



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PROPANOLÜN BİR DİZEL MOTORDA ASPİR BİYODİZELİ KULLANIMINA  
ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**Zülfü TOSUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**MART –2017**

**BATMAN**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Zülfü TOSUN tarafından hazırlanan “ Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizeli kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması ” adlı tez çalışması 03/03/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

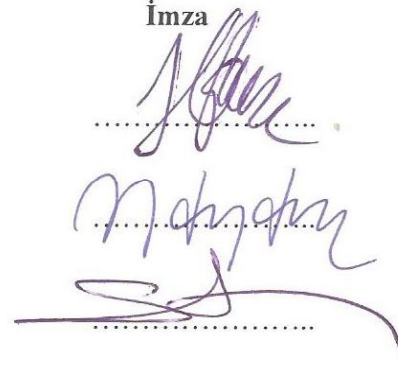
#### Danışman

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

#### Üye

Doç. Dr. Şehmus ALTUN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Doç. Dr. Bahattin IŞCAN  
FBE Müdürü V.  


## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Zülfü TOSUN

03/03/2017

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# PROPANOLÜN BİR DİZEL MOTORDA ASPİR BİYODİZELİ KULLANIMINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Zülfü TOSUN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin AYDIN  
2017, 89 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR  
Doç. Dr. Hüseyin AYDIN  
Doç. Dr. Şehmus ALTUN

Dizel yakıtı, günümüzde birçok araçta kullanılmaktadır. Petrolün gün geçtikçe azalması ve ayrıca oluşturmuş olduğu çevre kirliliğinden dolayı alternatif ve yenilenebilir yakıt çalışmaları gün geçtikçe farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Alternatif yakıtların özellikle yenilenebilir olması en çok üzerinde durulan hususlardan biridir. Çünkü yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu, tükenmeyen ve çevrede kolayca bozunabilir özelliklere sahiptir. Bu çalışmada aspir yağından biyodizel elde edilmiştir. Elde edilen biyodizel farklı oranlarda propanol ile karıştırılarak bir dizel motorda yakıt olarak test edilmiştir. Hem biyodizelin hem de propanol ilavesinin motor performansı, yanma parametreleri ve kirlenici egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak test edilmiştir.

Test sonuçları karşılaştırıldığında biyodizel ve propanol karışımı yakıtların motor performansı, özgül yakıt tüketimi ve emisyon değerleri dizele göre çok büyük bir farklılık göstermemiştir. Ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşüşlerin olduğu görülmektedir. Yanma sonucunda yükün artmasına paralel olarak silindir basıncında, ısı salınımı değerlerinde, toplam ısı salınımı ve silindir içi ortalama gaz sıcaklığı değerlerinde yükün artmasına paralel olarak artışların olduğu görülmektedir.

Deney sonuçlarından hareketle aspir biyodizeli ve propanol karışımlarının belirli oranlarda dizele katılarak alternatif yakıt olarak kullanılabilceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler** : Alternatif yakıt, biyodizel, emisyonlar, motor performansı, propanol,

## **ABSTRACT**

### **M. SC. THESIS**

#### **THE EXPERIMENT ON HOW PROPANOL EFFECTS THE USE OF ASPIR BIODIESEL ON A DIESEL ENGINE**

**Zülfü TOSUN**

#### **THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN  
2017, 89 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Hasan BAYINDIR**

**Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN**

**Assoc. Prof. Dr. Şehmus ALTIN**

Nowadays diesel fuel is used in many vehicles. There are increasing and various studies on alternative and reusable fuel because of the reduction in the amount of petroleum and the contamination it causes. One of the most important points of the studies on alternative fuels is their being reusable as reusable fuels are environment friendly, boundless and they have decomposable features in the environment. Within this study, biodiesel is extracted from aspir oil. The biodiesel acquired is mixed with different amounts of propanol and tested on a diesel engine as a fuel. The engine performance, combustion parameters and contaminating exhaust emissions of both biodiesel and propanol mixture have been experimented.

When the results are compared, there isn't much difference between diesel engines and biodiesel-propanol mixture fuels in terms of engine performance, fuel consumption and emission proportions. But a decrease in NO<sub>x</sub> emission has been observed. It can be seen that there is an increase on cylinder pressure, heat oscillation rates, total heat oscillation and average gas heat inside cylinder in accordance with the rise in load.

As a result, it can be said that aspir biodiesel and propanol mixture can be added to diesel in certain proportions as an alternative fuel.

**Keywords:** Alternative fuel, biodiesel, emissions. engine performance, propanol.

## ÖNSÖZ

“Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizeli kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması” konusunda çalışmama olanak sağlayan değerli tez hocam Sayın Doç.Dr. Hüseyin AYDIN’a, çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen sevgili hocam Sayın Arş. Gör. Dr. M. Zerraki IŞIK’a teşekkürlerimi sunmayı bir borç biliyorum.

Tez çalışmam sırasında benden desteklerini esirgemeyen eşim Aliye TOSUN ve arkadaşım Mak. Müh. Engin SÜMER’e de teşekkür ediyorum. Bugünlerime gelmeme sebep çok değerli annem ve babama da en derin saygılarımı sunuyorum.



Zülfü TOSUN  
BATMAN-2017

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enerji Kaynakları.....	2
1.1.1 Yenilenebilir enerjinin önemi.....	4
1.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları.....	4
1.2 Fosil Kökenli Yakıt Kullanımındaki Karşılaşılan Sorunlar .....	5
1.3 Dizel Motorlarında Yanma Olayının Safhaları .....	7
1.3.1 Tutuşma gecikmesi .....	7
1.3.2 Kontrolsüz (ani) yanma .....	8
1.3.3 Difüzyon kontrollü yanma .....	9
1.3.4 Art yanma.....	9
1.4 Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtların Karşılaştırılması .....	9
<b>2. BİYOYAKITLAR VE GELİŞİMİ</b> .....	<b>11</b>
2.1 Dünya Biyoyakıt Üretimi .....	12
2.2 Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımı .....	12
2.3 Biyodizelin Çeşitleri ve Standartları .....	14
2.4 Dünya Biyodizel Üretimi .....	15
2.5 Türkiye'nin Biyodizel Üretimi ve Gelişimi .....	16
2.6 Biyodizelin Kullanım Alanları .....	16
2.7 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları .....	17
<b>3. BİYODİZEL</b> .....	<b>19</b>
3.1 Biyodizel Nedir? .....	19
3.2 Biyodizelin Özellikleri .....	20
3.2.1 Yoğunluk.....	20
3.2.2 Parlama noktası .....	20
3.2.3 Yağlayıcılık.....	21
3.2.4 Kalori değeri.....	21
3.2.5 Yağlama yağının seyrelmesi .....	21
3.2.6 Soğukta akış özelliği.....	21
3.2.7 Toksik etkisi .....	22
3.2.8 Setan sayısı.....	22
3.2.9 Su İçeriği.....	22
3.2.10 Isıl değer.....	23
3.2.11 Biyobozunabilirlik .....	23

