

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



HİBRİT BİOYAKITIN DİZEL MOTOR
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR ÖZMEN

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Alaattin Osman EMİROĞLU

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Mehmet ŞEN

BOLU, AĞUSTOS - 2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

Serdar ÖZMEN tarafından hazırlanan “**HİBRİT BİOYAKITIN DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans/Doktora Tezi olarak oy birliği/ oy çokluğuyla kabul edilmiştir. 13/08/2021

Jüri Üyeleri

İmza

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

.....

Üye
Prof. Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Ahmet KESKİN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Osman GÖRÜR
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim 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.

Teze ilişkin 11/07/2021 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %10 olarak tespit edilmiştir.

.....
SERDAR ÖZMEN

ÖZET

**HİBRİT BİOYAKITIN DİZEL MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SERDAR ÖZMEN
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALAATTİN OSMAN EMİROĞLU)
(İKİNCİ DANIŞMAN: DOÇ. DR. MEHMET ŞEN)
BOLU, AĞUSTOS - 2021
(XII + 57)**

Günümüzde fosil kökenli yakıt kaynaklarının giderek azalması ve çevre bilincinin artmasıyla birlikte alternatif yakıt arayışları ve bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar hız kazanmaktadır. Farklı birçok bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilmekte olan biodizelin dizel motorları için alternatif yakıt olarak kullanım potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir. Hayvansal atık yağların çevreye olan zararları ve imha edilme maliyetleri göz önüne alındığında, bu yağların biodizele dönüştürülmesi cazip görülmektedir. Fakat yapılan çalışmalar, hayvansal yağlardan elde edilen biodizelin soğuk akış özelliklerinin bitkisel yağlardan elde edilen biodizele kıyasla daha zayıf olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada deri işleme tesislerinden çıkan deri endüstri atık yağı ve kanola yağı karışımından transesterifikasyon yöntemi ile hibrit biodizel üretilmiş ve bu şekilde elde edilen biodizelin soğuk akış özelliklerinin yalnız deri endüstri atık yağından elde edilen biodizele kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan yakıt analizleri sonucunda, üretilen hibrit yakıtın, biodizel yakıt standartlarını karşıladığı görülmüştür. Daha sonra dizel motor karakteristiklerine etkisini tespit etmek için, hibrit biodizel, hacimsel olarak %10 ve %30 ölçülerinde petrol kökenli dizel yakıtı (HB0) ile karıştırılarak sırasıyla HB10 ve HB30 dizel-hibrit biodizel yakıt karışımları hazırlanmış ve tek silindirli bir dizel motorunda farklı yük ve devirlerde motor testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, hibrit biodizel ilavesi arttıkça biodizelin düşük ısı değerinden dolayı özgül yakıt tüketiminin arttığını, termal verimin ise bir miktar azaldığını göstermektedir. Hibrit biodizel karışımlarının püskürtme ve yanma başlangıcının dizel yakıtla kıyasla daha erken olduğu, tutuşma gecikmesi değerlerinin ise tüm test yakıtları için birbirine yakın olduğu görülmektedir. Dizel yakıtla hibrit biodizel ilavesi arttıkça NO_x emisyonlarının bir miktar arttığı görülmektedir. HB10 yakıtının is emisyonları bir miktar düşerken, HB30 yakıtının ise is emisyonu artmıştır. HB10 yakıtının özellikle motorun maksimum momentinin elde edildiği devir olan 2400 rpm'de ve yüksek yüklerde çalışma koşullarında hem düşük emisyon hem de yüksek performans çıkışı sağladığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Biodizel, Hibrit Yakıt, Deri Atık Yağı, Kanola, Dizel Motor

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYBRID BIOFUEL ON DIESEL ENGINE CHARACTERISTICS

MSC THESIS

SERDAR OZMEN

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALAATTIN OSMAN EMIROGLU)

(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. MEHMET SEN)

BOLU, AUGUST 2021

(XII + 57)

Today, with the gradual decrease of fossil fuel sources and the increase in environmental awareness, the search for alternative fuels and scientific studies in this field have accelerated. It is thought that biodiesel, which can be produced from many different vegetable and animal oils, has the potential to be used as an alternative fuel for diesel engines. Considering the environmental damage and disposal costs of animal waste oils, it seems attractive to convert these oils into biodiesel. However, studies show that the cold flow properties of biodiesel obtained from animal fats are weaker than biodiesel obtained from vegetable oils. In this context, in this study, hybrid biodiesel was produced by transesterification method from a mixture of leather industry waste oil from leather processing plants and canola oil and it was observed that the cold flow properties of the biodiesel obtained in this way were better than the biodiesel obtained from only leather industry waste oil. Then in order to determine its effect on diesel engine characteristics, hybrid biodiesel was mixed with petroleum-based diesel fuel (HB0) at 10% and 30% by volume, respectively HB10 and HB30 diesel-hybrid biodiesel fuel mixtures were prepared and engine tests were carried out in a single-cylinder diesel engine at different loads and speeds. The test results show that as the hybrid biodiesel addition increases, the specific fuel consumption increases due to the low calorific value of the biodiesel, while the thermal efficiency decreases slightly. It is seen that the initiation of injection and combustion of hybrid biodiesel mixtures is earlier than diesel fuel, and the ignition delay values are close to each other for all test fuels. It is observed that NO_x emissions slightly increase as the hybrid biodiesel addition to diesel fuel increases. While the soot emissions of HB10 fuel decreased slightly, that of HB30 fuel increased. It has been observed that HB10 fuel provides both low emission and high performance output especially at 2400 rpm, which is the speed at which the maximum torque of the engine is obtained, and under high loads.

KEYWORDS: Biodiesel, Hybrid Fuel, Leather Waste Oil, Canola, Diesel Engine

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
FOTOĞRAF LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. BİODİZEL	8
3.1 Bitkisel ve Hayvansal Yağların Kimyasal Özellikleri.....	8
3.2 Biodizel Üretim Metodları.....	10
3.2.1 Transesterifikasyon Yöntemi.....	11
3.2.2 Piroлиз Yöntemi.....	14
3.2.3 Mikro Emülsiyon.....	14
3.2.4 İnceltme Yöntemi.....	14
3.2.5 Süperkritik Yöntem.....	15
3.3 Biodizel Yakıtın Özellikleri.....	15
3.3.1 Toksik Etkisi.....	15
3.3.2 Viskozite.....	15
3.3.3 Parlama ve Alevlenme Noktası.....	15
3.3.4 Setan Sayısı.....	15
3.3.5 Yoğunluk.....	16
3.3.6 Soğukta Akış Özellikleri.....	16
3.3.7 Karbon Atığı.....	16
3.3.8 Isıl Değer.....	17
3.4 Dizel ve Biodizel Yakıtın Özelliklerinin Mukayese Edilmesi.....	17
3.5 Biodizelin Avantaj ve Dezavantajları.....	18
3.5.1 Biodizelin Avantajları.....	18
3.5.2 Biodizelin Dezavantajları.....	19
3.6 Dünyada Biodizele Genel Bakış.....	20
3.7 Türkiye’de Biodizele Genel Bakış.....	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM	22
4.1 Biodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller.....	22
4.2 Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Yanma Testleri.....	28
4.3 Hesaplamalarda Kullanılan Eşitlikler.....	34
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	38

5.1 Yanma Karakteristikleri.....	38
5.2 Performans Karakteristikleri.....	47
5.3 Egzoz Emisyonları.....	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
7. KAYNAKLAR.....	54



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı	9
Şekil 3.2. Trigliseridin Kimyasal Yapısı.....	9
Şekil 3.3 Viskozite Azaltma Yöntemleri ve Motor Ayarlarındaki Değişiklikler11	
Şekil 3.4. Stokiyometrik Transesterifikasyon Reaksiyonu	12
Şekil 3.5. Biodizel Üretim Şeması	14
Şekil 4.1. Motor Test Sisteminin Şematik Görünümü	29
Şekil 5.1. Yakıtların Püskürtme Başlangıçları	39
Şekil 5.2. Yakıtların Yanma Başlangıçları.....	40
Şekil 5.3. a.Yakıtların Tutuşma Gecikme Süreleri (KA) b. Yakıtların Tutuşma Gecikme Süreleri (ms)	41
Şekil 5.4. Yakıtların Yanma Sonunun Gerçekleştiği Krank Açılıları	42
Şekil 5.5 a.Yakıtların Yanma Süreleri (KA) b.Yakıtların Yanma Süreleri (ms)43	
Şekil 5.6 Yakıtların Egzoz Sıcaklığı	44
Şekil 5.7. Silindir İçi Basınç Değişim Grafikleri	45
Şekil 5.8. Isı Çıkış Oranındaki Değişim	47
Şekil 5.9. Özgül Yakıt Tüketim Değişimi.....	48
Şekil 5.10. Termal Verim Değişimi	49
Şekil 5.11. NO _x Değişimi.....	50
Şekil 5.12. Is Emisyonu Değişimi	50

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı	10
Tablo 4.1. Deri endüstri yağının yağ asidi bileşenleri.....	24
Tablo 4.2 Kanola yağının yağ asidi bileşenleri	25
Tablo 4.3. Hibrit Biyoyakıtın Yakıt Özellikleri	27
Tablo 4.4. Test motorunun teknik özellikleri	30
Tablo 4.5 Egzoz Gaz Analiz Cihazı ve İş Ölçerin Özellikleri	32



FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 4.1. Manyetik Karıştırıcı, Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı	22
Fotoğraf 4.2. Ohaus-Pioneer hassas terazi	23
Fotoğraf 4.3 Deri endüstrisi yağının katı haldeki görünümü	24
Fotoğraf 4.4. Transesterifikasyon Reaksiyonu Sonunda Faz Ayrılması.....	26
Fotoğraf 4.5. Transesterifikasyon Yöntemi ile Üretilen Hibrit Bioyakıtı.....	27
Fotoğraf 4.6. HB10 ve HB30 Yakıt Karışımları	28
Fotoğraf 4.7. Motor Test Sistemi	29
Fotoğraf 4.8. Test motoru	30
Fotoğraf 4.9. Tork Ölçüm Ünitesi.....	31
Fotoğraf 4.10. Egzoz Gaz Emisyon Cihazı.....	32
Fotoğraf 4.11. Silindir Basınç Sensörü ve Amplifikatörü	33
Fotoğraf 4.12. Yakıt Hattı Basınç Sensörü ve Yükseltici	33
Fotoğraf 4.13. Enkoder	34
Fotoğraf 4.14. Kistler KiBox Veri Toplama Cihazı.....	34

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Birliği
C₆H₅CH₃	Toluen
CH₃OH	Metil Alkol
CO	Karbonmonoksit
COOH	Karboksil Asit
EN	Avrupa Birliği Standartları
HB30	%30 Biyodizel %70 Motorin
HB10	%10 Biyodizel %90 Motorin
HB0	%100 motorin
HC	Hidrokarbon
H₂SO₄	Sülfürik Asit
KOH	Potasyum Hidroksit
KOMe	Potasyum Metoksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaOMe	Sodyum Metoksit
Nm	Newton metre
NO_x	Azot Oksitler
°KMA	Krank Mili Açısı
ÖYT	Özgöl yakıt tüketimi (gr/kWh)
PKDY	Petrol kökenli dizel yakıtı
PM	Partikül Madde
SYA	Serbest yağ asidi
TG	Tutuşma gecikmesi

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmasını yaparken desteğini hiç bir vakit benden esirgemeyen çok kıymetli danıŐmanlarım Doç. Dr. Alaattin Osman Emiroğlu ve Doç. Dr. Mehmet Şen'e, değerli bilgilerinden çok istifade ettiğim Doç. Dr. Ahmet Keskin'e, her zaman varlığı ile benim manevi destekleyen sevgili eŐim ve oğluma çok teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinde her zaman önemli bir yer tutan, özellikle sanayileşmenin artması ve teknolojinin gelişmesiyle önemini daha da arttıran enerji kaynakları ülkeler arasındaki mücadelenin ve savaşların en önemli sebeplerinden birisi olmuştur. Aynı zamanda bu kaynakların sınırlı olması ve her geçen gün enerjiye ihtiyacın artması da insanlığı büyük bir endişeye düşürmektedir. Bu endişeyle insanlık yeni enerji kaynakları keşfetmeye ve mevcut enerji kaynaklarına alternatif enerji kaynakları araştırmaya büyük bir önem vermektedirler. Bilindiği üzere dünyada en büyük enerji kaynakları fosil kaynaklı enerji kaynaklarıdır. Hem çevre kirliliği hem de küresel ısınma ile mücadele tüm dünyada bu fosil kökenli yakıtlara alternatif olacak biyoyakıtlar üzerine ilgiyi çekmiş ve bu yakıtlar ile ilgili araştırmalar yapılmaya başlamıştır.

Ülkemizde tüketilen akaryakıt toplamında dizel yakıt önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle tarımda ihtiyaç duyulan gücün önemli bir kısmı fosil kökenli yakıtlar olan dizel yakıtlardan karşılanmaktadır. Hem çevre dostu olması hem de ihtiyacımız olan enerjiyi karşılaması noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı bu ihtiyacı sağlamaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma ve bu kaynaklardan biyoyakıt üretimi her ülke için her geçen gün daha da kıymetini artırmaktadır (Işıklı, 2011).

Artan dizel motor sayısı, yaşanan petrol krizleri, küresel ısınma, sera etkisi, CO₂ sorunu alternatif enerji kaynaklarına talebi arttırmaktadır. Buna binaen çevreye olan zararı minimum olan yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalar ve arayışlar da gündün güne hızlanmaktadır. İçten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal kaynaklardan üretilen biyoyakıtların petrol kökenli yakıtlara alternatif yenilenebilir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir. Biyoyakıtlar içerisinde ticari olarak en önemli mevkiye sahip yakıt biodizel yakıtıdır. Biodizelin en dikkat çeken avantajı dizel motorlarda herhangi bir modifiyeye gerek kalmadan saf veya dizel yakıtı ile karıştırmak suretiyle kullanılabilir olmasıdır (Aybastier, 2010).

Dizel motorlarda kullanılabilen ve yenilenebilir biyolojik maddelerden elde edilen alternatif yakıtlar "biodizel" olarak adlandırılmaktadır. Bio ve dizel kelimelerinin birleşiminden oluşan bu isim, yakıtın yenilenebilir ve biyolojik olduğunu "bio", dizel motorlarda kullanılabilirliğini "dizel" kelimesi ile

tanımlanmaktadır. Bu isim ilk olarak Amerika'da 1992 senesinde America National Soy Diesel Development Organization kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir. (Çildir ve Çanakçı, 2006).

Biodizel genellikle yüksek kaliteli bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Fakat bu yüksek kaliteli bitkisel yağların hammadde olarak kullanımı, dizel yakıtından daha pahalı olduğu için uygun değildir. Et üretiminde kesilen büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan kaynaklanan atıklar biodizel üretimi için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Özellikle büyükbaş ve küçükbaş hayvanların kesiminden sonra deri ve derinin yüzülmesinden kaynaklanan artıkların yağ içeriğinin yüksek olması biodizel için alternatif bir hammadde olduğunun göstergesidir.

Deri ve deri ürünleri ihracatında Türkiye önde gelen ülkelerden birisidir. Türkiye'de çoğunluğu Ege ve Marmara bölgesinde olmak üzere toplam 13 tane deri organize sanayi bölgesinde üretim devam etmektedir. Deri işletmeleri ham deriyi işleyerek katma değeri olan bir ürün haline dönüştürmektedir. Deri işlenirken yapılan çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik süreçler sonucunda büyük oranda sıvı ve katı atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların gelişigüzel bertarafı çevresel sorunlara neden olmaktadır. Dünyada deri üretimi yılda yaklaşık 15 milyon ton civarındadır. Üretim esnasında yaklaşık 6 milyon ton civarında atık ortaya çıkmaktadır (Emiroğlu ve arkadaşları, 2018). Bu atıklar önemli miktarlarda protein ve yağ içermektedir. Atıklardaki bulunan bu yağlar biodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Keskin ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada, biodizel üretmek için deri işleme tabakhanelerinden artan deri altı atık yağlarını kullanmışlardır ve deri atık yağının %57,65 doymamış yağ asidi ve %40,6 doymuş yağ asidi içerdiğini tespit etmişlerdir.

Kanola yağının bileşenleri olan yağ asitleri %6,3 doymuş, %62,4 tekli doymamış ve %31,3 çoklu doymamış yağ asidi olması itibariyle kendisinden elde edilen biodizel yakıtın soğuk akış özelliği oldukça iyidir. Hatta diğer bitkisel yağları hammadde olarak kullanarak elde edilen biodizeller ile mukayese edildiğinde en iyi soğuk akış özelliği gösteren biodizel kanola yağı biodizelidir. Kanola yağı doymamış yağ miktarı %93 olduğu için diğer bütün sıvı yağlara kıyasen en yüksek doymamış yağ oranına sahiptir. Diğer bitkisel yağlara kıyas ile bazı avantajlara da sahiptir. Hem ucuz hem de sağlıklı olmasından dolayı dünyada yaygın bir tüketime sahiptir. Yazın ve kışın yetişen çeşitlerinin olması, yetiştirme süresinin kısa olması ve

ekili alanda diğerk yağ bitkilerine oranla daha verimli ürün elde edilmesi önemli avantajlarındanır (Dağdelen ve Yüksel, 2016). Avrupa'da biodizel elde etmek için hammadde olarak en çok sarf edilen bitkisel yağ olmasının önemli bir sebebi de biodizel yakıt standartlarına uygun olmasıdır (Can ve Öztürk, 2017). Kanola yağının yurdumuzda yetiştirildiğı bölgeler Trakya ve İç Anadolu bölgelerinin yanında GAP Projesi kapsamında olup sulu tarımın yapıldığı bölgelerdir. Adı geöen GAP bölgesinde 1,5 milyon ton biodizel üretilebilecek kadar kanola bitkisi yetiştirilebilme kapasitesi vardır (Dağdelen ve Yüksel, 2016).

