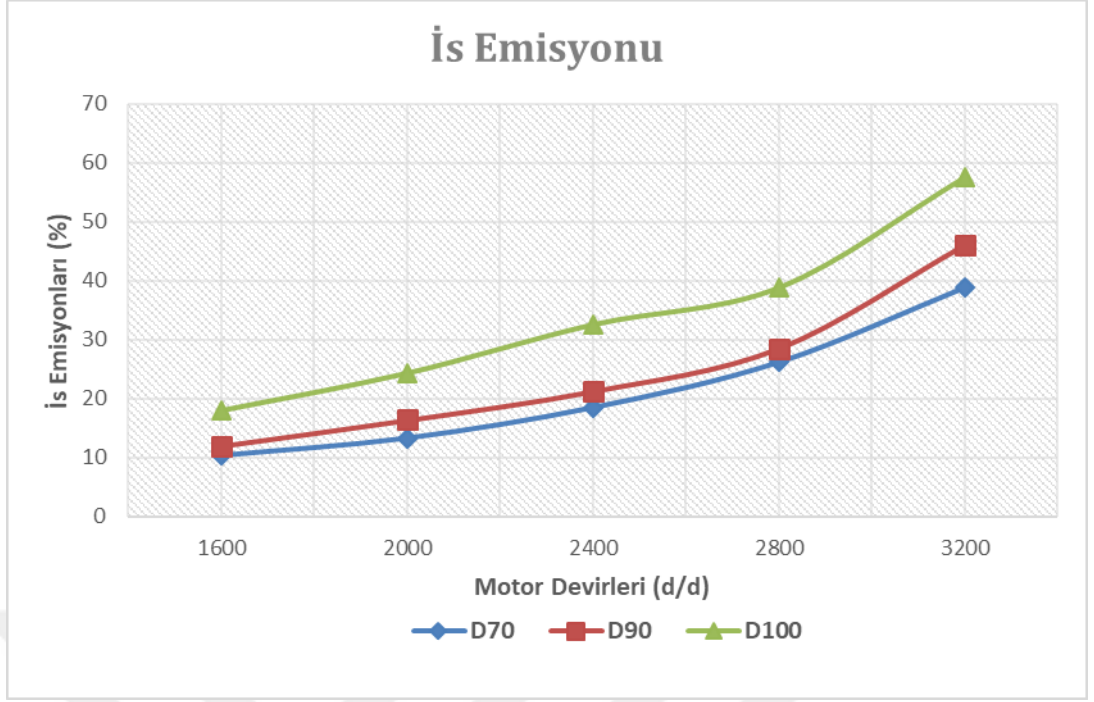




Şekil 5.15. NO<sub>x</sub> emisyon değişimi.

### 5.2.3.2 İş Emisyonları

Motorin ile biyodizel kullanılarak yapılan yakıt karışımlarının motor devrine göre farklı teste tabi tutularak yapılan ölçümlerdeki iş emisyon değerleri Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Yapılan bu testlerin sonucunda ortaya çıkan grafik incelendiğinde iş emisyonları en yüksek değere biyodizel katkısı olmayan motorinle ulaşmıştır. Yakıtların biyodizel oranı arttıkça emisyon değerlerinde düşüş görülmektedir. İş emisyonlarındaki düşmeye sebep olarak, biyodizel karışımlarındaki oksijen oranının yüksek olması gösterilmektedir. Buna ek olarak motor devir sayısındaki artış, yanma süresindeki azalmaya bağlı olarak iş emisyon oranındaki artışta grafikte açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.16. İis emisyon değişimi