3.2.12 Oksidasyon kararlılığı.....	23
3.2.13 İyot sayısı .....	23
3.2.14 Kinematik viskozite .....	23
3.2.15 Karbon artığı .....	24
3.2.16 Kükürt içeriği .....	24
3.4 Biyodizel Emisyonları.....	24
3.5 Biyodizelin Malzeme Uyumu:.....	25
3.6 Biyodizelin Depolanması .....	25
3.7 Biyodizelin Elde Edilmesinde Kullanılan Hammaddeler .....	26
3.8 Biyodizelin Yakıt Kalitesinin Arttırılması .....	27
<b>4. ASPİR BİTKİSİ VE YAĞI .....</b>	<b>28</b>
4.1 Aspir Bitkisinin Tarihi .....	29
4.2 Aspir Bitkisinin Yetiştirilmesi.....	30
4.3 Aspir Yağının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	31
4.4 Yaygın Olarak Kullanılmayan Alternatif Yakıtlar .....	31
4.4.1 Alkoller .....	31
4.4.2 Alkol yakıtların avantaj ve dezavantajları .....	33
<b>5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>34</b>
5.1 Biyodizelin Motorlarda Kullanımı.....	38
<b>6. MATERYALVE METOD.....</b>	<b>42</b>
6.1 Deneysel Materyaller .....	42
6.1.1 Deney motoru.....	42
6.1.2 Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	44
6.1.3 Hassas terazi.....	45
6.1.4 Termometre.....	45
6.1.5 Metil alkol (metanol) .....	46
6.1.6 Katalizör.....	46
6.2 Aspir Yağı ve Biyodizel Üretimi.....	47
6.3 Deneylerde Kullanılan Yakıtlar ve Karışım Oranları .....	51
6.4 Yanma Analizi Sistemi ve Hesaplanan Parametreler .....	52
6.4.1 Febris yanma analizi sistemi .....	52
<b>7. DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>56</b>
7.1 Yanma Deneyleri .....	56
7.1.1 Silindir basıncı.....	56
7.1.2 Isı salınım hızı .....	57
7.1.3 Toplam ısı salınımı .....	59
7.1.4 Ortalama gaz sıcaklığı .....	60
7.1.5 Kütleli yanma oranı .....	60
7.2 Performans sonuçları.....	62
7.2.1 Kütleli yakıt tüketiminin değerlendirilmesi .....	62
7.2.2 Özgül yakıt tüketiminin değerlendirilmesi .....	62



7.2.3 Termal verim değerlendirilmesi .....	63
7.2.4 Egzoz sıcaklığı değerlendirilmesi.....	64
7.3 Emisyon Sonuçları .....	65
7.3.1 Karbonmonoksit (CO) emisyon değerleri.....	65
7.3.2 Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonlarının değerleri .....	65
7.3.3 Hidrokarbon (HC) emisyonlarının değerleri.....	66
7.3.4 Azotoksit (NO <sub>x</sub> ) emisyonlarının değerleri .....	67
7.3.5 Oksijen (O <sub>2</sub> ) emisyonlarının değerleri.....	68
<b>8. SONUÇ</b> .....	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>71</b>
<b>9. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>77</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye’de enerji kullanım payları .....	4
Şekil 1.2. Ülkelerin yaydığı CO <sub>2</sub> emisyonları.....	7
Şekil 2.1. Dünya biyodizel üretimi(2005) .....	16
Şekil 3.1. Trigliseritlerin transesterifikasyon reaksiyonu .....	19
Şekil 3.2. Biyodizel elde edilmesinde kullanılan hammadde kaynakları.....	26
Şekil 4.1. Aspir bitkisi .....	28
Şekil 4.2. Aspir çeşitleri .....	30
Şekil 6.1. Deneysel sisteme ait şematik diyagram .....	42
Şekil 6.2. Deneyde kullanılan NWK22 model dizel motor .....	43
Şekil 6.3. Motor deneylerinde kullanılan egzoz emisyon cihazı .....	44
Şekil 6.4. Deneyde kullanılan hassas terazi.....	45
Şekil 6.5. Biyodizel üretiminde kullanılan alkol.....	46
Şekil 6.6. Biyodizel üretiminde kullanılan katalizör.....	47
Şekil 6.7. Aspir yağının ısıtılması .....	48
Şekil 6.8. Katalizör katılarak ısıtılan yağ .....	48
Şekil 6.9. Dinlenmeye bırakılan karışım .....	49
Şekil 6.10. Isıtılan biyodizel .....	50
Şekil 6.11. Yıkanmış biyodizeldeki faz ayrımı.....	50
Şekil 6.12. Sensör seçim menüsü.....	52
Şekil 6.13. İndikatör diyagramı.....	54
Şekil 7.1. Test yakıtlarının kullanımında farklı motor yükleri için oluşan basınç eğrileri	57
Şekil 7.2. Deney yakıtlarının kullanımında oluşan ısı salınımı değerlerinin motor yüküne göre değişimi.....	58
Şekil 7.3. Deney yakıtlarının kullanımında oluşankümülatif ısı salınımı değerlerinin motor yüküne göre değişimi .....	59
Şekil 7.4. Deney yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin motor yüküne göre değişimi .....	60
Şekil 7.5. Deney yakıtlarının kullanımında oluşan kütleli yanma oranı değerlerinin motor yüküne göre değişimi .....	61
Şekil 7.6. Kütleli yakıt tüketimi değerleri .....	62
Şekil 7.7. Özgül yakıt tüketimi değerleri.....	63
Şekil 7.8. Termal verim değerleri .....	64
Şekil 7.9. Egzoz gaz sıcaklığı değerleri.....	64
Şekil 7.10. CO emisyonu değerleri .....	69

Şekil 7.11. CO <sub>2</sub> emisyonu değerleri.....	66
Şekil 7.12. HC emisyonu değerleri .....	67
Şekil 7.13. NO <sub>x</sub> emisyonu değerleri.....	67
Şekil 7.14. O <sub>2</sub> emisyonu değerleri.....	68



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## Sayfa

Çizelge 1.1. Ülkelerin Emisyon Değerleri.....	6
Çizelge 2.1. Dizel ve Biyodizelin Özellikleri.....	15
Çizelge 6.1. Deneyleerde kullanılan motorun teknik özellikleri.....	43
Çizelge 6.2. Motor deneylerinde kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri	44
Çizelge 6.3. Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	46
Çizelge 6.4. Test yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	51



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

°C	: Santigrad Derece
%	: Yüzde
C16-C18	: Metil Esteri
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
d/d	: Dakikadaki Devir Sayısı
HC	: Hidrokarbon
KOH	: Potasyum Hidroksit
kW	: Kilo-Watt
m	: Metre
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NO <sub>x</sub>	: Azot Oksit
O <sub>2</sub>	: Oksijen
PM	: Partikül Madde
SO	: Kükürt oksit

### Kısaltmalar

A100	: Saf Aspir
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
B2	: % 2 Biyodizel + % 98 Dizel
B20	: % 20 Biyodizel + % 80 Dizel
B40D40P20	: % 40 Biyodizel + % 40 Dizel + % 20 Propanol
B5	: % 5 Biyodizel + % 95 Dizel
B80P20	: % 80 Biyodizel + % 20 Propanol
B90P10	: % 90 Biyodizel + % 10 Propanol
B100	: Biyodizel
DIN	: Alman Standartları
E10	: % 10 Etanol
E85	: % 85 Etanol
EC	: Electrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)
EDS	: Enkoderin 1 Devirde Ürettiği Darbe Sayısı
EN	: Avrupa Birliği Standartları
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
KMA	: Krank Mili Açısı
kPA	: Kilopaskal
OPEC	: Organization of Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ULSD	: Ultra Düşük Kükürtlü Dizel Yakıtı
URL	: Uniform Resource Locator (Standart Kaynak Bulucu)
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri

## 1.GİRİŞ

Dünyada, geçen süre içerisinde özellikle sanayi alanında büyük bir gelişme göze çarpmaktadır. Bunun sonucunda artan nüfusla beraber yaşam standardını yükseltme çalışmaları ve sanayileşme enerjiye olan gereksinimi artırmaktadır. Enerji alanında artan bu gereksinimin tamamı, geçen süre içerisinde yenilenemeyen fosil kökenli yakıtlardan karşılanmıştır. Ancak, fosil kökenli yakıtların yenilenebilir olmaması, zamanla rezervlerinin azalması ve fazla tüketim sonucunda oluşan çevre kirliliği, ülkeleri alternatif enerji kaynakları arayışına sürüklemektedir. Ayrıca, fosil kökenli yakıtların dünyada belli ülkelerin coğrafyasında olması ve bunun sonucunda gelen petrol krizleri de aynı arayışı hızlandırmıştır.