Biodizelin soğuk filtre tıkanma noktası gibi soğuk hava çalışma özelliklerinin, biodizelin üretildiğı yağın doymuş ve doymamış yağ asit oranlarıyla değıştiğı bilinmektedir. Bitkisel yağların doymamış yağ asidi oranları, hayvansal yağların doymamış yağ asidi oranına kıyasla daha yüksektir. Doymamış yağ asit oranı daha yüksek olan yağlardan üretilen biodizellerin soğuk hava çalışma özellikleri, doymuş yağ oranı yüksek olanlardan üretilen biodizellere kıyasla daha iyi olmaktadır (de Freitas ve arkadaşları, 2019).

Bu çalışmada, deri işleme tesislerinden çıkan deri endüstri atık yağı, düşük olan doymamış yağ asidi içeriğini yükseltmek için daha yüksek doymamış yağ asidi içeren kanola yağı ile karıştırılmıştır. Böylece, bu yağ karışımından elde edilen hibrit biyoyakıtın soğuk filtre tıkanma noktası gibi soğuk çalışma özelliklerinin iyileşmesi amaçlanmıştır. Daha sonra üretilen hibrit biodizel, petrol kökenli dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılarak motor performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması bölümünde bitkisel ve hayvansal yağlardan biyoyakıt elde edilmesi ve bu yakıtların hem saf olarak hem de petrol kökenli dizel yakıtlar ile karıştırılarak dizel motorlarda yapılan testlere yer verilmiştir. Bu test sonuçlarında motor karakteristiklerine nasıl etkiler yaptığı ile ilgili gözlemler ve tespitler örneklendirilmiştir.

Özgünay ve arkadaşları (2007) 4 silindirli bir dizel motorda deri altı yağından elde ettikleri biyoyakıtı test etmişlerdir. Ürettikleri biyoyakıtın yakıt özelliklerinin standartlara uygun olduğunu belirtmişlerdir. Fakat bulutlanma noktasının 10 °C olmasının yakıtın kış şartlarına uygun olmadığını ve hayvanlara ait yağların yüksek doymuşluğa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Daha sonra dizel yakıtı ile biyoyakıtı mukayese edilerek, dizel yakıtın motor gücü maksimum 38 kW olurken yüzde yüz biyodizelin ise maksimum 37,5 kW olduğu belirtilmiştir. Emisyon testlerinde ise hidrokarbon, karbonmonoksit ve partikül madde emisyonlarında kayda değer bir azalma, karbondioksit ve azot oksit emisyonlarında ise fazlalaşma fark edilmiştir.

Behçet ve arkadaşları (2012) tek silindirli bir dizel motorda alternatif bir yakıt olan biyoyakıtı test etmişlerdir. Biyoyakıt eldesini transesterifikasyon metodu ile balık yağı ve atık kızartma yağından sağlamışlardır. Elde edilen balık yağı metil esteri ve atık pişirme yağı metil esterinin standart dizel yakıt ile kıyaslanarak tek silindirli 4 zamanlı direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı dizel motorda motor performanslarına ve egzoz emisyonlarına bakılmıştır. Yapılan bu testlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde balık yağı metil esteri ve atık kızartma yağı metil esterinin emisyon özellikleri motorine kıyasen daha üstün özellikler sergilemiştir. Özellikle hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) emisyonları motorine oranla daha az olması daha iyi yanma özelliklerine sahip ve daha çevre dostu olduklarından dolayı biyoyakıtların motorine alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Özsezen ve Çanakçı (2009) yaptıkları çalışmada kanola yağı metal esteri ve atık palmye metil esteri kullanarak petrol kökenli dizel yakıtı göre motor karakteristikleri mukayese edilmiştir. Test için 6 silindirli direkt püskürtmeli ve doğal emişli bir dizel motor kullanılmıştır. 1000, 1500, 2000 rpm sabit motor

hızlarında gerçekleştirilen tam yük testleri sonucu metil esterlerin motor gücünde motorine kıyasen yaklaşık %2'lik bir düşüş olurken %6 civarında özgül yakıt tüketiminde artış tespit edilmiştir. Fakat biyoyakıtın motorine kıyasen tutuşma gecikmesi (TG) süresinin daha kısa süreye indiği saptanmıştır. Emisyon testlerinde ise metil esterlerin hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), duman koyuluğu emisyonlarında petrol kökenli dizel yakıtla kıyasla daha azalma fakat azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinde nispeten artış görülmüştür.

Taymaz ve Çoban (2013) biyodizel elde etmek için büyükbaş hayvan yağından 1000 mL olarak 4,9 gr KOH katalizörü ile 200 ml metanol kullanarak reaksiyona sokmuşlardır. Bu reaksiyondan sonra meydana gelen biyoyakıtı motorin ile mukayese edilmiştir. Bu kıyaslamayı tek silindirli, 4 stroklu, doğrudan püskürtmeli bir pancar motoru kullanarak her iki yakıt denenmiş ve sonuçlar şu şekilde kaydedilmiştir. Biyoyakıtın maksimum tork değeri motorine kıyasen daha düşük çıkmıştır. 1800 rpm için biyoyakıtta 28,46 Nm kaydederken motorinde bu değer 32,98 Nm olmuştur. Yine maksimum güç ölçümleri yapılırken motorinin daha yüksek olduğu 2200 rpm de motorin için 6,67 kW iken biyoyakıtta 5,78 kW olarak kaydedilmiştir. Yakıt tüketimlerinde motorin biyoyakıtla göre daha üstün olduğu görülmüştür. Motorinde minimum yakıt tüketimi 289,5 g/kWh olurken biyoyakıtınki 307,55 g/kWh olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlar kıyaslandığında biyoyakıtın motorine göre dezavantajları olduğu görülmüştür. Bunun başlıca sebebi biyoyakıtın viskozitesinin yüksek, ısıl değerlerinin de düşük olmasına bağlanmıştır. Eğer düşük motor hızlarında kullanılırsa motorine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca CO₂ emisyonu daha iyi ve daha çevreci bir yakıt olduğu kaydedilmiştir.

Sekmen ve Şen (2016) biyoyakıtın dizel motor performans ve emisyonlarına etkisini gözlemlemek için yaptıkları çalışmada hamsi yağından elde ettikleri biyoyakıtı test etmişlerdir. 115 °C'lik sıcaklıkta 5000 mL hacimdeki bir kaba 1000 mL balık yağı konularak yağ sıvılaştırılıp içindeki katı parçacıklarından temizlenmiştir. Başka bir kaba 4,7 gr NaOH ve 200 mL metanol çözeltisi hazırlanmış ve yağın 60 °C sıcaklığın düşüşünden sonra yağ bu çözeltiliye katılarak 2 saat boyunca reaksiyona tabi tutulmuştur. Reaksiyon tamamlandıktan sonra elde edilen balık yağı metil esterleri B5, B20, B50, B100 oranlarında bir dizel motorda teste tabi tutulmuştur. Test motoru olarak tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı bir dizel motor kullanılmıştır. Sonuç olarak biyoyakıtlar dizel motorlarda herhangi

ekstra bir modifiye yapmadan hem saf halde hem de dizel yakıtlar ile karıştırılarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Balık yağı metil esterlerinin yakıt özelliklerinin dizel yakıtlara yakın özellikler göstermesi ve daha çevre dostu egzoz emisyonlara sahip olmasından dolayı alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır.

Abdulvahitoğlu ve Tüccar (2017) “Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak karpuz çekirdeği biyodizelinin değerlendirilmesi” adlı çalışmada kullandıkları karpuz çekirdeği yağından elde ettikleri karpuz çekirdeği biodizelinin dizel yakıtı ile farklı karışımlarda elde ettikleri B20, B80 ve B100’ü teste sokmuşlardır. Biyoyakıtın fiziksel yakıt değerleri, setan sayısı, yoğunluk, viskozite, akma ve parlama noktası gibi değerler ölçülerek kaydedilmiştir. Bu yakıtların motor performans değerleri de karşılaştırılarak şu sonuçlara varılmıştır. Karpuz çekirdeği metil esterinin motorlarda kullanımında tork değerinin düştüğünü fakat emisyon değerlerinin motorine kıyasen iyileştiği gözlenmiştir. Sonuç olarak karpuz çekirdeği metil esterinin çevre dostu olması itibarıyla dizel yakıtlara yakıt katkısı olarak kullanılabilmesi tavsiye edilmiştir.

Alpgiray ve Gürhan (2007) ortaya koydukları çalışmada kanola yağı metil esteri kullanarak motor performans ve karakteristiklerine etkisini değerlendirmişlerdir. Kanola yağı metil esterinin özellik bakımından dizel yakıtına diğer yakıtlara nispeten daha benzer olduğunu gözlemlemişlerdir.

Mehmet ve arkadaşları (2016) ortaya koydukları çalışmada atık veya ham bitkisel yağlardan biyoyakıt elde ederken bu yakıtı dizel yakıt ile %50 hacimsel oranda harmanlamışlardır. Elde edilen karışım bir dizel motorda test edilmesi sonucu dizel yakıtlara iyi bir alternatif olabileceği ve dizel motorlarda ekstra bir modifiye yapmadan kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Horoz ve arkadaşları (2015) ortaya koydukları çalışma sonucunda ileride biyoyakıtların kullanımının daha da fazla olacağını ve sebep olarak bu yakıtların yenilenebilir biyolojik kaynaklardan üretilmesi, doğada bozunabilirliğinin hızlı olması, emisyonlarının da daha çevre dostu olmasını göstermişlerdir.

Haşimoğlu ve arkadaşları (2008) biyoyakıt elde etmek için transesterifikasyon metodu ile ayçiçek yağını hammadde olarak seçmişlerdir. Üretilen biyoyakıt dizel motorda test edilerek performans ve emisyonları karşılaştırılmıştır. Dizel motorda yakıt olarak biyoyakıt kullanıldığında verim, özgül

yakıt tüketimi ve azot oksit emisyon değerleri artmış olduğu fakat duman koyuluğu ve egzoz gazı sıcaklığı azalmış olduğunu görmüşlerdir.

Keskin ve arkadaşları (2007) biodizelin yakıt performans ve emisyon değerlerine etkisini araştırmak için yaptıkları çalışmada tall yağından biodizel elde etmiş ve elde ettikleri bu yakıtı motorin ile karıştırarak dizel-biodizel karışımını bir dizel motorda test etmişlerdir. Bu dizel-biodizel karışımın saf dizel yakıtı kıyasen tork ve güç değerlerinde çok fazla bir farklılık olmadığını, fakat özgül yakıt tüketiminde %8,55'e kadar artış olduğunu kaydetmişlerdir. Emisyon değerlerinde ise CO emisyonları %13 ve is emisyonu ise %30 oranında düşüş olduğunu ifade etmişlerdir.

Oral ve Behçet (2014) yaptıkları çalışmada balık ve fındık yağını kullanarak ayrı 2 biyoyakıt elde edip bu yakıtları %50 oranında ayrı ayrı motorin ile karıştırarak bir dizel motorda bu karışımların saf dizel yakıtı kıyasen motor performans ve emisyon değerlerine bakmışlardır. Elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde motor torku ve motor gücü biodizel-dizel karışımı için düştüğü özgül yakıt sarfiyatının arttığı görülmüştür. Emisyon ölçüm sonuçları ise CO, HC, SO₂ değerlerinde düşüş ve NO_x emisyon değerlerinde ise artış olduğunu ifade etmişlerdir.

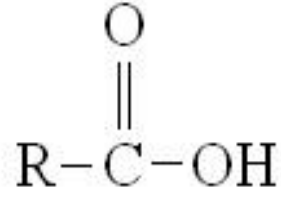
Çelikten ve Gürü (2011) ortaya koydukları çalışmada dizel-biodizel yakıt karışımlarının yanma verimini daha iyileştirmek ve bu yakıt karışımının setan sayısını artırmak için bazı katkı maddelerine ihtiyaç olduğunu tespit etmişlerdir.

3. BİODİZEL

Nebati ve hayvansal yağların bir alkol ile asidik veya bazik katalizör kullanarak reaksiyona girmesi sonucu elde edilen bir yakıttır. Petrol kökenli yakıtlar ile benzer özellikler gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen fosil kökenli yakıtlara göre daha çevreci olan biyolojik bir yakıttır. Biyolojik kökenli hammaddeler kullanılarak bir dizel yakıtı olduğu için “biodizel” ismi ile adlandırılmıştır. Aynı zamanda dizel motorların da keşfedeni olan dünyaca meşhur Rudolf Diesel nebati yağların yakıt olabileceğini dünyaya tanıtan ilk bilim adamı olmuştur. 1900’lü yıllarda dünya fuarında bir dizel motorunu yer fıstığı yağı kullanarak çalıştırmıştır. O yıllarda bazı sebeplerden dolayı önemsenmemiştir. Fakat ilerleyen senelerde petrol kökenli yakıtlarda vücuda gelen bazı tedarik sıkıntılarının dolayı araştırmaların alternatif enerji kaynaklarına yönelmesiyle dikkati kendi üzerine çekmiştir. “Biodizel” ismi ise 1992 senesinde Amerika Ulusal Soy Diesel Geliştirme Kuruluşu ile dünyaya ilk olarak duyurulmuştur. Bitkisel yağların dizel motorlarda direkt olarak kullanılmasıyla bu yakıtlar fosil kökenli yakıtlara alternatif olacak ve onlar ile rekabet edebilecek yakıtlar olarak görülmeye başlanmıştır. Bitkisel yağların bazı üstün özellikleri olmakla beraber direkt olarak dizel motorlarda kullanıldığında bazı olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Viskozite değerlerinin yüksek oluşu, düşük uçuculuğa sahip olması ve doymamış hidrokarbon zincirlerinin reaksiyonundan dolayı bilhassa çalışma süresi uzadığı zaman enjektör tıkanıklığı ve yağlama yağının bozulması gibi sıkıntılar meydana getirmektedir. Bitkisel yağlar oldukça yüksek viskoziteye sahiptir ve dizel yakıtı göre 10-20 kat yüksektir hatta bitkisel yağlarda 100 kata kadar çıkmaktadır. Viskozitenin yüksek oluşunun önemli dezavantajlarından birisi enjektörlerden püskürtülürken bazı olumsuzluklara sebep olmasıdır (Demirbaş, 2003).

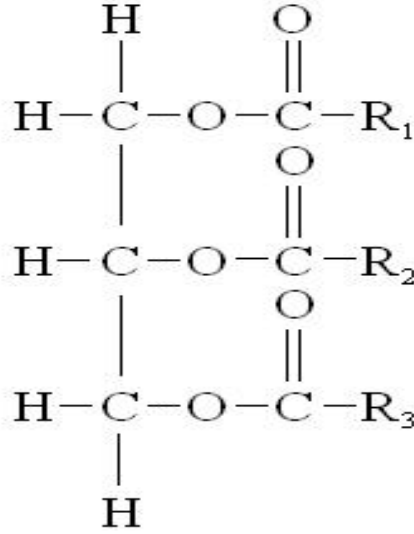
3.1 Bitkisel ve Hayvansal Yağların Kimyasal Özellikleri

Biyoyakıtların hammaddesi bitkisel ve hayvansal yağlardır. Kullanılan yağların kimyasal yapısı elde edilen biyoyakıtı doğrudan tesir etmektedir. Biyoyakıtın kaynağı olan bitkisel ve hayvansal yağların büyük bir bölümünü trigliseritler oluşturmaktadır. Üç tane yağ asidinin bir gliserol molekülü ile birleşmesinden trigliseritler meydana gelir.



Şekil 3.1. Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı

Şekil 3.1’de bir yağ asidinin karbon, oksijen, hidroksit ve reel gruptan oluşan kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Trigliseridin Kimyasal Yapısı

Şekil 3.2’de ise bir trigliseritin kimyasal yapısını görülmektedir. Bitkisel ve hayvansal yağların %97’si trigliseritlerden ve %3’ü de monogliserit ve digliseritlerden oluşmaktadır. Eğer trigliserit aynı cins yağ asitlerinden meydana gelmiş ise basit trigliserit, farklı cins yağ asitlerinden meydana gelmiş ise karışık gliserit olarak adlandırılır. Yağ asitlerinin genel formülü $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ şeklindedir. Bağ şekillerine göre yağ asitleri üç kısıma ayrılır.

- i. Doymuş yağ asitleri
- ii. Tekli doymamış yağ asitleri
- iii. Çoklu doymamış yağ asitleri

Sadece tekli bağlardan oluşan doymuş yağ asitlerinde çift bağ yoktur. Bu yağ asitlerinin genel formülleri R-OOH'dır. Hidrokarbon zinciri olarak adlandırılan R harfine aynı zamanda radikal grupları da denmektedir. Doymamış yağ asitlerinde bir veya birden fazla çift bağ vardır. Eğer sadece tek bağ var ise tekli doymamış yağ asitleri, daha çok çift bağa sahip ise çoklu doymamış yağ asitleri ismini alırlar.

Tablo 3.1. Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı

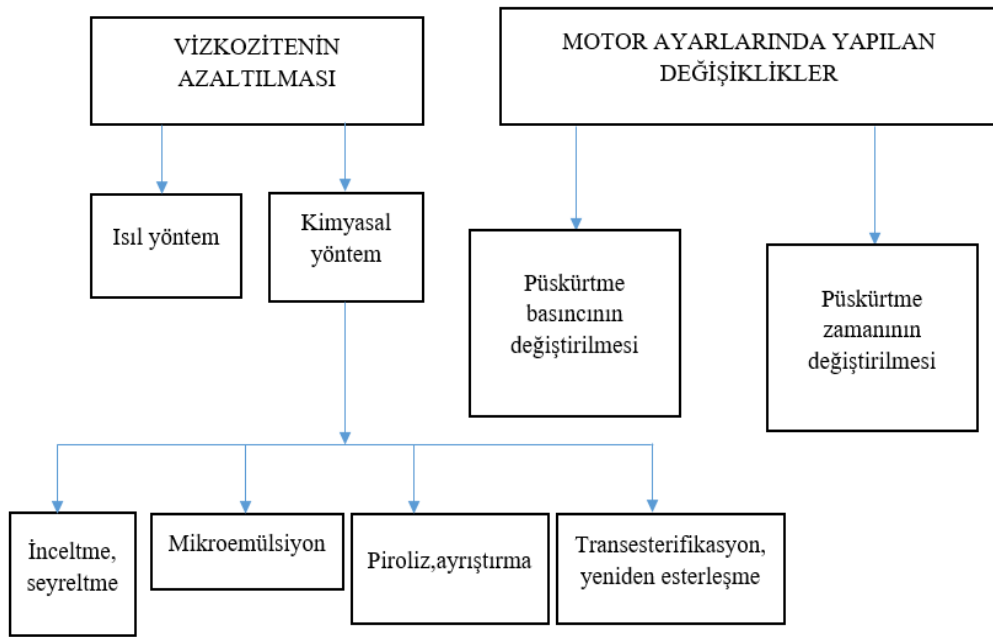
Yağ Asitleri	Karbon Sayısı
Miristik asit	C-14:00
Palmitik asit	C-16:00
Stearik asit	C-18:00
Oleik asit	C-18:01
Linoleik asit	C-18:02
Linolenik asit	C-18:03
Araşidik asit	C-20:00
Behenik asit	C-22:00
Erukik asit	C-22:01

Tablo 3.1'de miristik asit, palmitik asit, stearik asit gibi bazı yağ asitlerinin karbon ve çift bağ sayıları verilmiştir. En yaygın bilinen doymuş yağ asitleri stearik asit (18:0) ve palmitik asit (16:0)' lerdir. Bitkisel yağ grubuna giren yağların tamamı bu iki yağ asidinden en az bir tanesini ihtiva etmektedir. Oleik asit (18:1) yine tanınmış doymamış yağ asididir. Bunun yanında yağların tamamı belirli bir miktar linoleik asit (18:2) ihtiva etmektedirler (Goering,1982). Yağ asitlerini temsil etmek için 2 rakam kullanılır. Sol taraftaki rakam toplam atom sayısını ve sağdaki ise çift karbon bağ adedini belirtmektedir (Peterson,1986).