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmanın sonucunda deri endüstri yağından biyodizel yakıt üretilmiştir. Üretilmiş olan biyodizel yakıt, petrol kökenli dizel yakıt ile hacimsel olarak belirli oranlarda (%10 ve %30) karıştırılarak biyodizel karışımları elde edilmiş ve ticari motorin ile karşılaştırılmıştır. Bu testler tek silindirli, hava soğutmalı ve dört zamanlı olan dizel bir motorda gerçekleştirilmiştir. Motor tam yükte ve farklı motor devirlerinde (1600, 2000, 2400, 2800, 3200 d/d) çalıştırılmıştır. Çalıştırılan bu motorun, yanma karakteristiği, egzoz emisyon değerleri ve motor performans değerleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- ❖ Bu çalışmanın, deri endüstrisinde açığa çıkan ve imha edilmesi için ekstra bir maliyet gerektiren hatta buna ek olarak imha edilme sürecinde çevreye zarar veren bu atık yağın geri dönüşümde kullanılmasının hem çevre dostu hem de maliyetleri düşürme potansiyeli olduğu görülmüştür.
- ❖ Biyodizel yakıtın ölçülen ısıl değerler petrol kökenli yakıtla göre daha düşük çıkmasından dolayı ısıl verim ile moment değerlerinde bir miktar düşme gözlenmiştir. Bunun tersine özgül yakıt tüketiminde ise artış söz konusudur. Fakat bu durum motorun çalışma sistemlerini çok olumsuz etkileyecek bir seviyede olmadığı görülmektedir.
- ❖ Biyodizel yakıt karışımlarının referans dizel yakıtla kıyasla daha az is emisyonu olduğu görülmüştür.
- ❖ Deri endüstri yağından üretilecek biyodizelin petrol kökenli dizel yakıt ile benzer özellik göstermesi ve motor çalışma karakteristiklerinde önemli bir değişiklik olmadan egzoz emisyon değerlerinde iyileştirmeye neden olmasından dolayı dizel motorlar için alternatif bir yakıt olabileceği düşünülmektedir.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasının sonucunda aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- ❖ Motor testlerini uzun süreli ve farklı devirlerde yaparak üretilen biyodizellerin motor parçalarına olan etkisi daha detaylı incelenmelidir.

- ❖ Daha önceden testleri yapılmış, bitkisel yağlar, atık yağlar ve hayvansal yağların egzoz emisyonları ile motor performans değerleri karşılaştırılmalı, dizel motorlarda kullanılması için en uygun yağ tespit edilmelidir.



## 7. KAYNAKLAR

- Alptekin E, Canakci M, (2009) Characterization of the key fuel properties of methyl ester-diesel fuel blends, *Fuel*, 88, 75-80.
- Artukoğlu BD, Keskin A, Koca A, (2009) Biodiesel production from waste animal fat and improvement of its characteristics by synthesized nickel and magnesium additive, *Energ. Convers. Manage.* 50, 498-502.
- Altınoy AS, (2007) “Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye’deki kaynakların incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bahadır NP, Boocock D G B, Konar S K, (1995) “Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge lipid and canola oil: evaluation of fuel properties”, *Energ. Fuel*, 9, 248-256.
- Berchmans HJ, Hirata S, (2008) “Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids”, *Bioresource Technol.*, 1716-1721
- Bhatti HN, Hanif M A, Qasim M, Rehman A, (2008) “Biodiesel production from waste tallow”, *Fuel*, 87, 2961-2966.
- Canakci M, (2001) “Production of biodiesel from feedstocks with high free fatty acids and its effect on diesel engine performance and emissions”, Doctoral Thesis, Iowa State University, Iowa.
- Canakci M, Van Gerpen J H, (2001) “Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids”, *T. ASABE.*, 44, 1429-1436.
- Caringal WV, (1989) “Process development and economic analysis of rapeseed methyl ester”, Master of Science Thesis, Idaho University, Graduate School of the University of Idaho, Idaho.
- Caro PS, Mouloungui Z, Vaitilingom G, Berge J C, (2001) “Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines”, *Fuel*, 80, 565-574.
- Chung KH, Kim J, Lee K Y, (2009) “Biodiesel production by transesterification of duck tallow with methanol on alkali catalysts”, *Biomass Bioenerg.*, 33, 155-158
- Çetinkaya M, Karaosmanoğlu F, (2004) “Optimization of base-catalyzed transesterification reaction of used cooking oil”, *Energ Fuel.*, 18, 1888- 1895.
- Çildir O, (2003) “Bitkisel Metil Esterlerinden Dizel Motorlar İçin Yakıt Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli

- Çolak S, Zengin G, Özgünay H, Sarı O, Sarıkahya H, Yüceer L, (2005) “Utilisation of leather industry pre-fleshings in biodiesel production”, J Am Leather Chem. As, 100, 137-14
- Dias JM, Alvim-Ferraz M C M, Almeida M F, (2009) “Production of biodiesel from acid waste lard”, Bioresource Technol, 100, 6355-6361.
- Felizardo P, Correia M J N, Raposo I, Mendes J F, Berkemeier R, Bordado J M, (2006) “Production of biodiesel from waste frying oils”, Waste Manage, 26, 487-494.
- Ferguson CR, Kirkpatrick A T, (2006) “Internal combustion engines: applied thermo sciences”, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Freedman B, Pryde E H, Mounts T L, (1984) “Variables affecting the yields offatty ester from transesterified vegetable oils”, J. Am. Oil Chem. Soc., 61, 1638-1643
- Goering CE, Schwab A W, Dangherty M J, Pryde E H, Heakin A J, (1982) “Fuel properties of eleven vegetable oils”, T ASABE , 25, 1472-1477.
- Graboski M S, Mc Cormik R L, (1998) “Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines”, Prog. Energ. Combust, 24, 125-164.
- Haşimoğlu, C (2005) “Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-9, 16-23
- Heywood J B, (1998) “Internal combustion engines Fundamentals”, 1st ed., McGraw Hill Book Company, New York.
- He BB, Van Gerpen J H, Thompson J C, (2009) ”Sulfur content in selected oils and fats and their corresponding methyl esters”, Appl. Eng. Agric., 25, 223-226.
- <http://www.csb.gov.tr/db/cygm/edotordosya/bitkiselatikyonetmeligi.pdf>
- <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=246601>.
- Kaplan C, (2001) “Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kinast A J, (2001) “Production of biodiesels from multiple feedstocks and properties of biodiesels and biodiesel-diesel blends”, National Renewable Energy Laboratory, 1-47, NREL/SR-510-31460.
- Kolomaznik K, Barinova M, Furst T, (2009) “Possibility of using tannery waste for biodiesel production”, J. Am. Leather Chem. As., 104, 177-82.

- Kondamudi N, Strull J, Misra M, Mohapatra S K, (2009) "A green process for producing biodiesel from feather meal", *J Agr Food Chem*, 57, 6163-6166.
- Marchetti JM, Errazu A F, (2008) "Esterification of free fatty acids using sulfuric acid as catalyst in the presence of triglycerides", *Biomass Bioenerg*, 32,892-895.
- Monyem A., (1998) "The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions", Doctoral Dissertation, Iowa State University, Graduate College of Iowa State University, Iowa.
- Özgünay H, Çolak S, Zengin G, Sari Ö, Sarikahya H, Yüceer L, (2007) "Performance and emission study of biodiesel from leather industry preflishings", *Waste Manage.*, 27, 1897-1901.
- Özsezen AN, (2007) "Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi", Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 197933.
- Peterson CL, (1986) "Vegetable oils as a diesel fuel: status and research priorities", *T. ASABE.*, 29, 1413-1422.
- Rashid U, Anwar F, Knothe G, (2009) "Evaluation of biodiesel obtained from cottonseed oil", *Fuel Process. Technol.*, 90, 1157-1163.
- Reyes, JF, Sepulveda, M A, (2006) "PM-10 emissions and power of a diesel engine fueled with crude and refined biodiesel from salmon oil", *Fuel*, 1-6.
- Ryan TW, Dodge L G, Callahan T J, (1984) "The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines", *J. Am.Oil Chem. Soc.*, 61, 1610-1619.
- Sahoo P.K. Das L. M., Babu M. K. G., Naik S. N., Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine, *Fuel*, 2007, 86, 448-454.
- Schwab A W, Bagby M O, Freedman B, (1987) "Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils", *Fuel*, 66, 1372-1378.
- Stauffer CE, (1996) "Fats and oils, 1st ed., Eagan Press Handbook Series, Minnesota.
- Tat ME, Van Gerpen J H , Soylu S, Canakci M, Monyem A, Wormley S, (2000) "The speed of sound and isentropic bulk modulus of biodiesel at 21°C from atmospheric pressure to 35 MPa", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 285-289.
- Tate RE, Watts K C, Allen C A W, Wilkie K I, (2006) "The viscosities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300°C", *Fuel*, 85, 1010-1015.

Türkiye İstatistik Kurumu, Motorlu Kara Taşıt İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr>  
(Ziyaret Tarihi: 06.05.2019)

Tyson SK, Biodiesel handling and use guidelines, (2001) “National Renewable Energy Laboratory Report”, NREL/TP-580-30004, 1-17.

Van Gerpen JH, Shanks B, Pruszko R, Clements D, Knothe G, (2004) “Biodiesel production technology”, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36244, 1-105.

Yenioğlu, K, V, (2009) “Biyodizel sentezi ve biyodizel katkı maddelerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya/Hatay, 1-74.





## 8. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Oğulcan Mustafa İNAL

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ankara, 10.06.1992

**Lisans Üniversite** : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

**Elektronik posta** : muscaninal@gmail.com

**İletişim Adresi** :Yakacık mahallesi, Çağla Sokak, 13/6  
Keçören / ANKARA