Dünya üzerinde fosil kökenli yakıtların aşırı tüketilmesi sonucu oluşan çevre kirliliği de yeni enerji kaynaklarının bulunmasını mecburi hale getirmiştir. Tüm bu olumsuzluklara karşın elde edilmesi kolay, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyodizel karşımıza çıkmaktadır. Biyodizel, bitkisel, hayvansal ve atık kızırtma yağlarının kimyasal ve biyolojik yollarla elde edilmesi sonucu oluşur. Biyodizel, özellikle yağlı tohumlu bitkilerden elde edilmesinden dolayı tarım alanında büyük çalışmaları beraberinde getirmektedir. Ülkemizin tarım ülkesi olmasından dolayı tarımsal anlamdaki bu çalışmalar, iş imkânlarının gelişmesine de katkıda bulunacaktır.

Biyodizel motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilceği gibi, belirli oranlarda petrol türevi yakıtlarla karıştırılarak da kullanılabilir. Hayvansal ve bitkisel yağlar motorlarda doğrudan kullanılamamaktadır. Bunun nedenleri arasında yüksek viskozite, eksik yanma ve motor üzerinde karbon birikmesi şeklinde sayılabilir. Yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için birtakım işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemlerden en fazla kullanılan transesterifikasyon yöntemidir. Ayrıca mikro-emülsiyon ve piroliz gibi yöntemler de kullanılmaktadır. Bu yöntemlerdeki amaç yağ asidi ve gliserinden oluşan bitkisel ve hayvansal yağlardan gliserini uzaklaştırıp geriye kalan yağ asidinin biyodizel olarak kullanımını sağlamaktır. Biyodizel haline getirilen bitkisel yağların birçok özelliği dizel yakıt özelliklerine yaklaşmaktadır

Son zamanlarda fosil kökenli yakıtların meydana getirdiği sera etkisi sonucu oluşan küresel ısınma da dünyanın önündeki önemli tehlikelerden biridir. Fosil kökenli yakıtların emisyon değerlerinin olumsuz oluşu da bu tehlikeyi daha da tetiklemektedir. Karşımıza çıkan bu tehlike yerel sorun olmaktan çıkıp küresel bir sorun olmaktadır. Küresel ısınmanın sonucunda buzulların erimesi ile beraber yakın bir zamanda deniz

seviyesinin yükseleceği ve birçok büyük kentin sular altında kalacağı tezi ileri sürülmektedir.

Biyodizel, çevre dostu bir yakıt olup, biyodizelin elde edilebilmesi için yağ içeriği zengin yağ bitkilerinin yetiştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ülkeler kendi iklim ve toprak şartlarına en uygun yağ bitkilerini yetiştirmek zorundadır. Ayrıca yetiştirilen yağ bitkilerinin tohumlarının işlenebilmesi için de uygun sanayiye de ihtiyaç vardır. Özellikle her bölgeye uygun yağ bitkilerinin tarımı yapıldıktan sonra, elde edilen ürünün işlenebilmesi için de uygun fabrikaların o bölge içinde olup ayrıca fazladan giderin önüne geçip aynı zamanda fiyat bakımından uygun yakıtın elde edilmesi de amaçlanmalıdır. Biyodizel hammaddesi olarak kullanılan bitkilerden biri de aspir bitkisidir. Aspir bitkisi yüksek oranda oleik asit içeren bir bitki olup ülkemiz şartlarında tarımı yapılabilmektedir.

### **1.1 Enerji Kaynakları**

Hayatımızın her anında bize gerekli olan enerjiyi, enerji kaynaklarından temin ederiz. Enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Dünya genelinde son zamanlarda gelişen hızlı sanayileşme, nüfusun artması, şehirleşme ve yaşam seviyesinin yükselmesi gibi durumlar, özellikle fosil kökenli enerjilerin kullanımını artırmış ve önemli oranda çevre kirliliğine sebep olmuştur. Bunun sonucunda, enerji açığını karşılamak ve çevre kirliliğini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına (jeotermal, güneş, rüzgar, tarımsal, hidrolik, biyokütle) ihtiyaç artmıştır.

Fosil kökenli yakıtlar, yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların yenilenemez enerji kaynakları ismini almalarının nedeni kullandıkça tükenmeleri ve bu kaynakların tekrar gelmesi için çok uzun bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Bu kaynaklar, sınırlı olup rezervler azaldıkça fiyatları da artacaktır. Bunun aksine yenilenebilir enerji kaynakları, gücünü güneşten alarak, hiçbir zaman tükenmeyecek olarak düşünülen, çevreye emisyon bırakmayan enerji türüdür. Bu enerji kaynağı sınırsızdır. Dünya enerjilerinin merkezi, güneş enerjisi gösterilmekte, diğer enerjilerin ise yine 'güneş enerjisi' merkezli olup dönüşüm sonucu elde edilen bir enerji olduğu ifade edilmektedir. Günümüzde kullanılan enerjinin %90 kadarı fosil kökenli kaynaklardan karşılanmaktadır (EÜAŞ). Fosil kökenli yakıtların (petrol, kömür vb.) çevreye verdiği zararlardan ve emisyon değerlerinin yüksek olmasından dolayı,

kirliliğin önüne geçmek için yeni arayışları mecbur kılmıştır. Nüfusun kalabalık olduğu bölgelerde bu kirlетici bileşikler, insan sağlığı açısından çok önemli sıkıntılara yol açmaktadır.

#### A-Yenilenemez Enerji

1. Fosil Enerjisi
2. Nükleer Enerji

#### B-Yenilenebilir Enerji

1. Rüzgar Enerjisi
2. Güneş Enerjisi
3. Jeotermal enerji
4. Biyokütle Enerjisi
5. Hidrolik Enerji
6. Hidrojen enerjisi

Yukarıda sayılan enerjiler içerisinde özellikle biyokütle enerjisi tükenme gibi bir durumunun olmaması, üretiminde çok büyük teknolojik sistemlere ihtiyaç duyulmaması ve özellikle de bazı ülkelerin tekelinde olmaması gibi özelliklerinden dolayı öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji türlerinden biyokütle enerjisinin kolay depolanması diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha avantajlı duruma getirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda:

- Dışarıdan alınan yakıtlara olan bağımlılık azalacak,
- Yerli kaynaklar öncelikli olarak kullanılacak,
- Üretimin yerli olmasıyla beraber istihdam artacak,
- Devamlılık arzeden ekonomik büyüme ve gelişmeye imkân sağlayacak,
- Enerjide arz güvenliği artacak,
- Artan bu güvenlik ile beraber enerjiyi kullanan sektörler olumlu yönde etkilenecek,
- Sağlanan güven ortamı ile istikrar artacak,
- Tüm bunların sonucunda sosyal ekonomik hayatta refah, istikrar da artacaktır.