3.2 Biodizel Üretim Metodları

Dünyada petrol kökenli yakıtların bir gün tükeneceğini öngören araştırmacılar, alternatif enerji kaynakları arayışına girmişlerdir. Bu araştırmaların öne çıkanı bitkisel ve hayvansal kökenli yağların kullanılması olmuştur. Bu yağlar

defalarca dizel motorlarda denenmiş ve başlıca viskozitesinin yüksek olmasından kaynaklı problemler yaşanmıştır. Bunlardan bazıları; yakıt enjektöründe tıkanmaları sebebiyet veren karbon birikmesi ve piston segmanlarına tutunmaları olmak üzere bazı motor arızalarını netice vermiştir. Bunun üzerine çalışmalar bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerini iyileştirmeye yönelik yoğunluk kazanmıştır ve özellikle de yağların viskozitelerini azaltmak üzere olmuştur. Yağların viskozitelerini azaltmak için de bazı farklı yöntemler kullanılmıştır. Bunların en yaygın olarak uygulananı transesterifikasyon olmak üzere mikro emülsiyon oluşturma, piroliz ve seyreltme gibi metotlardır.



Şekil 3.3 Viskozite Azaltma Yöntemleri ve Motor Ayarlarındaki Değişiklikler

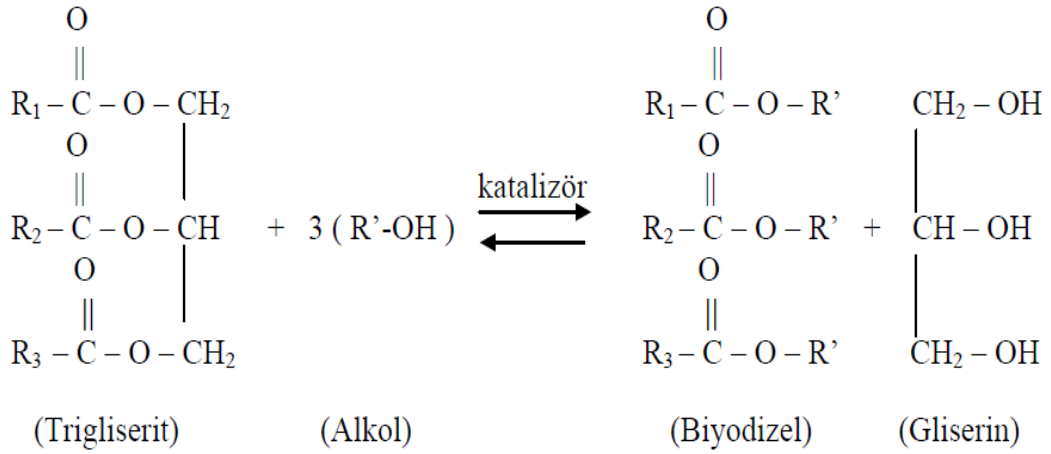
Şekil 3.3'de yağların viskozitelerini azaltmak için kullanılan yöntemler ve motor ayarlarında yapılan değişiklikler görülmektedir.

3.2.1 Transesterifikasyon Yöntemi

Bu yöntem kısaca yağ asitlerinin yenilenen esterleşme reaksiyonuna verilen bir isimdir. Bitkisel, hayvansal veya atık yağların yağ asitlerinin yeniden esterleştirmek için ise asidik veya bazik bir katalizör kullanarak metanol, etanol veya başka bir alkol ile reaksiyona tabi tutulur. Reaksiyon neticesinde yağ asitleri alkoller ile tekrar yeni eserler meydana getirmek üzere bağlı oldukları trigliseritlerden koparlar. Başka bir ifade ile gliserol temelli triesterler alkil temelli monoesterlere çevirirler. Bunun neticesinde monoesterlere dönüşen trigliseritlerin molekül ağırlıkları üçte birine iner ve aynı zamanda bizim için olumsuz bir özellik

olan yüksek viskozite önemli bir seviyede düşer ve uçuculuk da iyileşir (Sabancı ve arkadaşları, 2010).

Stokiyometrik tepkime için mol oranı olarak tepkimeye sokulan hammaddenin 3 katı alkol kullanılır. Fakat bu işlem tersinir bir tepkime olması itibarıyla uygulama teorikten biraz farklıdır. Tepkimeyi, tepkimenin çıkanlar yönüne ilerletmek amacıyla alkol kullanımını iki katına yani hammaddenin 6 katı yapılıır. Fakat bu orandan daha fazlası tepkimeyi iyileştirmez, aksine gliserolün ayrışımına mani olur ve tepkime sonunda alkolün ayrışımı maliyeti artırmaktadır (Şanlı, 2014).



Şekil 3.4. Stokiyometrik Transesterifikasyon Reaksiyonu

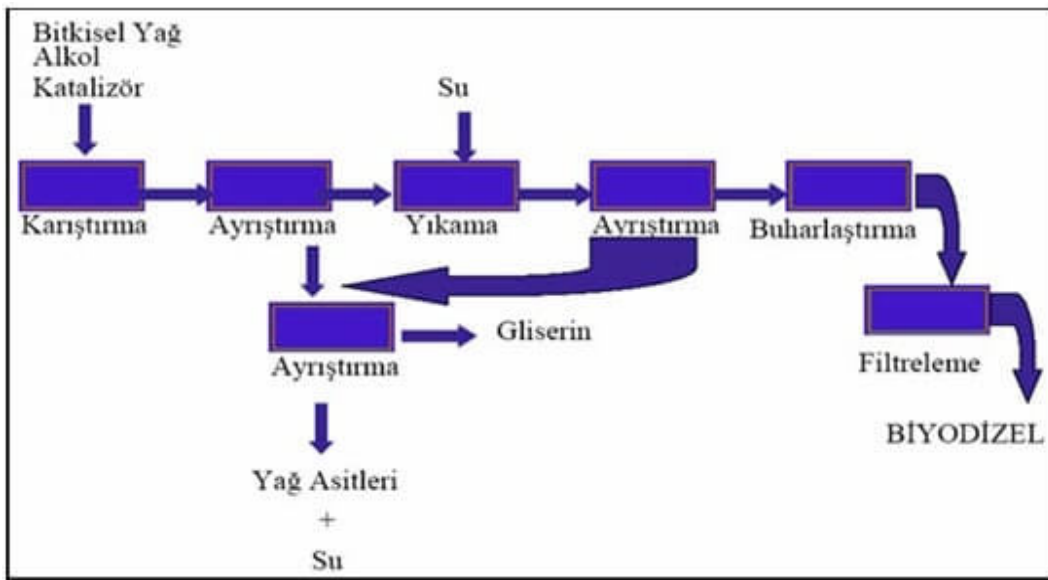
Biodizel elde etmek için tepkimeye kullandığımız alkol, yakıtın özelliklerine direkt tesir ettiği için önem arz etmektedir. Hatta biodizelin isimlendirilmesi bile elde etmek için kullandığımız alkolün alkil kısmı ile adlandırılır. Eğer tepkimeye metanol koyulmuşsa metil ester, etanol koyulmuşsa da etil ester yakıtı şeklinde tarif edilir. Alkol bağları da yakıt özelliklerine tesir eder. Çünkü elde edilen biodizel yakıt, kullanılan alkolün bağlarını kendisinde bulundurmaktadır. Transesterifikasyon tepkimesinde büyük çoğunlukla metanol kullanılır. Bunun sebepleri olarak; katalizörün daha çabuk kendisinde çözünmesi, trigliseritler ile süratli tepkime vermesi, ekonomik oluşu ve hem fiziksel hem de kimyasal olarak daha üstünlüklere sahip olması gibi nedenler sayılabilir. Transesterifikasyon tepkimesinde kullanılan alkolün yanında bir de tepkimeyi hızlandırmak amacıyla katalizör kullanılır. Bu katalizörler asit, baz veyahut

biyolojik enzimler de olabilirler. Baz katalizörlerin diğerlerine nispeten hızı daha fazladır (Şanlı, 2014).

Transesterifikasyon tepkimesi öncesinde tepkimeye kullanacağımız katalizör alkol içerisine katılıp katı haldeki katalizör alkol içerisinde eritilir ve ilk olarak çözelti hazırlanır. Katalizör olarak genelde sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) seçilir. Alkol ise daha önce de bahsedildiği gibi metanol tercih edilir. Ve bu çözünme sonucunda metoksit çözeltisi elde edilmiş olur.

Bu çözelti reaksiyon kabına doldurulup bitkisel veya hayvansal yağ üzerine katılır. Alkol uçucu bir madde olduğu için uçarak kaybolmasına mani olmak için sistem atmosfere kapatılır. Elde ettiğimiz bu karışımı en hızlı tepkime verecek bir sıcaklıkta bekleterek reaksiyonun tamamlanır. Genelde 55-65° C derece sıcaklık seçilir. Bu hangi sistemi seçtiğimize göre değişebilir. Süre olarak da yine sisteme göre değişkenlik göstermekle birlikte 1 ila 8 saat tutmaktadır. Bazı ileri teknik sistem kullanımında daha modern mikser ve sonic cihazlar içeren reaktörlerde, reaksiyon müddeti kısaltılabilir. Eğer tepkime şartları tam olarak sağlanamaz ve katalizör istenilen verimi vermez ise ortamda meydana gelen gliserin yağ asitleri ile tepkime oluşturup mono-digliserit ortaya çıkabilir.

Daha sonra tepkime neticesinde meydana gelen ve iki temel unsur olan biodizel ile gliserinin birbirinden ayrılma işlemi yapılır. Bunun için dinlendirme veya daha hızlı olması istenirse santrifüj kullanılabilir. İki fazın yoğunluğu birbirinden farklı olduğundan dolayı yoğunluğu fazla olan gliserin dibeye çöker ve ayırma işlemi gerçekleştirilir. Bir sonraki adıma geçilerek ayrılan bu iki faz içerisinde geriye kalan metanolün de uzaklaştırılması gerekir. Eğer ihtiyaç duyulursa karışım bu basamakta nötralize yapılabilir. Evaporasyon uygulaması ile hala mevcut olan alkol bertaraf edilir. Son işlem olarak ise yıkama ve kurutma yapılır. Ilık su ile yıkanarak biodizel içerisinde kalan kalıntı katalizörler ve sabunlar arındırılır. Şekil 3.5’de biyodizel üretim şeması verilmiştir (Anonim, 23 Ocak 2021).



Şekil 3.5. Biodizel Üretim Şeması

3.2.2 Piroliz Yöntemi

Bu yöntem ile elde edilen biodizelin kimyasal özellikleri motorin ve benzinin kimyasal özellikleri ile oldukça yakınlık gösterse de ekonomik noktadan oldukça maliyet gerektiren bir metottur. Molekülleri olduğundan daha küçük moleküller haline dönüştürmek amacıyla yüksek sıcaklık kullanılır. Neticede yakıtın viskozitesi düşürülmüş olur fakat ekstra maliyetler gerektirir. Bu yöntem ile bitkisel yağların biodizele dönüştürülmesinin iki şekli vardır. Birincisinde bitkisel yağları kapalı bir haznede yüksek sıcaklık kullanarak parçalanmasını sağlamaktır. Diğer şekilde ise ASTM distilasyonu yapılarak yağlar ısıl parçalanmaya tabi tutulur. Sonuçlara göre eğer yüksek sıcaklık etkisiyle bitkisel yağ, piroliz işlemi uygulanırsa özellik bakımından dizel yakıtı daha benzer olduğu görülmüştür (Çengelci, 2011).

3.2.3 Mikro Emülsiyon

Kısa zincirli alkollerden olan etanol veya metanol ile bitkisel esaslı yağların karıştırılarak mikro emülsiyon oluşturması işlemidir. Böylelikle viskozite azaltılmış olur fakat içinde alkol bulunduğu için ısıl değer motorine kıyasen biraz daha düşük olmaktadır. Bu da motor gücünü azaltır. Enjektör ve supaplarda karbon tutunmasına mani olur. Uçuculuğun fazla olmasının gerektirdiği bir avantaj ile silindir içine soğutucu etki yapar (Akgün, 2009).

3.2.4 İnceltme Yöntemi

Seyreltme olarak da adlandırılan bu yöntemde bitkisel veya atık yağlar motorin ile ölçülü miktarda karıştırılarak hem viskozite de düşürülmüş olur hem de petrol kökenli yakıtın daha az kullanımı sağlamış olur. Ekseriyetle %20 ölçüde bitkisel veya atık yağ motorin ile harmanlanır ve bu şekilde motorin daha ekonomik

olmakla birlikte özellik bakımından saf motorine de oldukça yakın olur. Bu metotta kullanımı en fazla tercih edilen başlıca yağlar olarak ayçiçek, soya, yer fıstığı, kolza, aspir yağı gibi yağları sayabiliriz (Altun, 2005).

3.2.5 Süperkritik Yöntem

Bu yöntem transesterifikasyona kıyasen daha kısa fakat daha yüksek bir sıcaklıkta, katalizör kullanmadan gerçekleştirilen bir işlemdir (Öğüt, 2006).

3.3 Biodizel Yakıtın Özellikleri

3.3.1 Toksik Etkisi

Biodizel zehirli bir madde değildir. Ağız yolu ile vücuda girdiğinde hayati zarar vereceği miktar 17,4 gram biodizel/kilogram vücut ağırlığı kadardır. Buna kıyas ile tuz biodizele göre 10 kat daha fazla öldürücüdür. İnsan cildine temasında, yapılan deneylerde %4'lük sabun çözeltisinden daha az zararlı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kendisi toksik olmadığı halde dizel yakıtı toksik olduğu için ikisinin karışımlarında havalandırma ekipmanları ve göz koruyucular gibi standart şartların hazırlanması gerekir (Karaosmanoğlu, 2002).

3.3.2 Viskozite

Akışkanların akmaya karşı dirençlerine kısaca viskozite denir. Yakıtlarda viskozitenin düşük olması iyi bir özelliktir. Çünkü besleme sistemindeki yakıtın akıcılığının yüksek olması enjektörlerden püskürtülürken daha iyi atomizasyon meydana getirir. Bu durum da iyi bir yanma oluşumuna sebep olur. Aksi takdirde viskozite yüksek olursa fakir bir atomizasyon ve kötü bir yanma olması demektir (İnternet Adresi: <http://www.biyokure.org>, 2021).

3.3.3 Parlama ve Alevlenme Noktası

Sıvıdan buharlaşan buharın parlayabilir bir atmosfere dönüştüğü en düşük sıcaklığa parlama noktası denir. Risk sınıfına dahil olan yakıtların parlama noktası önemlidir. Parlama noktası yüksek olması demek yakıtların taşınma ve depolanma esnasında daha güvenilir olması demektir. Biodizel yakıtların dizel yakıtı kıyasla en üstün yanlarından birisi parlama noktasının yüksek oluşudur. Bu özellik ile biodizel, dizel yakıtlardan taşıma ve depolama güvenliği özelliği noktasında daha iyidir.

3.3.4 Setan Sayısı

Dizel motorlarda kullanılan yakıtlarda istenilen en önemli özelliklerden birisi de setan sayısının yüksek olmasıdır. Setan sayısı silindirde sıkıştırma zamanı akabinde sıcaklığı ve basıncı yükselmiş hale gelen havanın içine enjektörlerden püskürtülen yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetinin göstergesi olan bir ölçüdür.

Silindirde sıkıştırma sonucu artan basınçlı ve ısınmış havanın içerisine püskürtülen yakıtın tutuşma eğiliminin benzinin tersine olarak fazla olması istenir. Eğer kendi kendine tutuşma eğilimi düşük olursa, diğer bir ifade ile yanmanın ilk aşaması olan tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak uzun olması durumunda, yanma için ayrılmış krank mili açısı aralığı azalmış olur. Bu da yanma odasında daha çok miktarda yakıtın birikmesi demektir. Fazla biriken yakıt ise ani olarak yandığı zaman, motorda istenmeyen vuruntuya sebep olur. Hem istenmeyen bir gürültü hem de motora mekanik olarak zarar verecek yüksek basınçlar meydana getirir (Yamık, 2002).

Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini kısaltır ve hızlı yanma meydana gelir. Böylelikle yanma olayının silindirde genişleme periyoduna kaymadan bitmiş olur ve egzoz gaz sıcaklığının azalmasına sebep olur. Diğer yandan setan sayısı yüksek olan yakıtların emisyon sonuçlarında pozitif neticeler alındığı yapılan testler ile ispatlanmıştır (Aktaş ve Sekmen, 2008).