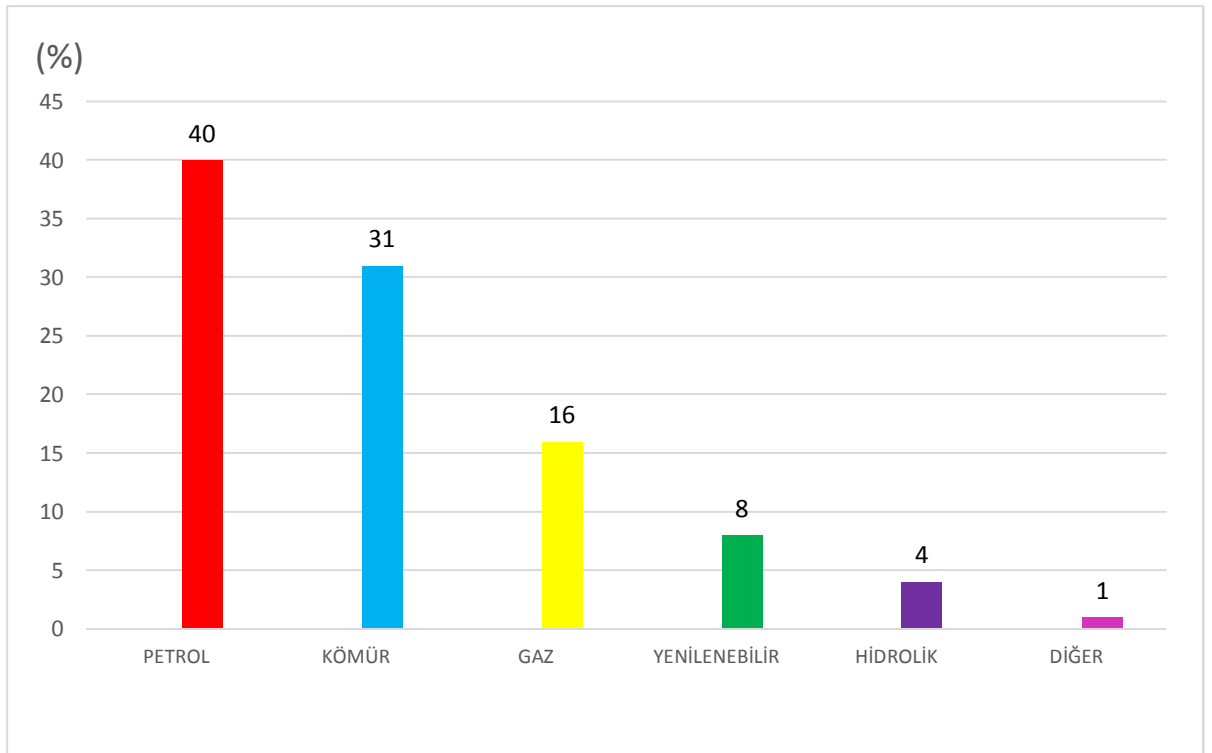


### 1.1.1 Yenilenebilir enerjinin önemi

Yenilenebilir enerji hem elde edilme şekillerinden dolayı hem de kullanım sonucu çevreyi kirletmemesinden dolayı önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynağı tükenmeyen enerji olarak kabul edilmektedir.

### 1.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları

Günümüzde, enerji sıkıntısı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artarak devam etmektedir. Gelişmişliğin önemli göstergelerinden biri olmasından dolayı da önemli yer teşkil etmektedir. Ticari alandaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmı petrolden karşılanmaktadır. Petrolün büyük bir kısmının araçlarda yakıt olarak kullanılması ve bunun sonucunda da hava kirliliğinin en önemli nedenlerinden biri olan egzoz emisyon değerlerinin yüksek seviyelere ulaşması, bu alandaki araştırmacıları alternatif yakıt arayışına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli yenilenmektedir. Kullanılan bütün enerjilerin kaynağı güneş enerjisidir. Örneğin; bitkiler güneş enerjisini, kimyasal enerjiye çevirirler. Türkiye’de kullanılan enerji türlerinin dağılımı şekil 1.1’de verilmiştir (URL 2).



Şekil 1.1 Türkiye’de Enerji Kullanım Payları (URL2)

Bugün kullanılan yenilenebilir enerjinin birçok çeşidi vardır. Örnek olarak; etil alkol, biyoetanol, güneş panelleri ve rüzgar gülleri bunlardan bazılarıdır. Biyodizel de yenilenebilir enerji çeşitlerinden biridir. Yenilenebilir enerji grubundaki yakıtların yanma sonucu ortaya çıkarttığı CO<sub>2</sub> bitkiler tarafından tutulur. Bitkiler tarafından tutulan CO<sub>2</sub> karbon ve oksijene ayırırılar. Oksijen tekrardan atmosfere bırakılır. Bunun sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonunda doğal dengenin oluşması sağlanır.

## **1.2 Fosil Kökenli Yakıt Kullanımındaki Karşılaşılan Sorunlar**

Yaklaşık olarak son 150 yıl içerisinde petrolün çıkartılması ve yakıt olarak üretilmesi amacıyla rafine edilmesi alanlarında büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda benzin, motorin ve fuel-oil gibi yakıtların kullanım alanları ve tüketici sayısı hızla artmıştır. Bu aşırı artışın sonucundaki fazla tüketim ekonomik, siyasi ve çevre açısından ciddi sorunları da beraberinde getirmiştir. Dünya genelinde petrol ürünlerine olan aşırı talep, doğal olarak petrol fiyatlarının hızla yükselmesine sebep olmuştur.

Özellikle 1970 yılında yaşanan petrol krizi bu artışta çok etkili olmuştur. 1970 yılında petrol sahibi Orta Doğu Ülkeleri petrol üretimini engelleyerek dünya çapında petrol fiyatlarını kontrol altına almışlar ve sonuçta kriz yaşanmıştır. Petrol ihraç eden ülkeler (OPEC) içindeki özellikle Orta Doğu Ülkeleri, bu krizde büyük pay sahibidirler. 1973 yılında OPEC üyesi ülkelerden İran, Irak, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri ve Kuveyt dünyadaki petrol üretiminin % 36'sını kontrol eder hale gelmiş ve bu durum petrolün varil fiyatını 10\$'dan 50 \$'ın üzerine çıkarmıştır (Ögüt ve Oğuz, 2005).

1991 yılında yaşanan Körfez savaşı da petrole bağımlı ülkeleri ekonomik ve stratejik yönden yeni araştırmalara yöneltmiştir. Ayrıca özellikle son zamanlarda mevcut petrol rezervlerine yenilerinin eklenmemesi de bu alandaki başka bir sıkıntıdır. Fosil kökenli yakıtların ülke ekonomileri üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin yanında çok önemli bir sorun da bu yakıtları aşırı kullanmanın neden olduğu küresel ısınmadır. Aşırı kullanım sonucu emisyon değerlerinin artışı sonucunda kirlilik oranı gün geçtikçe artmaktadır. Bu problem ülke sorunu olmaktan çıkıp küresel bir sorun haline gelmiştir. Fosil kökenli yakıtların meydana getirdiği bir diğer sorun araçlardan atmosfere yayılan CO<sub>2</sub> dir. Atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarındaki artış sonuçta küresel ısınmayı da beraberinde getirmekte, bu durum çok önemli bir çevre sorunu olarak

belirtilen ve aşırı ısınmaya yol açan Sera Etkisi'ne neden olmaktadır. Dünya ülkeleri bunun önüne geçmek için bir dizi tedbirler almaya başlamışlardır (Öğüt ve Oğuz, 2005).