3.3.5 Yoğunluk

Yoğunluk birim hacimdeki madde miktarı ile tarif edilir. Bioyakıtların dizel yakıtlar ile mukayese edildiğinde yoğunluğu %5 ila 7 arasında daha fazla olduğu görülür. Bir yakıtın yoğunluğu ne kadar fazla ise içerdiği enerji miktarı o kadar daha fazladır. Hidrokarbon zinciri ne kadar uzar ise o kadar yoğunluk azalır. Bunun ile birlikte çift bağ sayısının artışı ise yoğunluğu artırır. Eğer bir biodizelin yoğunluğu yüksek ise içindeki gliserin istenilen düzeyde uzaklaştırılmadı demektir. Biodizelin ısı değeri dizel yakıtı kıyasen %10-15 daha düşüktür. Bu durum motor gücü ve torkunun düşük olmasına sebebiyet verirken, yoğunluğu fazla oluşu bunu telafi eder ve güç kaybını azaltır (Akyarlı, 2004).

3.3.6 Soğukta Akış Özellikleri

Biodizel yakıtların akma noktaları dizel yakıtlara kıyasen yüksektir. Bu durum biodizel yakıtların soğukta kullanım problemlerine sebep olmaktadır. Yakıtı bazı katkı maddeleri ilavesiyle akma noktası düşürülebilir. Eğer yakıtın soğukta akış özelliği iyi değil ise bu durum motorun yakıt besleme sistemine zarar verir. Bununla birlikte motorda ilk hareket sıkıntısı meydana getirir (Akyarlı, 2004).

3.3.7 Karbon Atığı

Karbon atığı DIN EN ISO 10370 test metoduna göre oksijensiz bir ortamda yakıt yakılarak simüle edilmesi sonucu tespit edilmektedir. Karbon atığı bazı olumsuzluklara sebebiyet verir. Bunlardan bazıları enjektör deliklerinde ve yanma

odasında karbon birikimidir. Yapılan testlerde biodizelin gerçekte neredeyse hiç denecek seviyede az karbon atığı yaptığı ve kütlelerinin %0,4 oranı kadar olduğunu göstermiştir (Akyarlı, 2004).

3.3.8 Isıl Değer

Yakıtın birim kütle/hacmi başına elde edilen enerjiyi tarif eder. Eğer araçlarda ağırlık sınıf sınırlaması varsa bu değer önem kazanmaktadır. Örneğin palm yağı gibi doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğunun fazlalığı ısı değerini o kadar çok olduğunu gösterir. Eğer doymamışlık yani hidrojen sayısı düşerse ısı değeri düşer. Biodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden ötürü ortalama %11 fosil kökenli dizel yakıtına göre daha azdır. Bu da aynı motor çalışma standartlarında daha düşük güç ve tork demektir. Bunu tolere etmek için enjeksiyon hacmi artırılabilir. Fakat bu da yakıt tüketimini artırır (Karahana, 2006).

3.4 Dizel ve Biodizel Yakıtın Özelliklerinin Mukayese Edilmesi

Bu iki yakıtın molekül boyutu birbirine yakınlık gösterirler fakat kimyasal yapı itibarıyla aynı değildir. Bioyakıtlar yağ asidi metil esterlerden meydana gelirken petrol kökenli dizel yakıtlar %95 doymuş hidrokarbon ve %5 aromatik bileşenlerden teşekkül etmiştir. Kimyasal bakımdan farklılık göstermesi sebebiyle bu iki yakıt fiziksel farklılıklara da sahiptirler. Bu farklılıkların önde gelen bir kısmını şöyle sıralayabiliriz;

- i. Özellikle motorun daha az aşınmasında önemli bir özellik olan yakıtın kayganlığı, biodizelde motora kıyasen daha fazladır (Ciolkosz, 2013).
- ii. Egzoz emisyonu noktasında çevre kirliliğine sebebiyet veren dizel yakıttaki sülfür, biodizelde olmadığından dolayı daha çevreci bir yakıttır.
- iii. Biodizel yakıtlar %10-12 oranında oksijen ihtiva eder ve bu oksijen noktasından zenginliği, yanmayı iyileştirerek egzoz emisyonlarını azaltır ve daha çevre dostu bir yakıt haline getirir.
- iv. Soğukun tesiriyle biodizel yakıtlarda motor performansına negatif olarak etki gösteren jelleşme meydana gelir.
- v. Dizele kıyasen kararlılığı az, oksidatif özelliği fazla olan biodizel, depolamada tepkimeye girmemesi için ışık geçirmeyen, serin ve kuru bir yer ayarlanmalıdır.
- vi. Dizel yakıt ile mukayese edildiğinde biodizel herhangi bir sızıntı veya dökülme halinde çevreyi daha az kirletir. Çünkü toksik değildir.

3.5 Biodizelin Avantaj ve Dezavantajları

Biyoyakıtların avantajları içinde sayabileceğimiz en önemli avantajı başta dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilir olmasıdır. Yani mevcut dizel motorlarda herhangi bir değişim yapılmasına ihtiyaç kalmadan kullanılabilmesidir. Örneğin dizel motor dışındaki diğer motorlarda hidrojen, CNG, LPG gibi alternatif bir yakıt kullanmak istenildiğinde ilave bir ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Dizel motorlarda bunun gibi ilave bir ekipman gerektirmediği için önemli bir avantaj sağlayıp biodizeli daha cazip hale getirmektedir. Bundan başka biyoyakıtların kullanımında daha pek çok avantajlı diyebileceğimiz olumlu yönleri vardır.

3.5.1 Biodizelin Avantajları

- Biyoyakıtların yapısından mevcut olan metil esterler doğada çok çabuk ve kolayca parçalanıp kaybolur. Biyolojik bakımdan çözünebilir ve toksik değildir. Araştırmacılar kanola esaslı bir biyoyakıtın üç haftada %99,6 oranında çözüldüğü saptanmıştır. Ülkemizde yerli olarak üretilebilmesi, yenilenebilirliği ve çevre dostu olması sayabileceğimiz bazı avantajlarıdır. Ayrıca CO₂ emisyonu tekrar bitkiler tarafından kullanıldığı için atmosferde birikip sera etkisi yapmaz (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- Biyolojik maddeler arasında yağ asitlerini ihtiva eden yağlar, ısı değeri en yüksek olanlarıdır. Bitkisel yağlar yağ asidi taşımayan biyolojik maddelerden daha fazla ısı enerjisi ihtiva eder. Bu sebeple sürdürülebilir bir kaynak sağlarlar (Öztürk, 2007).
- Sanayi atığı veya evde kullanılmış yağların geri dönüşümü için imkan sağlar. Biyoyakıtlar atık yağlardan da elde edildiği için çevre kirliliği yapan atıkların miktarını azaltır ve böylece ekonomiye ilave kazanç getirir (Akın, 2005).
- Tutuşma sıcaklığı dizel yakıtlara mukayese edildiğinde daha yüksektir (>110° C). Bu özellik biyoyakıtların depo edilmesinde ve taşıma esnasında daha emniyetli şartlar sağlar (Mutlu vd, 2006).
- Biodizelin yanması sonucu ortaya çıkan emisyonlarda CO, partikül madde ve yanmamış hidrokarbon miktarı düşüktür. Kükürt ise neredeyse bulunmaz. Kanserojen madde içeriği oldukça azdır.
- Yağlayıcı özelliği motorine nispeten daha yüksek olduğu için motor ömrünü uzatma açısından avantaj sağlar (Altun ve Öner, 2013).
- Ağırlığının %11 oranını oksijen oluşturur. Yüksek oksijen içeriğinden dolayı yüksek bir yanma verimliliği sağlar (Öğüt ve Oğuz, 2006).

- İçeriğindeki iyot miktarı düşük seviyede bulunduğu için kurum meydana getirmez (Nişancı, 2007).
- Setan sayısı yüksektir. Vuruntusuz çalışır. Herhangi bir modifiye yapılmamış dizel motorlarda farklı oranlarda karıştırılarak kullanılabilceği gibi %100 saflıkta da dizel motorlarda kullanılabilir. (Türkay, 2005).
- Üretimi sırasında açığa çıkan gliserin kimya sanayisinde ticari olarak değerlendirilebilir.
- Ülke ekonomisine hem tarımsal kalkınmaya destek vermesi noktasında hem de yeni istihdam alanı sağlamasından dolayı göz ardı edilmeyecek kadar ciddi destek sağlar (Nişancı, 2007).
- Taşıtlarda ulaşım için kullanımının haricinde jeneratörlerde ve ısıtma sistemlerinde de kullanılabilmesi bir avantajdır.
- Bütün bu saydıklarımızın yanında dışa bağımlılığı azaltır. Tüketici açısından tasarruf sağlar. Kırsal alanlarda yaşayan nüfusun sosyo-ekonomik bakımdan gelişimini artırır.

3.5.2 Biodizelin Dezavantajları

- Biodizel yakıtların akma noktası dizel ile kıyas edildiğinde daha yüksektir. Yüksek viskozite bitkisel yağların dizel motorlarda direkt olarak kullanılmasını olumsuz etkiler. Çünkü enjektörlerden püskürtülürken yeteri miktarda atomizasyon sağlanmadığı için yanmayı olumsuz etkiler ve tutuşmayı geciktirir. Bunun yanında enjektörlerde koklaşma, tıkanma ve yanma odasında birikmeleri netice verir. Ayrıca yağlama yağı ile karışarak yağın kalınlaşmasına sebebiyet verir (Öztürk, 2007).
- Kış şartlarından negatif etkilenir. Dizel yakıtlara kıyasen bulutlanma noktası yüksektir. İhtiva ettiği doymuş yağ miktarının fazla oluşu ise yakıt filtrelerinin tıkanmasına ve yakıt hattı borularında donmalara sebebiyet verir. Bu yüzden soğuk iklim koşullarında yaygın kullanımın önüne geçer. Bunu engellemek için dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılması önerilir. Ayrıca ön ısıtmaya ihtiyaç duyulur. Bütün bunların yanında ısı değer de dizel yakıtlara kıyasla daha düşük olduğundan dolayı yanma neticesinde elde edilen güç bir miktar daha düşüktür (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- Oksitlenmesi fazladır. Özellik yüksek sıcaklıkta bu durum daha artarak hava ile birleşmesinde hızla oksitlenmeye başlar (Koç, 2011).

- Depolanma esnasında kullanılan bazı malzemelere zarar vermektedir. Kauçuk gibi malzemeleri parçaladığı için motordaki hortum, conta ve bağlantı elemanları gibi bazı ekipmanlar biodizelden etkilenmeyen malzemeler seçilerek değiştirilmesine ihtiyaç duyar (Artukoğlu, 2006).
- Yanma emisyonları arasında azot oksit (NO_x) dizel yakıtı kıyas edildiğinde daha yüksek kalmaktadır.
- Hacimsel olarak %11, ağırlık olarak ise %5-6 arasında daha çok yakıt tüketimine sahiptir.

3.6 Dünyada Biodizelle Genel Bakış

Son yıllarda dünya genelinde üretimini artıran biodizel devletlerin enerji ile ilgili gelecek hedeflerinde önemini her geçen gün yükseltmeye devam etmektedir. Petrol esaslı yakıtların tüm dünyada azalması ve belki yakın bir gelecekte bitecek olması dünyada bu yakıtların kullanımına tedbir amaçlı yüksek vergiler getirmekte ve alternatif yakıtlardan olan biodizeli yaygınlaştırmak için dünya genelinde teşvikler yapılmaktadır. Avrupa Birliği (AB) konu ile ilgili aldıkları bir karar ile petrol esaslı yakıtlara uygulanan vergilerin biyoyakıtlar hakkında uygulanmamasını kabul etmişlerdir (Gülüm, 2014).

Vergi ile ilgili teşvikler, biodizel yakıtların dizel yakıtlara belli ölçülerde zorunlu ekleme ile ilgili kanunlar ve buna benzer tedbirler ile biodizel üretimi artmıştır.

Dünya ülkelerine genel olarak bakıldığında; Avrupa'da üretim noktasında en önde bulunan Almanya'da biodizel ile ilgili yapılan vergi teşvikleri bunun en önemli sebebi olmuştur. Fransa ise yılda 300 bin ton üretim potansiyeline sahiptir. İtalyada sadece binaların ısınması için kullanılmak üzere ürettikleri biyoyakıt yılda 125 bin tondur. Avusturya yılda 30 bin ton üretim potansiyeline sahiptir. Belçika ise yılda 24 bin ton üretim potansiyeline sahiptir (İnternet Adresi: <https://www.academia.edu>, 2021).

3.7 Türkiye'de Biodizelle Genel Bakış

Türkiye'de maliyeti yüksek olmasından dolayı henüz yeterli miktarda yaygınlaşmıştır. Maliyeti yüksek oluşunun en önemli sebebi de Türkiye'de uygulanan özel tüketim vergisidir. Bu vergi ancak dizel yakıtı %2'lik olarak karıştırılan biodizelde uygulanmamaktadır. Buna rağmen ülkemizde dizel yakıtlı araçlar çok fazla olduğu için toplamda bu oran bile ülke ekonomisine sağladığı yarar gözardı edilmeyecek seviyede sayılabilir. Ülkemize bu yakıtın daha da

yaygınlaşması için teşvikleri arttırmak ve kanuni olarak da yolunu açacak kararlar alınması gerekmektedir. Enerji Piyasası Denetleme Kurulu, aldığı karar ile (29.09.2019) %0,5 oranında motorin yakıtlarına biodizel katılması zorunluluğu getirilmiştir. Avrupa'ya nispeten düşük olmakla birlikte ileride yapılacak yeni düzenlemeler ile üretimi ve kullanımı daha da yaygınlaşacaktır.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde biodizelin hangi yöntem ile elde edildiği, biyodizel elde ederken kullanılan kimyasallar ve deney malzemeleri ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Elde edilen biodizelin yakıt özellikleri ve analiz edilirken kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca motor test düzeneği ve motor deneylerinden bahsedilmiştir.

4.1 Biodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller

Reaksiyonda kullanılan çözelti hazırlanırken Fotoğraf 4.1’de verilen HEIDOLPH markalı, MR Hei-Tec model, ısıtıcı, % ± 2 hız hassasiyetli, sıcaklık kontrolü yapan, manyetik karıştırıcılı, 30-1400 d/d aralığında çalışabilen bir ısıtıcı ile çözelti ısıtılmış ve sıcaklığı sabit tutulmuştur.



Fotoğraf 4.1. Manyetik Karıştırıcılı, Sıcaklık Kontrollü Isıtıcı

Çözeltiyi hazırlamak için çözeltilerde kullanılacak maddelerin ağırlıklarını tartmak amacıyla Fotoğraf 4.2’de resmi bulunan 0,01 gr hassasiyete sahip OHAUS-PIONEER markalı hassas terazi kullanılmıştır. Ayrıca laboratuvarında bulunan teflon musluklu ayırma hunisi, beherler, balon jojeler, cam borular ve mezürler gibi malzemeler kullanılmıştır.



Fotoğraf 4.2. Ohaus-Pioneer hassas terazi

Yağ asidi değerini belirlemek ve biodizel elde etmek için metil alkol (CH_3OH , Merck, %99,9 saflıkta), fenolftalein (CARLO ERBA), 2-Propanol (SIGMA-ALDRICH), tolüen ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$), potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır. Damıtılmış saf su ile de yıkama yapılmıştır.

Hibrit biyoyakıtı elde etmek için deri endüstrisi yağı ve kanola yağı kullanılmıştır. Bu iki yağı birbiri ile karıştırıp melez bir karışım elde etmemizin sebebi ise hayvansal yağların soğuk akış özelliklerini iyileştirmektir.

Hibrit biyoyakıt elde etmek için kullanılan hammadde yağlarından birisi olan deri endüstrisi yağı Bursa ilinde Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi tesislerinden temin edilmiştir. Bu tesislerde büyükbaş hayvanların derileri işlenmektedir. Büyükbaş hayvanların derilerinden elde edilen deri endüstrisi yağı normal şartlarda Fotoğraf 4.3'te görüldüğü gibi katı durumda bulunmaktadır.



Fotoğraf 4.3 Deri endüstrisi yağının katı haldeki görünümü

Ölçümlerde kaydedilen yağ asitleri ise %0,95 serbest yağ asidine mukabil gelen 1,9 mgKOH/g yağ asidi değeridir. Araştırmacılar yağ asidi değeri %1'in üzerinde olması halinde transesterifikasyon reaksiyonundan önce serbest yağ asidini %1'in altına indirmeyi ve bunun için ise ön iyileştirme yapılmasını tavsiye etmektedirler (Freedman, 1984). Fakat kullanılan deri endüstrisi yağının serbest yağ asidi %1'in altında olduğu için ön iyileştirmeye gerek duymadan direkt olarak transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmiştir. Kullanılan yağın yağ asidi dağılımı ise Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Deri endüstri yağının yağ asidi bileşenleri

Yağ asitleri	İsimler	Bileşenler (%)
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

Hibrit biyoyakıt elde etmek için kullanılan hammadde yağlardan birisi olan kanola yağı bir marketten temin edilmiş olup Orkide markadır. Kullanılan kanola yağının serbest yağ asidi 0,30 mgKOH/g olarak belirlenmiş olup %0,15 serbest yağ asidine mukabil gelmektedir. Kullanılan kanola yağının serbest yağ asidi %1'in altında olduğu için ön iyileştirmeye gerek duymadan direkt olarak transesterifikasyon reaksiyonuna geçilmiştir. Kullanılan yağın yağ asidi dağılımı ise Tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.2 Kanola yağının yağ asidi bileşenleri

Yağ asitleri	İsimler	Bileşenler (%)
C16:0	Palmitik	4,90
C16:1	Palmitoleik	0,21
C17:1	Heptadesenoik	0,10
C18:0	Stearik	2,00
C18:1n9c	Oleik	61,11
C18:2n6c	Linoleik	22,62
C18:3n6	Linolenik	6,80
C20:0	Araşidik	0,82
C20:2	Eikosadienoik	0,33
C20:3n6	Eikosatrienoik	0,29
C20:5n3	Eikosapentaenoik	0,16
C24:1	Nervonik	0,11

Hibrit (melez) biyoyakıt transesterifikasyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Yakıtı elde etmek için ağırlıkça %50 deri endüstrisi yağı ve %50 kanola yağı birbiriyle karıştırılmıştır. Alkol-yağ molar oranı 6:1 olarak seçilmiştir. Reaksiyonda kullanılan katalizör potasyum hidroksit (KOH) seçilmiştir. Kullanılan katalizör miktarı ise karışım yağının ağırlık miktarının %1'i kadardır. İlk aşamada kullanacağımız potasyum hidroksit alkol içerisine karıştırılarak 30 °C sıcaklıkta 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemi yapılarak çözelti elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada hazırlanan bu çözelti karışım yağının içerisine dökülerek transesterifikasyon işlemine başlanmıştır. Çalışmada transesterifikasyon reaksiyonunu için sıcaklık 62°C seçilirken süre 1 saat ve reaksiyon devri ise 650 rpm olarak seçilmiştir. Bir saatin akabinde karışım reaksiyon kabından ayırma

hunisine taşınmıştır. Ayırma hunisinde ayırma işlemi tamamlanması için 24 saat bekletilmiştir. Metil ester ile gliserin ayırma hunisi ile birbirinden ayrılmıştır. Fotoğraf 4.4'te transesterifikasyon reaksiyonu sonunda faz ayrılması görülmektedir.