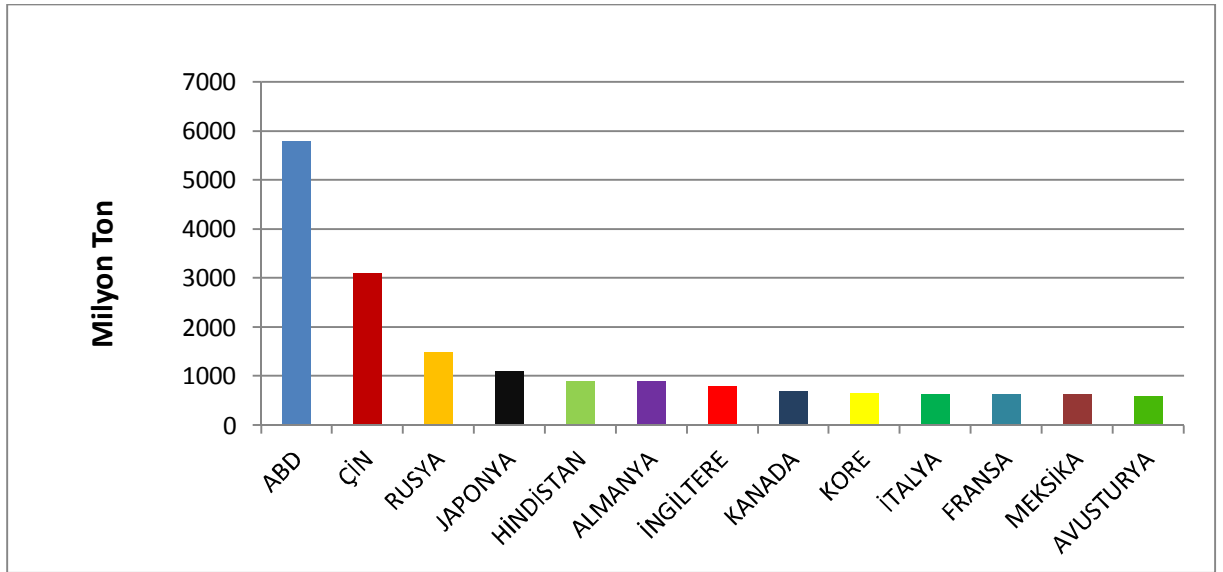
Ülkelerin yaymış olduğu CO<sub>2</sub> emisyon değerleri şekil 1.2'de görülmektedir.

Tüm bu olumsuzluklar gerçekleşirken bununla ilgili olarak motor üreticileri şu şekilde önlemler almışlardır:

- Daha az yakıt sarfiyatı için araçların hafif olması için alüminyum, kompozit malzemelerden araç imal edilmesi,
- Çevre kirliliğini önleyici mahiyette EURO-4, EURO-5 motor kullanılması,
- Elektrik motorlarının içten yanmalı motorlarla kombine edildiği yakıt ekonomisi sağlayan ve emisyon baskısı oluşturmayan hibrit araç kullanılması,
- Fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının araçlarda kullanılması ve benzeri çalışmalarını sürdürmektedirler.

**Çizelge 1.1.** Ülkelerin Emisyon Değerleri

Sıra	Ülke	1990 Emisyonu Milyon Ton	2010 Emisyonu Milyon Ton	1990-2010 Emisyonu Farkı Milyon Ton	1990-2010 Artış Yüzdesi %
1	ÇİN	2452	8333	5881	240
2	ABD	5461	6145	684	13
3	HİNDİSTAN	626	1708	1082	173
4	RUSYA	2369	1700	-669	-28
5	JAPONYA	1179	1308	129	11
6	ALMANYA	1029	828	-201	-20
7	KANADA	485	605	120	25
8	İNGİLTERE	625	548	-77	-12
9	FRANSA	416	403	-13	-3
10	İTALYA	440	439	-1	0
11	İSPANYA	238	334	96	40
12	GÜNEY KORE	257	716	459	179
13	BREZİLYA	246	464	218	89
14	TÜRKİYE	142	307	165	116



Şekil 1.2. Ülkelerin Yaydığı CO<sub>2</sub> Emisyonları

### 1.3 Dizel Motorlarında Yanma Olayının Safhaları

#### 1.3.1 Tutuşma gecikmesi

Dizel motorlarda hava sıkıştırıldıktan sonra üzerine yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıt sıkıştırılarak ısınmış havadan ısı alarak buharlaşır ve çok kısa bir süre sonra alevlenir. Püskürtülmenin başlangıcından başlayıp ilk alevin oluşumuna dek geçen zamana tutuşma gecikmesi denir. Tutuşma gecikmesinin belirli bir süreyi geçmemesi gerekir (Borat ve ark. 1995).

Zamanın belirli bir süreyi geçmesi demek daha fazla yakıtın alınması demektir. Daha fazla yakıt alınması sonucunda yanan kısmın fazla olması ve aynı oranda basıncın da ani olarak artması demektir. Oluşan ani basınç artışı ile beraber tüm motor elemanları oluşan bu kuvvetle zorlanarak motorun titremesine neden olup bunun sonucunda vuruntu olayı meydana gelmektedir. Vuruntuya etki eden en önemli faktör tutuşma gecikmesidir. Tutuşma gecikmesini etkileyen bütün faktörler vuruntu oluşumuna da etki etmektedir. Tutuşma gecikmesini istenilen değerde tutabilmek için tutuşma gecikmesini etkileyen faktörleri incelemek gerekir. Bu faktörler işletme faktörleri, yakıt kalitesi faktörü ve yapısal faktörlerdir (Safgönül ve ark. 1999).

Bu faktörlerden işletme faktörleri içerisinde en önemli olanları emme havası sıcaklığı ve basıncı, motor devir sayısı ve motor yük durumudur. Emme havası sıcaklığı ve basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Motor devir sayısı arttıkça tutuşma

gecikmesi zaman olarak azalmaktadır. Motor yükü attıkça da tutuşma gecikmesi hem zaman hem de krank mili açısı olarak azalmaktadır.

Yakıt faktörüne bakılacak olursa da, burada ön planda olan setan sayısıdır. Setan sayısı tutuşma gecikmesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Kullanılan yakıtın setan sayısının belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi azalır. Çünkü, setan sayısının fazla olması sonucunda yakıt enjektörden çıkar çıkmaz enjektör ucuna yakın bir yerde tutuşur, bu da istenmeyen bir durum olan enjektörün uç kısmında koklaşmaya ve tıkanmaya neden olur. Setan sayısı şayet düşük olursa tutuşma gecikmesi ortaya çıkar bunun sonucunda içeride yakıt birikir ve daha sonra ani tutuşup vuruntuya sebep olur. Bunun yanında yakıtın viskozitesi de önemli bir faktördür. Çünkü viskozite püskürtme kalitesini ve damlacık boyutunu etkilemektedir. Yüksek viskoziteye sahip yakıt damlacık çapını büyüttüğünden tutuşma gecikmesini arttırmaktadır.

Yapısal faktörlere de bakacak olursak; burada sıkıştırma oranı, püskürtme kalitesi ve motorun soğutma şartları en önemli olanlarıdır. Burada sıkıştırma oranının artması, sıcaklık ve basıncın artması demektir bu da tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Bir diğeri motorun boyutudur. Çünkü motor boyutuna bağlı olarak motorda yakıtın püskürtüldüğü bölgelerin sıcaklıkları değiştiği için yüksek sıcaklık tutuşma gecikmesini azaltmaktadır.

### **1.3.2 Kontrolsüz (ani) yanma**

Kontrolsüz (ani) yanma, yanma olayının ikinci evresidir. Tutuşmanın başlamasından silindir içi basıncın maksimum seviyeye ulaşmasına kadar geçen zamana kontrolsüz (ani) yanma denir. Bu evrede tutuşma gecikmesi süresi zarfında silindire dolan yakıtın aniden yanması sonucunda basınç çok hızlı artar. Basıncın artış hızı motorun sert veya yumuşak çalışmasının göstergesidir. Tutuşma gecikmesinin uzaması sonucu silindir içerisinde fazla yakıtın birikmesi ve sonucunda basınç artışı vuruntuya neden olmaktadır. Vuruntuyu önlemek için tutuşma süresinin kısaltılması ve bu süre içinde biriken yakıtın azalması gerekmektedir. Burada bahsedilen yanma süresi yaklaşık 6° krank mili açısı civarında gerçekleşmekte ve her bir krank mili açısında basınç artışı 200-300 kPa arasında olmaktadır (Safgönül ve ark.1999).

### 1.3.3 Difüzyon kontrollü yanma

Ani yanma evresinden sonra üçüncü evre yavaş yanma evresidir. Bu evreye kontrollü yanma evresi de denmektedir. Bu evre maksimum basınca ulaşılan zaman ile maksimum sıcaklığa ulaşılan zaman arasında gerçekleşir. Bu evrede yakıt miktarına müdahale edilerek püskürtülen yakıtın miktarı ayarlanarak sıcaklık ve basınç yükselmesi kontrol altında tutulmaktadır. Bunun sonucunda buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı yanma hızını belirlemektedir. Yakıtın buharlaşması ve tutuşması tek bir noktada olmayıp birden fazla noktada gerçekleşmektedir. Ayrıca karışımın oluşum hızı yakıtın yanma hızını da kontrol etmektedir. Tüm bunların sonucunda karışımın oluşum hızı ve yanma hızı yüksek tutularak yanma sıcaklığının yüksek olduğu ÜÖN'ya yakın olduğu konumlarda tamamlanması gerekir. Eğer bu durum oluşmazsa yanma, yanma sıcaklığının düştüğü ve genişlemenin olduğu fazda devam eder. Bunun sonucunda ise is oluşumuna ve motor veriminin düşmesine sebep olur (Safgönül ve ark.1999).

### 1.3.4 Art yanma

Yanma zamanının maksimum sıcaklığa ulaşmasından sonra art yanma oluşur. Burada yakıt silindire püskürtülmüş ve bunun sonucunda piston AÖN' ya doğru inmektedir. Bu safhada, yanma hızı, difüzyon hızı ve karışım oluşum hızıyla ifade edilmektedir. Bunun yanında zengin karışımlarda tam yanmamış yanma sonu ürünleri art yanma evresinde yanarlar. Bu yanma, genişleme zamanının önemli bir kısmını temsil eder. Genişleme sırasında meydana gelen art yanma ÜÖN'dan sonra 70-80° KMA kadar sürer. Son olarak yanma olayı egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir (Safgönül ve ark.1999).

## 1.4 Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtların Karşılaştırılması

Petrol krizi 1970 li yıllarda ortaya çıkınca alternatif motor yakıtlarına olan ilginin başlıca sebepleri şunlardır:

- Fosil kökenli yakıtların zamanla tükeniyor olması ve bunun sonucunda petrol fiyatlarının giderek yükselmesi,

- Fosil kökenli yakıtların kullanılması sonucu meydana gelen büyük çevre zararları ve bu zararların ortadan kaldırılma isteği,
- Ülkelerin enerji kaynaklarındaki çeşitliliği arttırma ve bunun sonucunda enerji alanında dışa bağımlılıktan kurtulabilme planları ve gayretleri,

Bu nedenlerden dolayı, dünyada fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak kullanılabilcek yakıtlar için çalışmalar hızla sürdürölmektedir. Kullanılır durumdaki mevcut alternatif enerjiler gaz ve sıvı şeklinde sınıflandırılabilir.

Gaz yakıtlar, doğalgaz, LPG ve hidrojen şeklinde sıralanabilir. Sıvı yakıtlar ise metanol, etanol ve biyodizel olarak sıralanabilir.



## 2. BİYOYAKITLAR VE GELİŞİMİ

Dünyada fosil kökenli yakıtların dengesizce ve dikkatsiz bir şekilde kullanımı ve nüfusun hızla artması enerjiye olan ihtiyacı hızla artırmaktadır. Enerjiye olan ihtiyacın artması sonucunda, fosil kökenli kaynakların aşırı bir şekilde kullanılmasına ve devamında çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Artan çevresel sorunların sonucunda günümüzde dünya devletleri bu sorunların önüne geçmek için çeşitli araştırmalar içine girmişlerdir. Bu araştırmaların en başında gelenlerden biri de çevreye zarar vermeyen biyokütle enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Aslında geriye dönüp bakıldığında insanoğlunun yüzyıllar öncesinden bu yana biyokütle esaslı yakıtları kullandığı görülmektedir. Özellikle yemek pişirmek, ısınmak için odun gibi yakıtların yanında hayvan ve bitki kalıntılarının da kullanıldığı görülmektedir.

Geçmişten günümüze kadar geçen süreçte biyokütle enerjisi; odun kömürü, odun ve hayvan gübresini bünyesinde barındırmakla beraber önemli bir enerji kaynağı olarak da halen kullanılmaktadır. Ayrıca modern biyokütle kaynakları tanımlanacak olunursa; tarım alanındaki hayvansal ve bitkisel atıklar, kentsel atıklar, orman ve ağaç ürünleri atıkları önde gelmektedir (Anonymous, 2009b).

Dünyada enerji amaçlı kullanılan biyokütle kaynaklarının, %80 kadarının konutlarda, %18 kadarının endüstride ve geriye kalan %2 kadarının da ulaşım sektöründe tüketildiği görülmektedir (FAO, 2008).

Biyoyakıt daha önce yaşamış organizmalar veya onların metabolik kalıntılarından elde edilir (Taşyürek ve Acaroğlu, 2007).

Biyoyakıtlar, tiplerine ve kaynaklarına göre farklı şekillerde gruplandırılabilir. Biyoyakıtlar; birincil biyoyakıtlar (işlenmemiş biyoyakıtlar) ve ikincil biyoyakıtlar (işlenmiş biyoyakıtlar) olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadırlar:

\* Birincil biyoyakıt grubu; odun, odun talaşı ve parçaları ile kullanılan organik malzemelerdir.

\* İkincil biyoyakıtlar; katı, sıvı ve gazlar şeklinde gruplandırılabilir (FAO, 2008). Günümüzde ikincil biyoyakıtlar arasında en sık kullanılan ve önde gelen yakıtlar biyodizel ve biyoetanoldür (etanol). Dünyada imal edilen biyodizel ve etanol yakıtları aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

**Biyoeanol (etanol);** Genellikle mısır ve şeker kamışından elde edilmektedir. Otomobil ve diğer taşıtlarda yakıt olarak yalnız başına kullanıldığı gibi benzine karıştırılarak da kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan en sık uygulamaları E10 ya da



E85 diye bilinen %10 ve %85 etanol içermektedir. Fosil kökenli yakıtlara göre etanol enerji anlamında çevresel ve ekonomik yararlar sağlamaktadır. (Anonymous, 2009c).