Fotoğraf 4.4. Transesterifikasyon Reaksiyonu Sonunda Faz Ayrılması

Elde edilen ester saf su ile 65°C sıcaklıkta 3 defa yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra ester içerisinde kalan fazla su ve alkol tamamen ayrışması için 110°C sıcaklıkta 1 saat boyunca kurutma işlemi uygulanmıştır. Transesterifikasyon yöntemi ile üretilen hibrit biyoyakıtın son hali Fotoğraf 4.5'te görülmektedir.

Fotoğraf 4.5. Transesterifikasyon Yöntemi ile Üretilen Hibrit Bioyakıtı

Transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen hibrit bioyakıtın yakıt özellikleri Gebze-Kocaeli’de bulunan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM)’da analizi yapılarak belirlenmiştir. Analiz metotları ve sonuçları Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Hibrit Bioyakıtın Yakıt Özellikleri

ANALİZ	BİRİM	ANALİZ SONUCU	ANALİZ METODU
Yoğunluk 15°C	kg/m ³	879,2	EN ISO 12185
Kinematik Viskozite 40°C	mm ² /s	4,68	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	175	EN ISO 2719
Akma Noktası	°C	3	ISO 3016
Asit Sayısı	mg KOH/g	0,12	EN 14104
Setan Sayısı	-	54,7	EN ISO 5165
Sülfatlanmış Kül	% (m/m)	0,006	ISO 3987
Su	mg/kg	343	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	14	EN 12662
Bakır Şerit Korozyon (3 saat, 50 °C)	-	1a	EN ISO 2160
İyot Sayısı	g iyot/100 g	79	EN 14111
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C	0	EN 116
Üst Isıl Değer	MJ/kg	39,79	ASTM D 240
Karbon Kalıntısı	% (m/m)	0,28	EN ISO 10370
Yağlama Özelliği	µm	210	EN ISO 12156-1

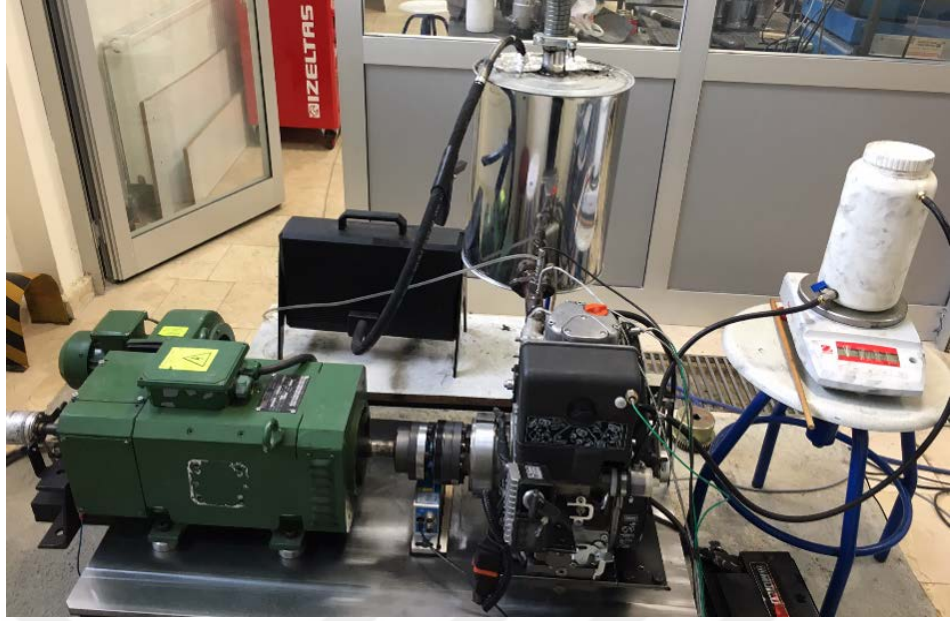
Elde edilen hibrit biyoyakıt, petrol kökenli ticari dizel yakıt ile sırasıyla %10 ve %30 ölçülerinde karıştırılarak sırasıyla HB10 ve HB30 dizel-hibrit biyoyakıt karışımları hazırlanmıştır. Fotoğraf 4.6'da HB10 ve HB30 yakıt karışımları görülmektedir.



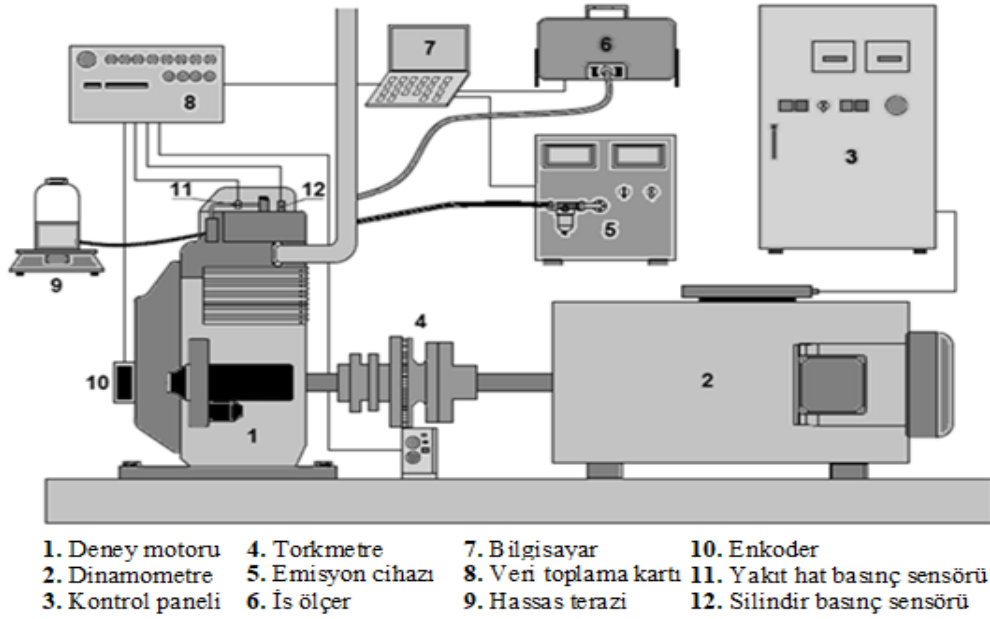
Fotoğraf 4.6. HB10 ve HB30 Yakıt Karışımları

4.2 Motor Performans, Egzoz Emisyon ve Yanma Testleri

Hibrit biyoyakıtın dizel motor karakteristiklerine etkisini tespit etmek için fakülte laboratuvarında mevcut olan Fotoğraf 4.7'de fotoğrafı ve Şekil 4.1'de şematik olarak çizimi gösterilmiş olan motor düzeneğinde testler yapılmıştır. Deney yakıtlarımız HB10 ve HB30 hibrit biyoyakıtlar ile referans yakıtımız olan motorin HB0 sırasıyla 1800 rpm ve 2400 rpm sabit devirlerde yine sırasıyla 3 Nm, 6 Nm, 9 Nm ve 12 Nm yüklerinde test edilmiştir.



Fotoğraf 4.7. Motor Test Sistemi



Şekil 4.1. Motor Test Sisteminin Şematik Görünümü

Deneşler için kullanılan Fotoğraf 4.8’da görülen Lombardini marka tek silindirli hava soğutmalı dizel motorun teknik özellikleri Tablo 4.4’te verilmiştir.



Fotoğraf 4.8. . Test motoru

Tablo 4.4’de deneyin gerçekleştirilmesinde kullanılan Lambordini marka motorun teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Test motorunun teknik özellikleri

Silindir hacmi	349 cm ³
Çap x kurs	82 mm x 66 mm
Sıkıştırma oranı	20,3/1
Maksimum tork	16,6 Nm/2400 dev/dak
Maksimum güç	5,5 kW/3600 dev/dak
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

Deneyleerde, motoru frenlemek için kullanılan Kemsan marka dinamometre 15 kW güce yükeleme yapabilmektedir. Motor yüklendikten sonra motorun yük

durumu tespit etmek için Fotoğraf 4.9’da görülen 4550A rotor ve 4541A stator sahip 20 Nm’ye kadar 0,01 Nm hassasiyetle ölçüm yapabilen Kistler marka tork ölçüm ünitesi kullanılmıştır.



Fotoğraf 4.9. Tork Ölçüm Ünitesi

Egzoz emisyonları ölçümünde dizel motorlardan kaynaklanan en önemli kirleticiler olan NO_x ve is emisyonlarını değerlendirilmiştir. Ölçümlerde Fotoğraf 4.10’da görülen Mobydick marka 5000 Kombi model egzoz gazı analizörü ile Mobydick marka is ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Fotoğraf 4.10. Egzoz Gaz Emisyon Cihazı

Çalışmada kullanılan egzoz gaz emisyon cihazının özellikleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Egzoz Gaz Analiz Cihazı ve İs Ölçerin Özellikleri

	Aralık	Hassasiyet
NO _x (ppm)	0-5000	1
İs Emisyonu(%)	0-100	0,1

Silindir basıncını ölçmek için yanma odasına kanal açılarak Fotoğraf 4.11'te resmi görülen Kistler marka A3 6052C model basınç sensörü yerleştirilmiştir. Basınç sensöründen 5064 şarj amplifikatörüne bağlanmıştır.



Fotoğraf 4.11. Silindir Basınç Sensörü ve Amplifikatörü

Yakıt hat basıncını ölçmek için yakıt hattına enjektöre yakın bir noktadan delik açılarak Fotoğraf 4.12’de görülen Kistler 6533 adaptöre Kistler 4065B piezorezistiv basınç sensörü yerleştirilmiş ve sensör Kistler 4665 amplifikatöre bağlanmıştır.



Fotoğraf 4.12. Yakıt Hattı Basınç Sensörü ve Yükseltici

Krank açısını, üst ölü noktayı ve motor devrini tespit etmek için 0,1 hassasiyette ölçüm yapabilen Fotoğraf 4.13’de görülen Kistler marka 2614B model enkoder kullanılmıştır.



Fotoğraf 4.13. Enkoder

Fotoğraf 4.14’de resmi görülen Kistler KiBox veri toplama sistemi tork sensörü, silindir basınç sensörü, yakıt hattı basınç sensörü, enkoder ve egzoz sıcaklığı sensörü sinyallerini kaydetmek ve işlemek için kullanıldı.



Fotoğraf 4.14. Kistler KiBox Veri Toplama Cihazı

4.3 Hesaplamalarda Kullanılan Eşitlikler

Deri endüstrisi yağı ve kanola yağından üretilmiş olan hibrit biyoyakıtının motor karakteristiklerine etkisini belirlemek için yapılan motor testlerinde elde edilen veriler aşağıdaki yöntem ve formüller kullanılarak efektif güç, özgül yakıt tüketimi, ısıl verim ve ısı salınım oranı hesaplanmıştır.

Efektif güç aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır;

$$P_e = M_e \times \omega = M_e \times \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (4.1)$$

P_e : Efektif güç (kW)

ω : Açısal hız (rad/s)

n : Motor devri (rpm)

Deneyler esnasında tüketilen yakıt miktarı kütleli olarak tespit edilmiştir. Herhangi bir zaman diliminde yakıt deposundaki yakıtın ağırlığı hassas terazi ile ve bir kronometre yardımı ile ölçülmüştür. Özgül yakıt tüketimi, hesaplanan kütleli yakıt debisinin motor gücüne oranlanması ile hesaplanmıştır. Motordan elde edilen faydalı gücün motora giren enerji miktarına oranı olarak tanımlanan ısı verim ise ÖYT ve yakıtın alt ısı değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tüketilen yakıtın kütleli debisi;

$$B_e = \frac{m_y}{t_y} \times 3600 \quad (4.2)$$

Özgül yakıt tüketimi;

$$\text{ÖYT} = \frac{B_e}{P_e} \quad (4.3)$$

Isıl verim;

$$\eta_t = \frac{3600}{\text{ÖYT} \times H_u} \quad (4.4)$$

Bu formüllerde;

B_e = Yakıt tüketimi (g/h)

t_y = Yakıt tüketimi ölçüm süresi (s)

m_y = t_y süresinde tüketilen yakıt miktarı (g)

ÖYT = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

η_t = Isıl verim

H_u = alt ısı değeri

Silindir içinde yanan yakıt ile alakalı önemli bilgilere ulaşmak için krank açısına bağımlı şekilde silindir basıncının ölçülmesi gerekmektedir (Heywood JB, 1988). Yakıtların yanma verileri ile ilgili kıyaslama yapabilmek için genellikle termodinamiğin birinci kanunu kullanan bir yanma analiz metodu olan ve yanma sürecinde yakıttaki kimyasal enerjinin açığa çıkış hızını gösteren ısı yayılım oranı kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan tek boyutlu basitleştirilmiş yanma modelinde silindir içindeki karışımın ideal gaz olduğu ve süreç boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Silindire giren enerji olarak ise yanma esnasında açığa çıkan enerji olarak kabul edilmiştir. Sıcaklıktaki ani değişimler, basınçtaki artış-azalış şeklindeki dalgalanmalar görmezden gelinmiş, dengede olmayan koşullar ihmal edilmiştir. Motordaki gerçekleşen yanma termodinamiğin birinci kanunu ile tanımlanabilir;

$$\frac{dU}{d\theta} = Q_n - W \quad (4.5)$$

Bu formüllerde;

dU = Sistemdeki iç enerji değişimi

Q_n = Isı yayılım oranı

W = Piston yer değiştirmesi sonucu yapılan iş

Isı yayılım oranı hesaplanırken sistemdeki kütle ve ısı transferinin etkisi çok küçük olduğu için yanma odasından silindir cidarlarına ve soğutma suyuna olan ısı transferi ihmal edilmiştir.

İç enerjide oluşan değişim:

$$\frac{dU}{d\theta} = m \times c_v \frac{dT}{d\theta} \quad (4.6)$$

W piston yer değiştirmesi sonucu karşılığında yapılan iş:

$$W = P \frac{dV}{d\theta} \quad (4.7)$$

$$\frac{dQ_n}{d\theta} = P \frac{dV}{d\theta} + mc_v \frac{dT}{d\theta} \quad (4.8)$$

Silindir içinde bulunan dolgu ideal bir gaz kabul edildiği takdirde ideal gaz denklemleri dikkate alınır, R katsayısı sabit olarak kabul edilirse ve türevi alınırsa:

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{d\theta} + V \frac{dP}{d\theta} \right] \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9 birleştirilir ise aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$Q_n = \left[\frac{c_v}{R} + 1 \right] P \frac{dV}{d\theta} + \frac{c_v}{R} V \frac{dP}{d\theta} \quad (4.10)$$

Özgül ısı oranı (k) denkleme dahil edilirse:

$$\frac{c_v}{R} = \frac{1}{k-1} \quad (4.11)$$

Eşitlik 4.10 ve Eşitlik 4.11 birleştirilir ise:

$$Q_n = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (4.12)$$

Isı yayılım oranı Denklem (4.12)'de belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde ulaşılan veriler grafik haline getirilip, sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tutuşma gecikmesini hesaplamak için enjektörün açılma zamanı ve yanma başlangıcının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada püskürtme başlangıcı hat basıncının enjektör açılma basıncı olan 207 bara ulaştığı krank açısı olarak alınmıştır. Yanma başlangıcı ve yanma sonu sırasıyla toplam ısı yayılımının %5 ve %90'ına karşılık gelmektedir. Yanma başlangıcı ile yanma sonu arasındaki fark yanma süresini vermektedir.

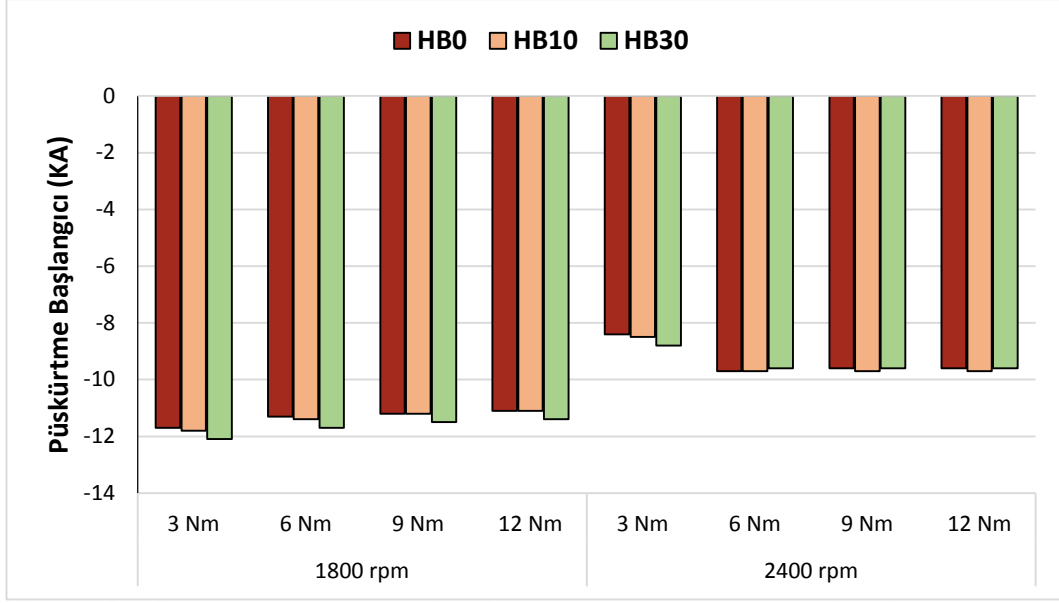
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneylerde elde edilen veriler yanma karakteristikleri, performans karakteristikleri ve egzoz emisyonları olmak üzere üç alt başlıkta incelenecektir.

5.1 Yanma Karakteristikleri

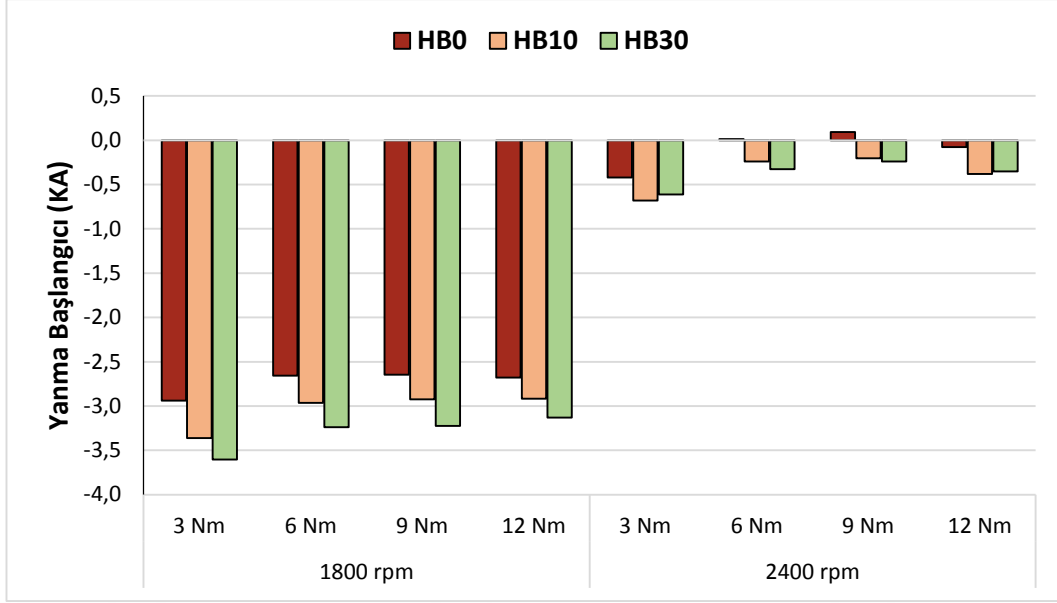
Yanma karakteristikleri yanma esnasında gerçekleşen olayları ve süreci tanımlamak için silindir içi basıncı, püskürtme ve yanma başlangıcı, tutuşma gecikmesi, yanma süresi, ısı yayılım oranı ve egzoz sıcaklığı gibi değişkenlerdir. İçten yanmalı motorlarda iş, silindir içerisinde yakıtın yanması neticesi ortaya çıkan basınç ile elde edilir. Bu nedenle basınç ne kadar artarsa elde edilen iş de artar. Bununla birlikte basıncın aşırı yükselmesi ve değişken olması da motor hasarlarına neden olabilir. Özellikle yanma neticesi ortaya çıkan maksimum basıncın üst ölü noktadan sonra olması istenir. Üst ölü noktadan önce basınç artışları negatif işi arttıracığından yakıtın silindire ne zaman püskürtüleceği, yanmanın ne zaman başlayacağı dolayısıyla tutuşma gecikmesi ve birim yakıt için yanma süresi gibi parametreler motor performansı için oldukça önemlidir.

Yakıtın viskozite ve yoğunluk gibi fiziksel özellikleri püskürtme başlangıcını değiştirmektedir. Viskozitesi ve yoğunluğu yüksek yakıtlar daha hızlı püskürme eğilimindedirler. Şekil 5.1’de tüm devir ve yükler için yakıtların püskürtme başlangıçları verilmiştir. Yakıtların püskürtme başlangıçları birbirine oldukça yakın olmakla birlikte biodizelin viskozitesi ve yoğunluğunun fazla olması nedeniyle B10 ve B30 yakıtlarında püskürtme dizel yakıtı göre sırasıyla yaklaşık $0,1^\circ$ KA ve $0,3^\circ$ KA önce başlamıştır. Şekilde görüldüğü üzere tüm yakıtlar için devir 1800 den 2400 rpm’e yükselince püskürtmede yaklaşık 2° KA gecikme gerçekleşmiştir. Aynı devirler için yük arttıkça yaklaşık $0,2^\circ$ KA sonra başlamaktadır.



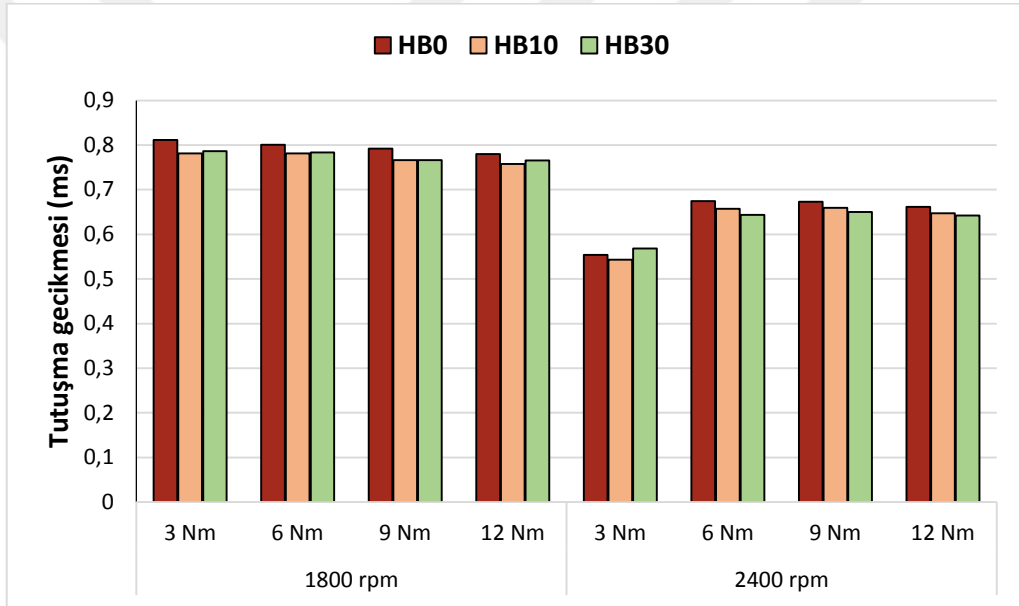
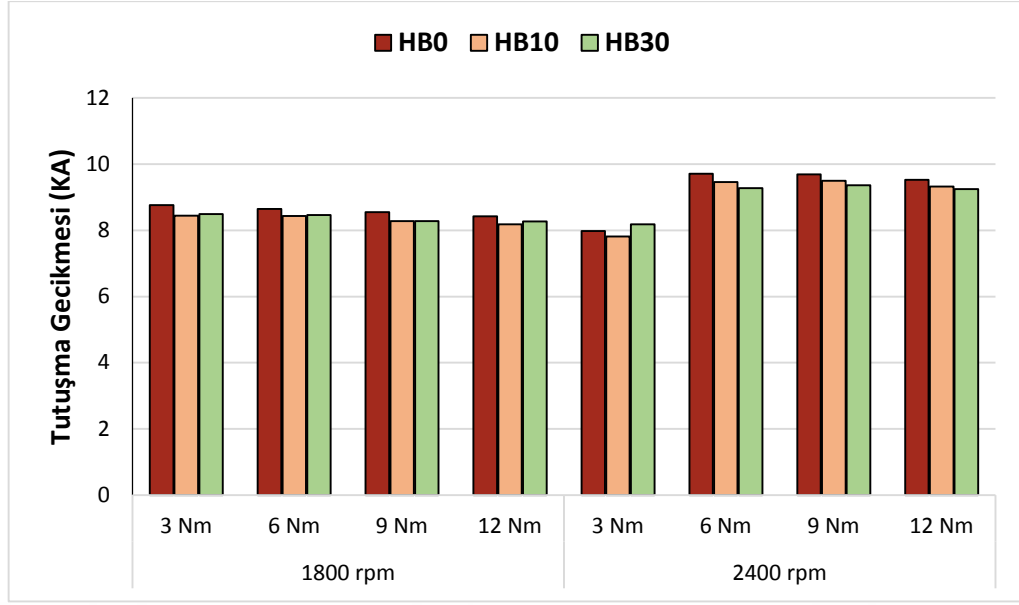
Şekil 5.1. Yakıtların Püskürtme Başlangıçları

Yanma başlangıcı en çok setan sayısı ile değişmekle birlikte püskürtme başlangıcı, oksijen içeriği, parlama noktası gibi yakıt özelliklerinden de etkilenmektedir. Setan sayısı arttıkça yakıtın kendi kendine tutuşma özelliği artmaktadır. Bununla birlikte özellikle silindire daha fazla yakıt püskürtüldüğü yani yükün arttığı durumlarda hava fazlalık katsayısı da düşeceğinden yakıtın oksijen içeriği yanma başlangıcı için önemli hale gelebilir. Ayrıca yakıtın silindire daha erken püskürtülmesi de görece daha düşük silindir sıcaklıkları ile karşılaşması anlamına gelmektedir ki bu da tutuşmayı geciktirir. Silindir içerisine püskürtülen yakıt buharlaşırken yanma odasından ısı çeker dolayısıyla silindir içi sıcaklığı bir miktar düşer. Dolayısıyla yakıtların yüksek uçuculuğu yani düşük parlama noktası tutuşmayı geciktirme eğilimindedir.



Şekil 5.2. Yakıtların Yanma Başlangıçları

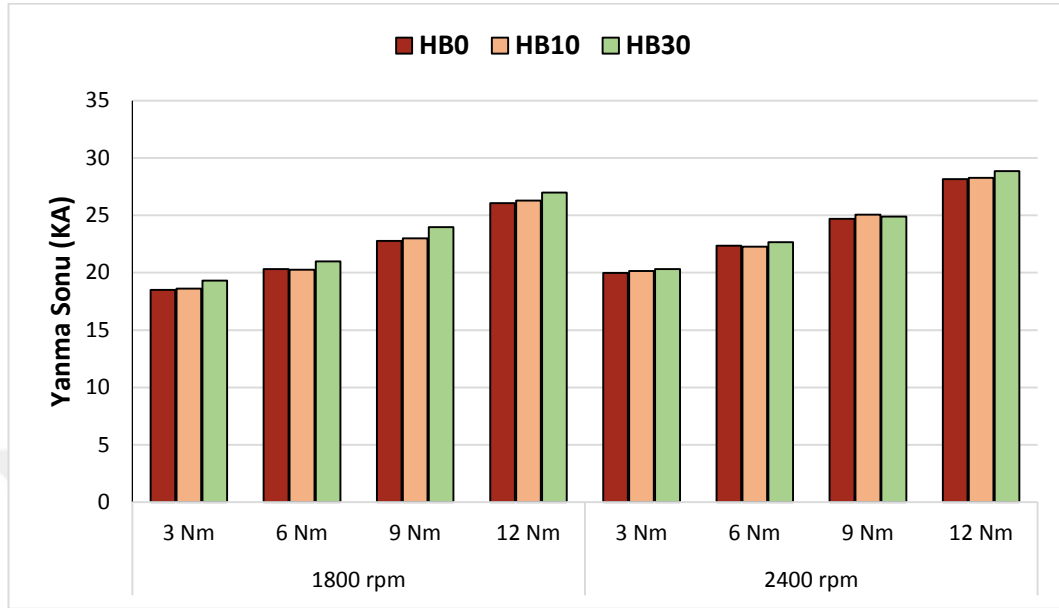
Şekil 5.2’de yakıtların yanma başlangıçları verilmiştir. Yakıtların yanma başlangıçları püskürtme başlangıçları ile aynı eğilimi izlemekle birlikte HB10 ve HB30 yakıtlarında yanma dizel yakıtı göre sırasıyla yaklaşık $0,3^\circ$ KA ve $0,6^\circ$ KA önce başlamıştır. Biodizel yakıtlarda setan sayısının düşük olmasına rağmen yanmanın önce başlaması püskürtmenin üst ölü noktaya oldukça yakın başlaması ile silindir içi sıcaklıklar arasında çok farklar olmaması ve dizel yakıtın düşük parlama noktası nedeniyle buharlaşması esnasında silindir içi sıcaklığını düşürmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tüm yakıtlar ve yükler için yanma 1800 rpm’de üst ölü noktadan yaklaşık 3° KA önce başlarken 2400 rpm’de üst ölü nokta civarında başlamıştır.



Şekil 5.3. a.Yakıtların Tutuşma Gecikme Süreleri (KA) b. Yakıtların Tutuşma Gecikme Süreleri (ms)

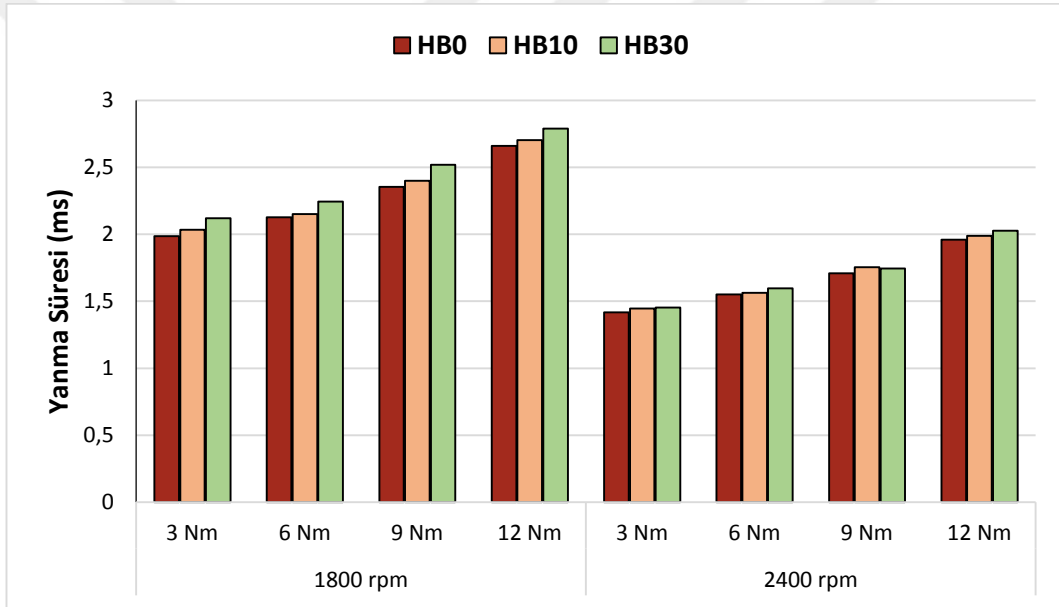
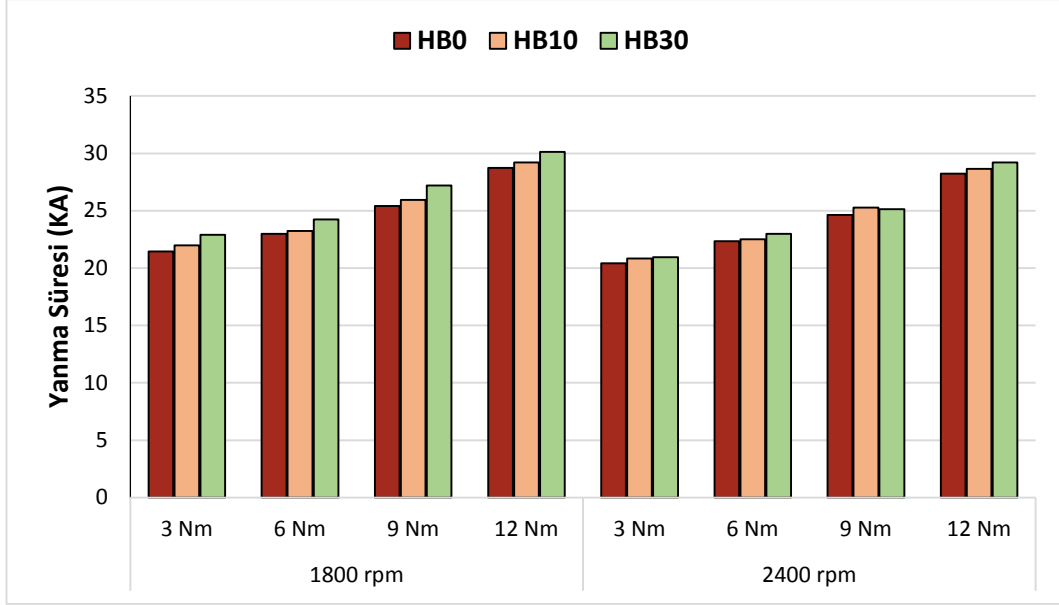
Deney sonuçlarında elde edilen yakıtların tutuşma gecikmesi değerleri Şekil 5.3.a 'da KA ve 5.3.b 'de ms cinsinden verilmiştir. Tutuşma gecikmesi değerleri tüm yakıtlar için birbirine çok yakın olmakla beraber dizel yakıtında genellikle 0,1 ° KA daha uzun sürmüştür. Yükteki artış tutuşma gecikmesini çok etkilememekte fakat devirdeki artış tüm yakıtlar için tutuşma gecikmesini yaklaşık 1 ° KA arttırmasına rağmen süre olarak bakıldığında yaklaşık 0,1 ms düşürmüştür. Bu durum, devirdeki artışla beraber artık gaz ve silindir cidar sıcaklığındaki artışa bağlı

olarak enjeksiyon zamanında daha yüksek şarj sıcaklığına atfedilebilir (Mohammed ve Nemit-Allah, 2013).