İçeriğinde yüksek değerde nişasta-selüloz veya şeker gibi madde bulunduran hammaddeler etanol üretiminde kullanılmaktadır. Etanol piyasası şeker ve nişastaya bağlı bir şekilde gelişim sergilemektedir.

**Biyodizel:** Organik yağların transterifikasyonu sonucu elde edilmektedir. Bunun için genellikle soya, kolza (kanola), ayçiçeği, aspir gibi yağlı tohum içeren bitkilerinden elde edilmektedir. Bahsi geçen bitkisel ve hayvansal yağlar bir katalizör nezaretinde alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda oluşmaktadır. Bunların yanında evsel kızartma yağları donmuş yağ ve balık yağı gibi hayvansal yağlar da biyodizel elde edilmesinde kullanılabilir (Anonymous, 2009c).

## 2.1 Dünya Biyoyakıt Üretimi

Dünya etanol üretiminde ABD lider konumdadır. Etanol elde edilmesinde hammadde olarak mısır, biyodizel elde edilmesinde de soyayı hammadde olarak kullanmaktadır. ABD'den sonra etanol üretiminde Brezilya göze çarpmaktadır. Brezilya etanol üretiminde şeker kamışını kullanmaktadır. Biyodizel üretiminde ise Avrupa Birliği dünyada lideri konumdadır. Biyodizel elde edilirken hammadde olarak genellikle kolza ve yağlı tohumlu bitkiler kullanılmaktadır.

## 2.2 Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımı

Bitkisel yağlar motorlarda ilk defa yakıt olarak Rudolf Diesel tarafından 1900 tarihinde kullanılmıştır. Diesel tasarladığı motorda yerfıstığı yağını yakıt olarak değerlendirmiştir. Diesel, bitkisel yağların önemli bir motor yakıtı olduğunu belirtmiş ancak o gün itibarı ile önemsiz olsa da ileride önemi anlaşılacak şekilde açıklamada bulunmuştur (Öğüt ve Oğuz, 2006). 1900'lü yıllarda petrol fiyatlarının düşük olmasından dolayı biyoyakıt sektörü gelişme sağlayamamıştır. Ancak zamanla petrol fiyatlarının artmasıyla beraber biyoyakıt ön plana çıkmaya başlamıştır. Daha sonraki zamanlarda biyodiesel olarak isimlendirilmiştir (Knothe, 2001). Günümüzde, gittikçe önemi artan biyodizel yakıtının kullanımı ve üretimi yaygınlaşmaktadır. Başta AB, Amerika ve birçok ülkede ticari anlamda üretimine büyük bir hız verilmektedir.

Petrol dizelinden farklı bir yapıya sahip olan biyodizelin özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilmektedir.
- Çevre dostu olup çevre kirliliği yapmamaktadır.
- Atık hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilmektedir.
- Kükürt ve kanserojen madde içermez.
- Hızlı ve kolay bozunabilmektedir.
- Alevlenebilir noktasının yüksek olmasından dolayı depolanması ve taşınması güvenlidir.
- Yağlayıcılık özelliği vardır.
- Dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
- Motor ömrünün uzamasına katkı sağlamaktadır.
- Motordaki bazı karakteristik değerlerde iyileştirme sağlamaktadır.
- Toksik etkiye sahip değildir.
- Jeneratör ve ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır.
- Stratejik anlamda büyük özelliklere sahiptir (Karaosmanoğlu, 2008).

Biyodizel petrol dizel ile kıyaslandığında, biyodizel yakıtın daha temiz ve çevreci özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Biyodizel emisyon değerlerine bakıldığında karbonmonoksit, yanmamış hidrokarbon, partikül madde daha azdır ve kükürt hemen hemen yok denilebilir bir değerdedir.
- Biyodizel kullanımında atmosfere bırakılan CO<sub>2</sub>'nin sera etkisine neden olmadığı görülmektedir. Çünkü biyodizel kullanımı sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından tutulmaktadır.
- Biyodizelin yerel imkânlar ile üretimi mümkündür.
- Ayrışabilir bir yapıda olmasından dolayı doğaya bırakıldığında kısa bir sürede doğaya zarar vermeyecek bir şekilde ayrışmaktadır.
- Biyodizelin parlama noktasının yüksek olmasından dolayı taşınması ve depolanabilmesi dizele göre daha güvenlidir.
- Motorda herhangi bir değişikliğe gidilmeden kullanılma özelliğine sahip olan biyodizel ayrıca motorun yağlanması da katkıda bulunmaktadır.
- Biyodizelin oksijen içeriğinin fazla olması yanma veriminin daha yüksek olmasına neden olmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

### 2.3 Biyodizelin Çeşitleri ve Standartları

Biyodizel, motorda herhangi bir değişikliğe gidilmeden saf yakıt olarak kullanılabilirdiği gibi, dizel yakıtla belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Genellikle kullanılan biyodizel karışım standartları; en fazla B2, B5, B20 ve B100 formlarında kullanılmaktadır. Bu yakıtların içeriği incelendiğinde;

- B2: %2 biyodizel + %98 dizel
- B5: %5 biyodizel + % 95 dizel
- B20: %20 biyodizel + % 80 dizel
- B100: %100 biyodizel

olarak gösterilebilir. (NREL, 2008).

Ayrıca bazı çalışmalarda B50 formatında (%50 biyodizel+%50 dizel) biyodizel karışımı da karışıma çıkmaktadır (Karaosmanoğlu, 2008).

Günümüzde, dünyada biyodizel ile ilgili kullanılan standartlara bakıldığında; AB tarafından kabul edilen EN 14214 ve EN 14213, ABD’de kullanılan ASTM D 6751 Amerikan biyodizel standartlarının kullanıldığı görülmektedir. Türkiye’de ise kullanılan AB biyodizel standartları 2005 yılında TSE tarafından hazırlanan ve halen yürürlükte olan;

- TS EN 14214 Otomotiv yakıtları-yağasidi metil esterleri oto biyodizel standardı,(YAME/BİYODİZEL).
- TS EN 14213 Isıtma yakıtları-yağasidi metil esterleri yakıt biyodizeli standartları (YAME) kullanılmaktadır (TSE, 2009).

Biyodizelin özelliklerin daha iyi görülmesi için, dizel yakıtın özellikleriyle karşılaştırılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Aşağıda çizelge 2.1’de dizel ve biyodizelin özellikleri görülmektedir. Biyodizel ile dizel karşılaştırıldığında, yapısal yönden benzer özellikler sergiledikleri görülmektedir. Ayrıca biyodizelin, parlama ve kaynama noktasının yüksek olması, setan sayısının daha yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı biraz daha avantajlı bir yakıt olduğu görülmektedir. Bunun yanında parlama ve kaynama noktasının yüksekliği, depolama ve taşıma gibi güvenlik koşulları için oldukça önemli yer teşkil etmektedir. Setan sayısının fazlalığı elde edilen enerji bakımından ve motorun iyi çalışması bakımından önemli katkılar sağlamaktadır.

Biyozelin, petrol dizeli karşısında üstünlüklerinin yanında, enerji içeriği anlamında, dizel yakıtı göre az miktarda dezavantajlarının olduğu görülmektedir. Biyodizelin dizel

yakıtına göre alt ısı enerji ve üst ısı enerji değerlerinin düşük olması verilen tabloda görülmektedir. Pratikte biyodizel kullanıcılarının vurguladığı, araçtaki devir düşüklüğü veya daha az yol alınması gibi hususlar bu enerji değerlerinden kaynaklanmaktadır.