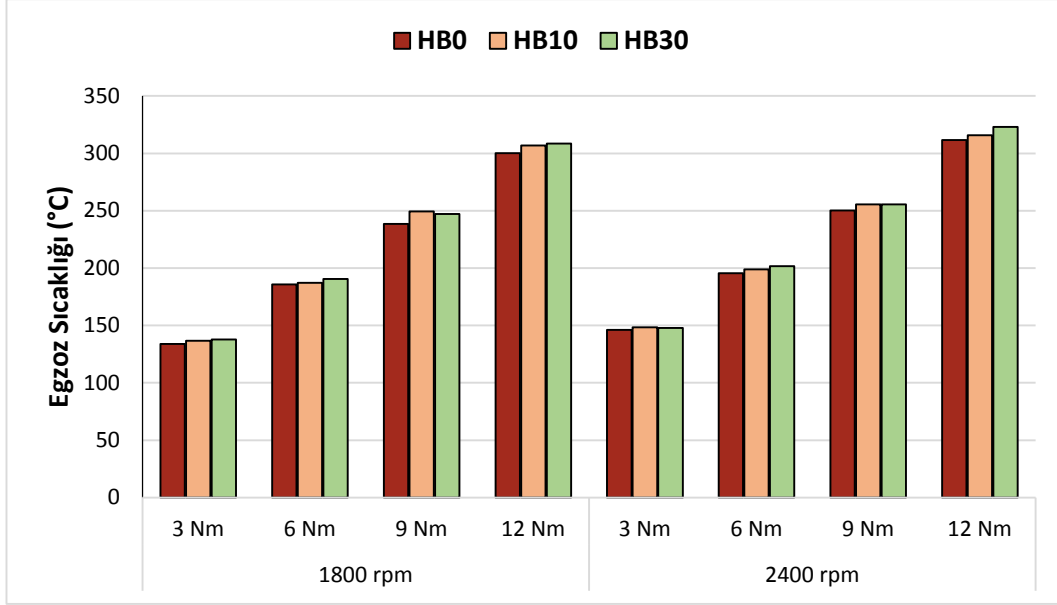
Şekil 5.4. Yakıtların Yanma Sonunun Gerçekleştiği Krank Açıları

Şekil 5.4. deney yakıtlarının her yük ve devir durumu için yanmanın sonlandığı krank açısı değerleri görülmektedir. Yakıtların yanma başlangıçları arasında dizel ile HB10 ve HB30 yakıtlarında sırasıyla yaklaşık $0,3^{\circ}\text{KA}$ ve $0,6^{\circ}\text{KA}$ olmasına rağmen yanma hemen hemen aynı krank açısında son bulmuştur. Dolayısıyla dizel yakıtının yanma süresi biodizel yakıtlardan daha kısa sürmüştür. Deney sonuçlarında elde edilen yakıtların yanma süresi değerleri Şekil 5.5.a'da KA ve 5.5.b'de ms cinsinden verilmiştir. Yanma süresi biodizel karışımlarında dizel yakıtına göre bir miktar uzun sürmüştür. Biodizel yakıtın ısı değeri dizel yakıtına göre düşük olması nedeniyle aynı moment çıkışı için daha fazla yakıt silindire püskürtüldüğünden dolayı bu beklenen bir sonuçtur.



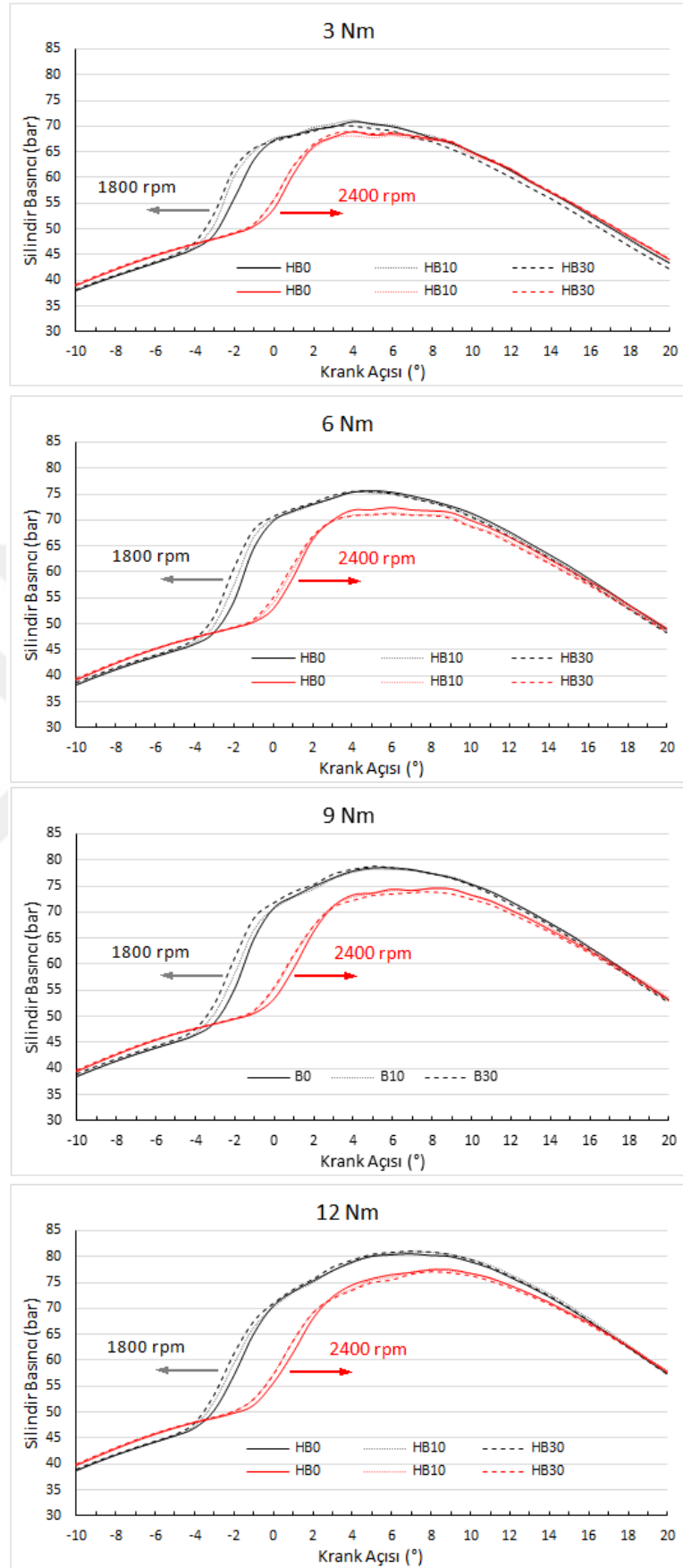
Şekil 5.5 a.Yakıtların Yanma Süreleri (KA) b.Yakıtların Yanma Süreleri (ms)

Şekil 5.6.'da deney yakıtlarının egzoz sıcaklık değerleri görülmektedir. Egzoz sıcaklıkları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Yük arttıkça silindire daha fazla yakıt gönderildiğinden egzoz sıcaklığı da artmaktadır. Aynı yük durumu için devir arttığında ise yaklaşık 10 C°'lik bir artış gerçekleşmiştir. Bu durumun 2400 rpm'de yanmanın üst ölü noktaya kaymasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

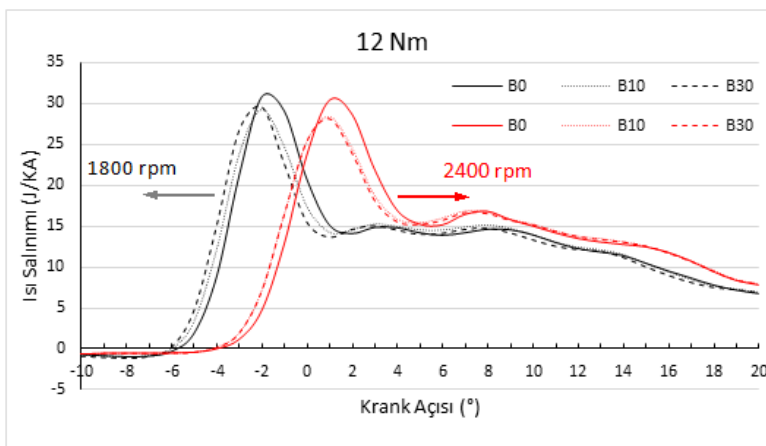
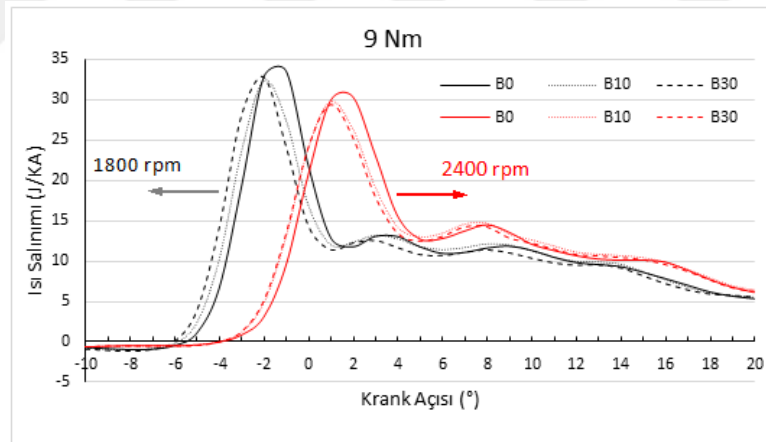
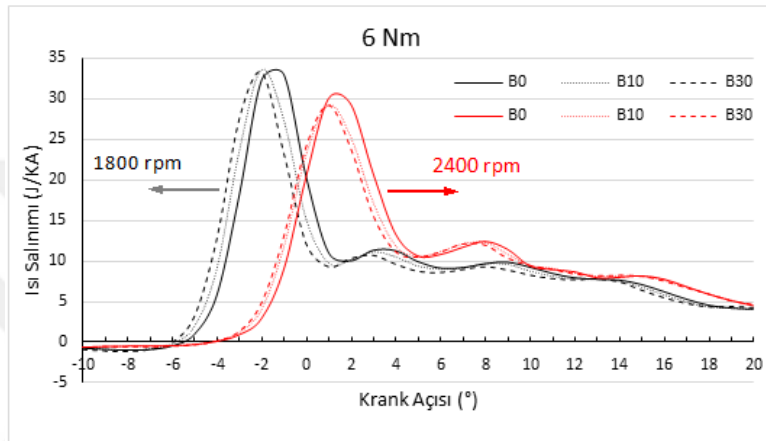
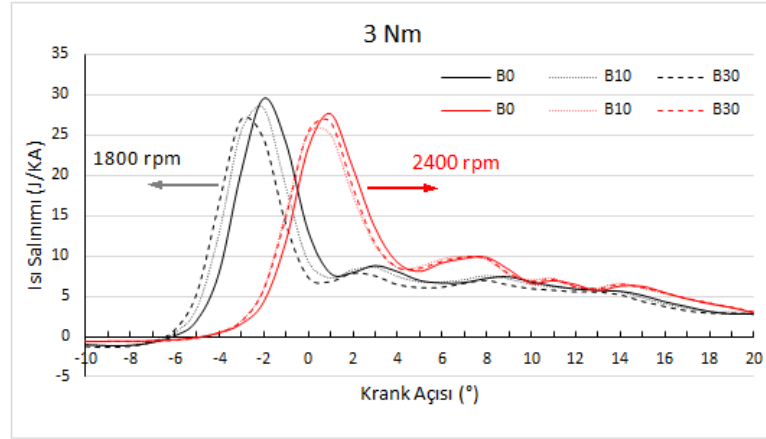


Şekil 5.6 Yakıtların Egzoz Sıcaklığı

Şekil 5.7’de deneylerde elde edilen silindir içi basınç grafikleri üst ölü noktadan 10° KA önce ve üst ölü noktadan 20° KA gösterecek şekilde verilmiştir. Tüm yükler için motor devri 1800 rpm’de iken maksimum silindir basınç değerleri 2400 rpm’e göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, 2400 rpm’de yanma ÜÖN civarında başlarken, 1800 rpm’de yanmanın üst ölü nokta (ÜÖN)’dan çok daha erken başlaması nedeniyle negatif işin artması buna bağlı olarakta aynı iş çıkışı için pozitif işin artırılması gerekliliği dolayısıyla daha fazla yakıt püskürtülmesidir. Bu durum özgül yakıt tüketim grafiklerinde de doğrulanmaktadır. Yük arttıkça silindire gönderilen yakıtta arttığından maksimum basınç değerleri de artmıştır. Ayrıca Şekil 5.2’de verilen yanma başlangıç değerlerinde gözüktüğü üzere biodizel yakıtların daha erken yanmaya başladığı basınç grafiklerinde de bariz bir şekilde görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.6’da verilen egzoz sıcaklığının, 2400 rpm’de 1800 rpm’e göre daha düşük silindir içi basınç değerlerine rağmen daha yüksek çıkmasının nedeni de, yine basınç grafiklerinde kırmızı ile gösterilen 2400 rpm için yanmanın ÜÖN’den daha sonra başladığı da bariz olarak gözükmektedir.



Şekil 5.7. Silindir İçi Basınç Değişim Grafikleri

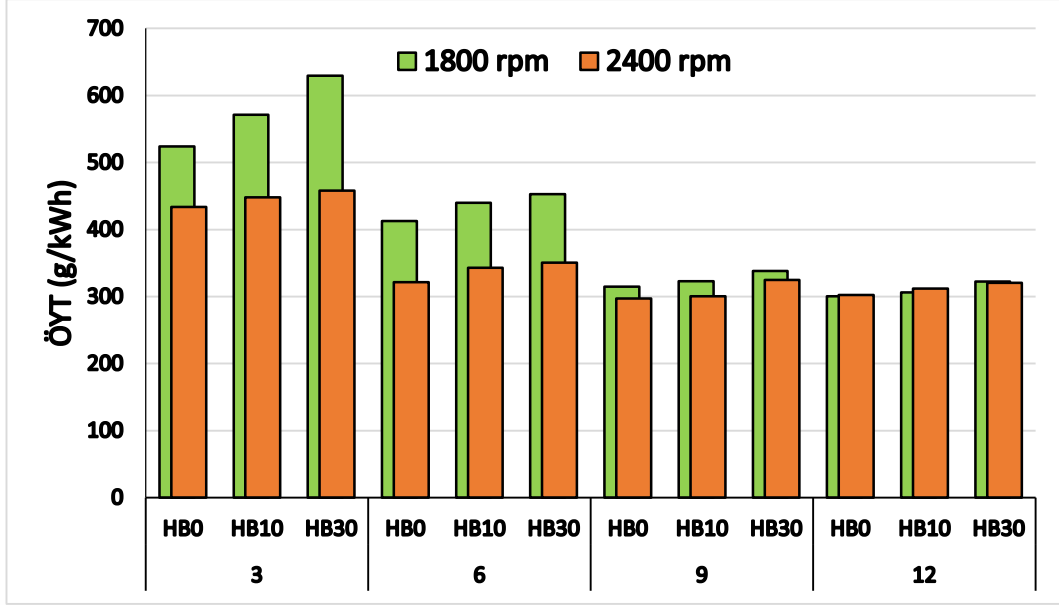


Şekil 5.8. Isı Çıkış Oranındaki Değişim

Şekil 5.8’de deneylerde elde edilen ısı çıkış oranı değişim grafikleri silindir içi basınca uyumlu olacak şekilde üst ölü noktadan 10° KA önce ve üst ölü noktadan 20° KA gösterecek şekilde verilmiştir. Kontrolsüz yanma safhasında yani tutuşma gecikmesi esnasında biriken yakıtın aniden yanması ile ısı çıkış oranı da hızla arttığından maksimum ısı çıkış oranları tutuşma gecikmesi değerleri ile paralellik göstermektedir. Şekilde de görüleceği üzere aynı devirler için yanma süresi içerisinde kontrolsüz yanma aşaması tüm yüklerde birbirine yakın gerçekleşmişken kontrollü yanma aşaması yük arttıkça artmaktadır.

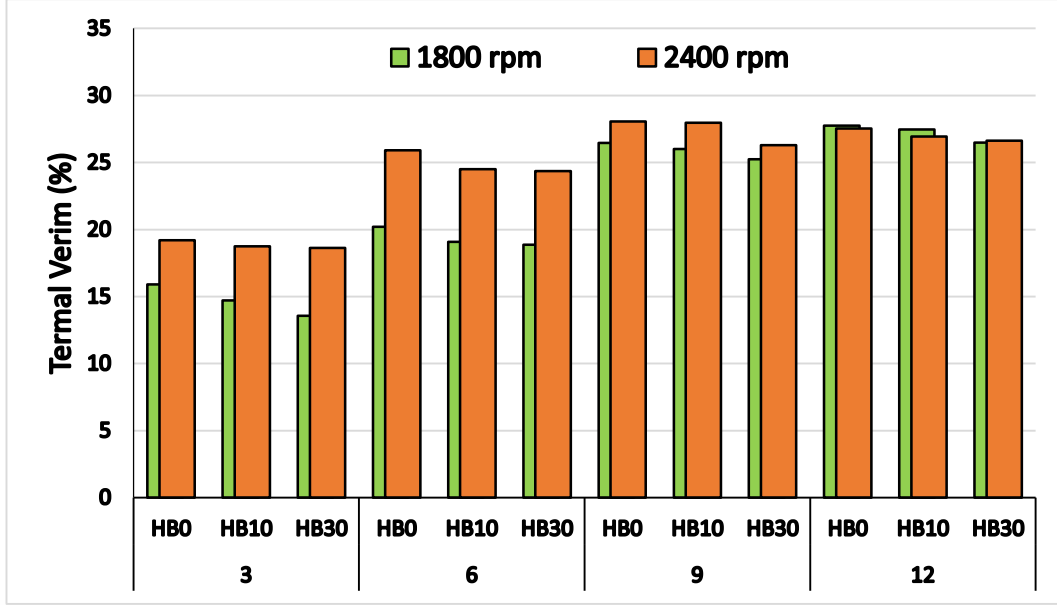
5.2 Performans Karakteristikleri

Şekil 5.9’da yakıtların özgül yakıt tüketim değerleri verilmiştir. Özgül yakıt tüketimi en çok yakıtın ısı değerine bağımlı olmakla birlikte püskürtme başlangıcı, tutuşma gecikmesi, yanma süresi ve yakıtın oksijen içeriği gibi diğer faktörlerden de etkilenmektedir. Test sonuçları biodizel ilavesi arttıkça biodizelin düşük ısı değerinden dolayı ÖYT’nin de arttığını göstermektedir. Aynı devirler için yük arttıkça ÖYT azalmaktadır. Düşük yüklerde, 1800 rpm’deki ÖYT değeri 2400 rpm’e göre daha yüksek iken yük arttıkça birbirine yaklaşmakta ve 12 Nm yükte hemen hemen eşitlenmektedir. Motor yükü 3 Nm den 12 Nm’ye çıktığında 1800 rpm’de ÖYT’deki azalma %45 civarında iken 2400 rpm’de %30 civarındadır. Şekil 5.7’de görüleceği üzere düşük yüklerde iki devir için birbirine yakın maksimum silindir basınçları söz konusuken yük arttıkça 1800 rpm için daha yüksek maksimum basınçlar oluşmuştur. Silindir içi basınçlarının artması, dolayısıyla silindir içi sıcaklığının artması nedeniyle 1800 rpm için yüksek yüklerde yanmanın iyileştiği dolayısıyla ÖYT nin 2400 rpm’e göre daha fazla azaldığı düşünülmüştür. Bu durum Şekil 5.10’da verilen yanma verimi grafiklerinde de görülmektedir.



Şekil 5.9. Özgül Yakıt Tüketim Değişimi

Şekil 5.10'daki termal verim grafiklerinde görüldüğü üzere dizel yakıtta biodizel ilavesi ile her yük ve devir durumu için yanma verimi bir miktar azalmıştır. Bu durum üretilen biodizelin düşük ısı değerine bağlanabilir. Bununla birlikte yük arttıkça biodizelin oksijen içeriği nedeniyle termal verim değerleri birbirine oldukça yaklaşmıştır. Devirdeki artışta yine termal verimi özellikle düşük yüklerde iyileştirmiştir.

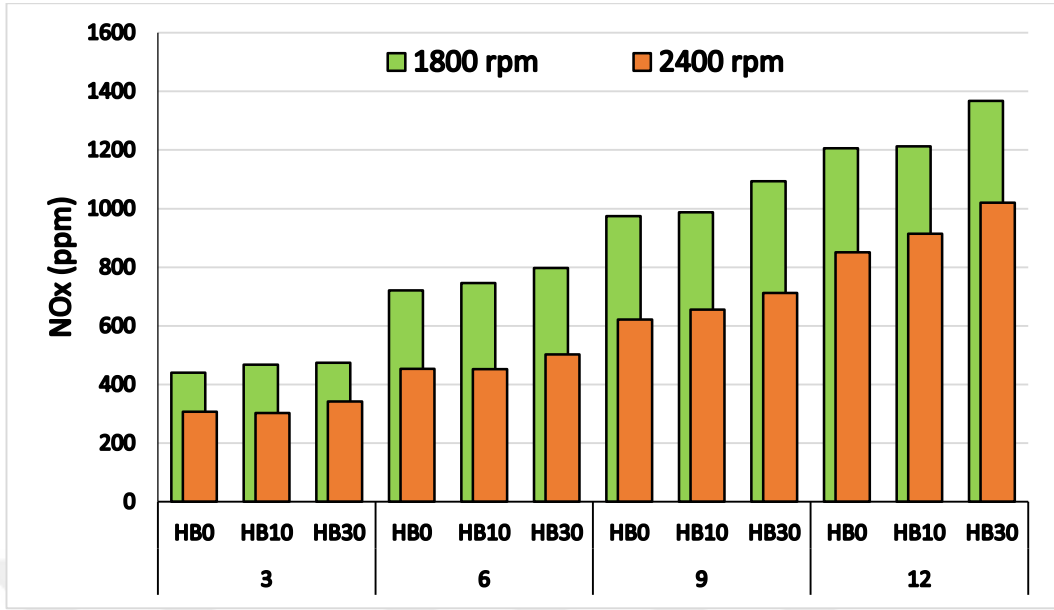


Şekil 5.10. Termal Verim Değişimi

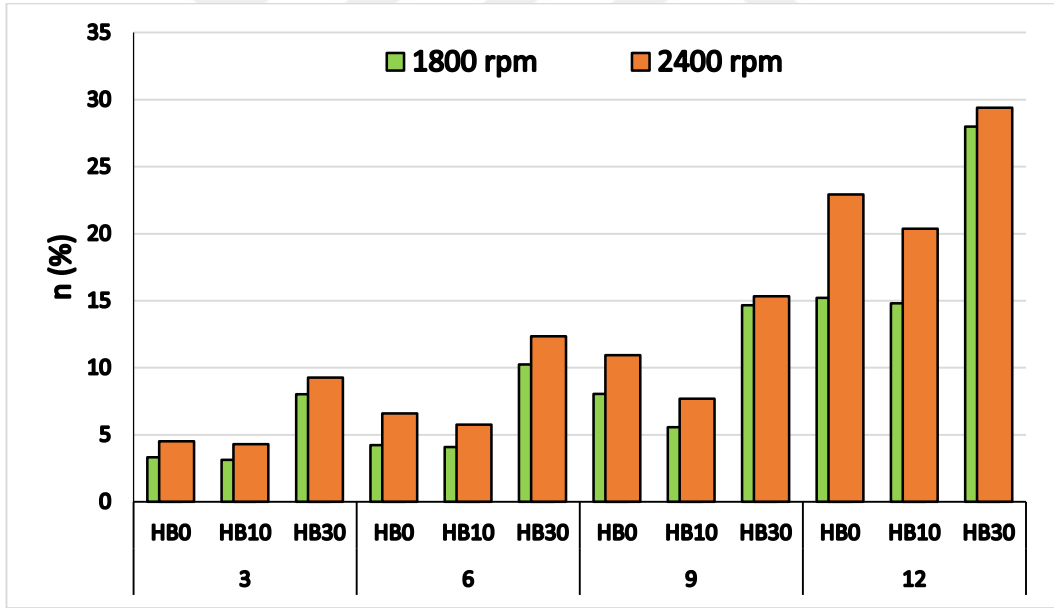
5.3 Egzoz Emisyonları

Dizel motorlardan kaynaklı emisyonlar CO₂, H₂O, NO_x, SO₂ gibi tam yanma ürünleri ve CO, HC, is gibi eksik yanma ürünlerinden oluşur. Dizel motorlar genellikle yüksek HFK oranlarında çalıştıkları için hava yetersizliğinden kaynaklı CO ve HC emisyonları çok düşüktür. Ayrıca günümüzde yakıt içerisindeki kükürt oranı da azaltıldığından is ve NO_x emisyonları dizel motorlar için incelenmesi gereken en önemli emisyonlardır.

NO_x emisyonları oluşumu en çok silindir içi sıcaklığına dolayısıyla silindir içi basınçlarına bağlı olmakla birlikte bu sıcaklığı ve basıncı etkileyen püskürtme zamanı, yanma süresi, türbülans, yakıt özellikleri ve silindir içindeki oksijenin yerel konsantrasyonuna bağlıdır. Şekil 5.11’de deney sonuçlarında elde edilen NO_x değerleri grafiği sunulmuştur. Tüm deney koşulları için dizel yakıtı üretilen biodizel ilavesi arttıkça NO_x değerini bir miktar arttırmıştır. Bu durum, yakıtların silindir içi maksimum basınç değerlerinin birbirine oldukça yakın olması ve bununla birlikte biodizel ilavesinin Şekil 5.5’de görülen yanma sürelerini bir miktar arttırmasına bağlanabilir. Motor yükünün arttırılması silindire gönderilen yakıtın artması, dolayısıyla yanma sonu sıcaklıklarının yükselmesi nedeniyle NO_x emisyonlarını arttırmıştır. Motor devrinin artışı ile NO_x emisyonlarındaki düşüş ise Şekil 5.7’deki basınç grafiklerinde görüleceği üzere 1800 rpm’deki basınçların 2400 rpm’e göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.11. NO_x Değişimi



Şekil 5.12. İs Emisyonu Değişimi

Yakıttaki hidrokarbon ve karbon parçacıklarının tamamlanmamış yanması is emisyonuna neden olur. Bu nedenle yakıtın oksijen içeriğindeki artışın yanma sürecini iyileştirdiği için is emisyonlarını azaltmada olumlu bir etkisi vardır. Ayrıca yakıtın viskozitesinin ve parlama noktasının yüksek olması is emisyonlarını artırır (Doğan, 2012). Motor devri ve yükünün test yakıtlarının is emisyonlarına etkisi Şekil 5.12'de verilmiştir. Tüm test koşullarında is emisyonu dizel yakıtındaki

biodizel içeriğinin %10 olması durumunda dizele göre bir miktar düşerken, %30 olması durumunda artmıştır. HB10 yakıtının dizele göre artan oksijen içeriğinin yanmayı bir miktar iyileştirdiği dolayısıyla is emisyonlarında azaltıcı etkisi bulunduğu, bununla birlikte biodizel ilavesi arttığında viskozite ve parlama noktasının artması nedeniyle HB30 yakıtının is emisyonlarını yükselttiği düşünülmüştür. Ayrıca yük arttıkça silindire gönderilen yakıtta arttığından ve devirdeki artış yanma süresini azalttığından is emisyonlarında artış beklenen durumdur.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmada deri endüstri yağlarından elde edilen biodizelin yüksek çıkan akma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası değerlerini düşürmek amacıyla deri endüstri yağı ve kanola yağı karıştırılarak hibrit biodizel üretilmiştir. Üretilen hibrit biodizel yakıt ticari dizel yakıt ile karıştırılarak HB10 ve HB30 yakıtları elde edilmiş ve farklı yük ve devirlerde motor testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Deri endüstri yağı ve kanola yağı karıştırılarak üretilen hibrit biodizel ile deri endüstri yağından üretilen biodizelin akma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası özelliklerini iyileştirirken setan sayısını düşürmüştür.
- HB10 ve HB30 yakıtlarında püskürtme dizel yakıtı göre sırasıyla yaklaşık $0,1^{\circ}$ KA ve $0,3^{\circ}$ KA önce başlarken yanma ise yaklaşık $0,3^{\circ}$ KA ve $0,6^{\circ}$ KA önce başlamıştır.
- Tutuşma gecikmesi değerleri tüm yakıtlar için birbirine çok yakın olmakla beraber dizel yakıtında genellikle $0,1^{\circ}$ KA daha uzun sürmüştür. Yanma süresi ise biodizel karışımlarında dizel yakıtı göre bir miktar uzun sürmüştür.
- Hibrit biodizel ilavesi arttıkça biodizelin düşük ısı değerinden dolayı ÖYT artarken termal verim bir miktar azalmıştır.
- Tüm deney koşulları için dizel yakıtı üretilen hibrit biodizel ilavesi arttıkça NO_x değerini bir miktar arttırmıştır.
- Isı emisyonu dizel yakıtındaki biodizel içeriğinin %10 olması durumunda dizel göre bir miktar düşerken, %30 olması durumunda artmıştır.
- Tüm test sonuçları değerlendirildiğinde HB10 yakıtının özellikle motorun maksimum momentinin elde edildiği devir olan 2400 rpm'de ve yüksek yüklerde çalıştırıldığı koşullarda hem düşük emisyon hem de yüksek performans çıkışı sağladığından kullanımı öne çıkmıştır.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda genellikle hayvansal atıklardan üretilen biodizellerin temel sorunlarından olan akma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktasının iyileştirilmesi için hammaddeye eklenen kanola yağı ilavesi istenilen sonucu vermekle birlikte özellikle setan sayısını azaltmıştır. Bu nedenle bundan sonra yapılacak çalışmalarda setan sayısında değişim olmadan bu özellikleri

iyileştirecek farklı katkılar çalışılabilir. Ayrıca hammaddeye katılacak bu katkıların değişik oranları optimize edilebilir.



7. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.

- Abdulvahitoğlu, A., & Tüccar, G. (2017). Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak karpuz çekirdeği biyodizelinin değerlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1): 211-216.
- Akgün, G., Bayındır, H., & Aydın, Z. (2009). Hayvansal Yağlardan Biodizel Üretimi ve Teknik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 2009, Diyarbakır.
- Akın, E. (2005). *Türkiye biyoyakıt (biyodizel-biyoetanol) raporu*, Ankara.
- Aktaş, A., & Sekmen, Y. (2008). Biyodizel ile çalışan bir dize lmotorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (1): 199-206
- Akyarlı, A. (2004). Biyodizelin yakıtın uluslar arası standartlarda üretimi. *Bioenerji Sempozyumu*, İzmir.
- Alpgiray, B., & Gürhan, R. (2007). Kanola Yağının Dizel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (3):231-239.
- Altun, Ş., & Gür, A. M. (2005). Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35-42.
- Altun, Ş., & Öner, C. (2013). Gaseous emission comparison of a compression-ignition engine fueled with different biodiesels. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(2), 371-376.
- Artukoğlu, B.D. (2006). Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve özelliklerini geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Aybastier, Ö. (2010). Bitkisel atık yağların karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 1,2.
- Behçet, R., Aydın, S., & Çakmak, A. (2012). Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.*, 2(4): 55-62.
- Can, Ö., Öztürk, E., & Yücesu, H.S. (2017). Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 109, 73-82.
- Ciolkosz, D. (2013). Renewable and Alternative Energy. *Pennstate Extension*. <https://extension.psu.edu/renewable-and-alternative-energy-origins-and-meaning-of-net-metering>.
- Çelikten, İ., & Metin Gürü, M. (2011). Petrodizel ve Kanola Biyodizeli Performans ve Emisyon Kriterlerinin Mangan Esaslı Katkı Maddeleriyle Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3): 643-648.
- Çengelci, E. (2011). Hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

- Çildir, O., & Çanakçı, M. (2006). Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (2): 367-372.
- Dağdelen, A., & Yüksel, Y. (2016). Yağlı tohum çeşidi ve transesterifikasyon yöntemlerinin biyoyakıt üretimine ve kalitesine etkileri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 107-117.
- de Freitas, O. N., Rial, R. C., Cavalheiro, L. F., dos Santos Barbosa, J. M., Nazário, C. E. D., & Viana, L. H. (2019). Evaluation of the oxidative stability and cold filter plugging point of soybean methyl biodiesel/bovine tallow methyl biodiesel blends. *Industrial Crops and Products*, 140, 111667.
- Demirbas, A. (2003). Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Methods A. Survey. *Energy Conversion and Management*, 44, 2093-2109.
- Doğan, O. (2012). Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Emiroğlu, A. O., Keskin, A., & Şen, M. (2018). Deri Sanayi Atıklarından Metil Ester Elde Edilmesi. *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)25-27*.
- 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. *TASABE*, 25, 1472-1477.
- Gülüm, M. (2014). Çeşitli Üretim Parametrelerinin Mısır ve Fındık Yağından Üretilen Biyodizellerin Önemli Yakıt Özelliklerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., & Özsert, İ. (2008). Turbo Şarjlı Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Gazi Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Dergisi*, 23(1):207-213.
- Heywood, J. B. (1998). Internal combustion engines Fundamentals. *1st ed., McGraw Hill Book Company*, New York.
- Horuz, A., Korkmaz, A., & Akınoğlu, G. (2015). Biyoyakıt Bitkileri ve Teknolojisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3 (2): 69 - 81.
- Işıklı, İ., Yamık, H., & Kurban, M. (2011). Biyodizelin dizel santrallerde kullanım analizi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 16-18.
- İnternet Adresi: <http://www.biyokure.org/> (Erişim Tarihi:24.01.2021).
- İnternet Adresi: <https://www.academia.edu> (Erişim Tarihi:10.02.2021).
- Karahan, G. (2006). Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkileri. *Tübitak Mam Enerji Enstitüsü*, 20-51.
- Karaosmanoğlu, F. (2002). Türkiye için çevre dostu yenilebilir bir yakıt adayı biyodizel. *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, ICC1 2002 Özel Sayısı, 10, 50-56, İstanbul.
- Keskin, A., Gürü, M., & Altıparmak, D. (2007). Tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımının alternatif dizel yakıtı olarak incelenmesi. *Gazi Üniv Müh. Mim Fak. Der.*, 22(1): 57-63.

- Keskin, A., Şen, M., & Emiroğlu, A. O. (2020). Experimental studies on biodiesel production from leather industry waste fat and its effect on diesel engine characteristics. *Fuel*, 276, 118000.
- Koç, M. (2011). Biyodizel üretimine uygun Türkiye’de yetişen ve yetişebilecek bitkilerin ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi. *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Mehmet, I. Ş. I. K., Aydın, H., Yücel, H., Budak, N., Oktay, H., & Bayındır, H. (2016). Aspir ve Kanola Biyodizelin Kullanımının Egzoz Emisyon ve Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, 3(1):1-11.
- Mohammed, E. K., & Nemit-Allah, M. A. (2013). Experimental investigations of ignition delay period and performance of a diesel engine operated with Jatropha oil biodiesel. *Alexandria Engineering Journal*, 52(2), 141-149.
- Mutlu, L., Yavuz, H., & Bayrakçeken, H. (2006) Biyodizel yakıtların performanslarının karşılatılması. 9. *Yanma Sempozyumu*, 40-49, Kırıkkale.
- Nişancı, S. (2007). Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Oral, F., & Behçet, R. (2014). Dizel Motor Performans ve Emisyonları Üzerindeki Biyodizel-Dizel Karışım Yakıtların Etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1):15- 23.
- Öğüt, H., & Oğuz, H. (2006). Üçüncü Milenyumun Yakıtı Biyo- dizel. *Yayın No: 745 Nobel Yayın Dağıtım*, ISBN: 975-591- 730-6, II. Baskı 190 s,66.
- Özğünay, H., Çolak, S., Zengin, G., Sari, Ö., Sarikahya, H., & Yüceer L. (2007). Performance and emission study of biodiesel from leather industry preflshings. *Waste Manage.*, 27, 1897-1901.
- Özsezen, N. A., & Çanakçı, M. (2009). Atık palmye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir biyodizel motorda performans ve yanma. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 24(2): 275-284.
- Öztürk, Ö. (2007). Dizel motorlarında karışmsız olarak kullanılan biyodizellerin motor performansına olan etkilerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Peterson, CL. (1986). Vegetable oils as a diesel fuel: status and research priorities. *T. ASABE.*, 29, 1413-1422.
- Sabancı, A., Ören, M.N., Yaşar, B., Öztürk, H., & Atal, M. (2010). Türkiye’de biyodizel ve biyoetanol üretiminin tarım sektörü açısından değerlendirilmesi. *Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*, Ankara.
- Sekmen, Y., & Şen, S. (2016). Hamsi (*Eugraulis encrasicolus*) yağından biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(1): 19-27.
- Şanlı, H. (2014). Atık kızartma yağlarının karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi. *Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Taymaz, I., & Coban, M. (2013). Performance and emissions of an engine fuelled with a biodiesel fuel produced from animal fats. *Thermal Science*, 17(1): 233-240.
- Türkay, S. (2005). Biyodizel üretim teknolojileri. *Türkiye’de biyodizel üretimindeki mevcut durum sorunlar ve öneriler çalıştayı*, 2 Aralık, Ankara.

Yamık, H. (2002). Diesel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.*