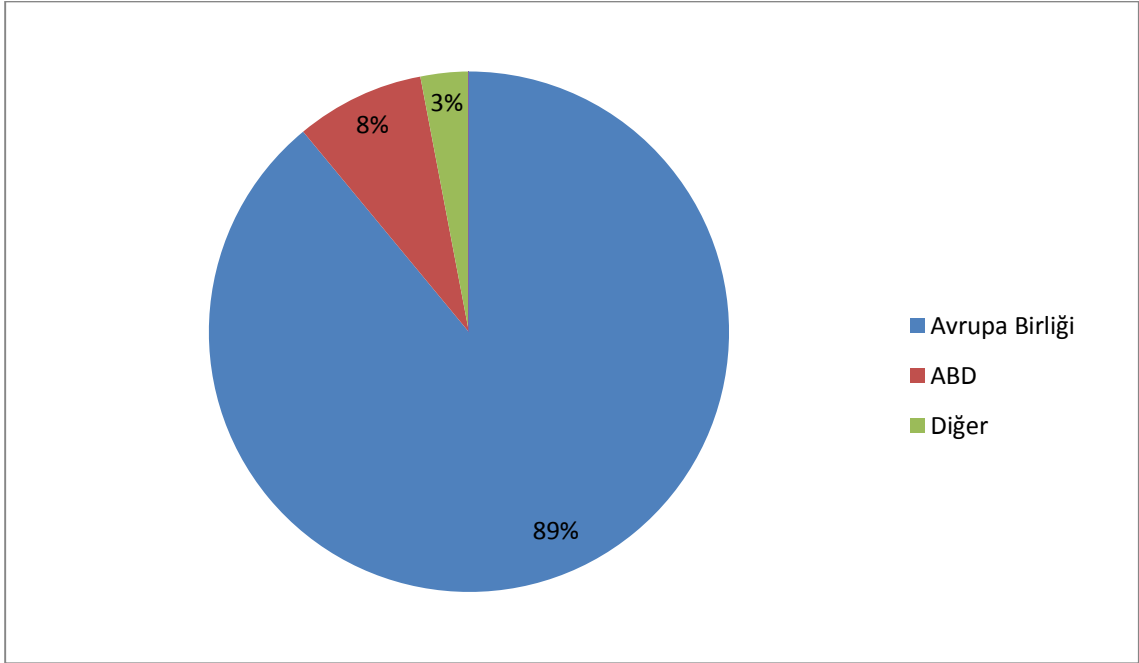
**Çizelge 2.1.** Dizel ve Biyodizelin Özellikleri (NREL,2008)

Yakıt Özelliği	Dizel	Biyodizel
Yakıt Standardı	ASTM D 975	ASTM D 6751
Alt Isıl Değeri (kj/kg)	42.000-44.000	39.000-42.000
Kinematik Viskozite, (mm <sup>2</sup> /sn) 40°C(104°F)	2-4	2-6
Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>	800-850	850-900
Karbon (Ağırlığın % si)	87	77
Hidrojen(Ağırlığın % si)	13	12
Oksijen(Ağırlığın % si)	0	11
Kükürt(Ağırlığın % si)	Maksimum 0.0015	0.0-0.0024
Kaynama Noktası, °C	188-340	315-350
Parlama Noktası °C	60-80	100-170
Bulutlanma Noktası °C	-35...+5	-3...+15
Akma Noktası (°C)	-35...-15	-15...+10
Setan Sayısı	40-55	48-65

## 2.4 Dünya Biyodizel Üretimi

Dünyada biyodizel üretiminde AB lider durumdadır. Biyodizel üretiminde ABD ikinci sıradadır. AB ülkeleri içerisinde ise Almanya en önemli üretici ülke olup, Almanya'yı Fransa takip etmektedir.

Dünya biyodizel üretiminde AB'nin katkısı %89, ABD'nin katkısı ise %8 olduğu şekil 2.1'de gösterilmiştir. AB ile ABD dünya biyodizel üretiminin yaklaşık %97'sini karşılamaktadırlar.



Şekil 2.1 Dünya Biyodizel Üretimi(2005)

## 2.5 Türkiye'nin Biyodizel Üretimi ve Gelişimi

Türkiye'de biyodizel alanındaki ilk çalışma AB'den önce 1934 tarihinde "Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı" adı altında Atatürk Orman Çiftliğinde yapılmıştır.

Dünyadaki gelişmeler devam ederken 2000'li yılların başında biyodizel Türkiye'de gündeme geldi. Üniversitelerde araştırma ve deneyler hızlandı. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nda 2001 yılında "Biyodizel Çalışma Grubu" kuruldu. Biyodizel ilk defa 04.12.2003 tarihinde 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu'nda harmanlanan ürünler arasında yer aldı. Kanunla biyodizel ÖTV den muaf tutulunca yatırımlar hızla artmaya başladı.

## 2.6 Biyodizelin Kullanım Alanları

Biyodizel fosil kökenli yakıta nazaran sahip olduğu özelliklerinden dolayı araç motorları dışında da kullanılmaktadır. Biyodizelin taşıt yakıtı dışındaki kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Kalorifer sistemlerinde,
  - Seralarda ısıtma amaçlı,
  - Yer altı madenciliğinde,
  - Gıda işleme sanayisinde,
  - Jeneratörlerde yakıt olarak,
  - Tarım makinelerinde yakıt olarak,
  - Sobalarda ve diğer ısıtıcılarda yakıt olarak,
  - Kimyasal boyaların özellikle araçlardaki boyaların temizlenmesinde,
  - Motor parçalarında biriken yağ ve kurumun giderilmesinde,
  - Paslanmış makinelerde yağlayıcı amaçlı olarak,
  - Arazi ya da suya dökülen petrolün temizlenmesinde,
  - İnşaat kalıplarının harca yapışmasını engellemek için kalıpların sıvanmasında,
  - Hidrolik sıvısı olarak,
  - Demiryolunda yağlayıcı amaçlı olarak,
- kullanılmaktadır.

## 2.7 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları

Biyodizel, dizel motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılan bir yakıt türüdür. Kullanılan bu yakıtın avantajları yanında dezavantajları da vardır. Avantaj ve dezavantajları hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

### Avantajları

- Ekonomik ve stratejik anlamda petrole bağımlılığı azaltır. Tarım alanlarının geniş bir şekilde kullanılmasından dolayı kırsal kesimin kentlere göç etmesini önler,
- İş olanakları sağlar, sanayinin gelişmesine katkı sağlar,
- Petrolden dolayı çıkan krizleri önler, bir anlamda ülkelerin kendi petrollerini üretmesi demektir.
- Biyodizele artan ilgi ile birlikte üretimin artmasıyla petrol fiyatlarındaki artışlardan dolayı talep biyodizel ile karşılanmış.

- Biyodizel elde edilmesinin sonucunda oluşan atık madde gübre, küspe ve gliserin gibi alanlarda kullanılır.
- Yanma sonucu oluşan emisyonlarda CO, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonlar daha az olup kükürt hemen hemen hiç yoktur.
- Biyodizelin yaydığı CO<sub>2</sub> miktarı dizele göre az olmasından dolayı atmosferde sera etkisine neden olmaz. Oluşan CO<sub>2</sub> biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılmaktadır.
- Parlama noktasının dizele göre daha yüksek olmasından dolayı taşınması daha güvenlidir.
- Dizel motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir olup ayrıca motorun yağlanması da iyileştirir.
- Yenilenebilir olmasından dolayı üretim aşamasında çok büyük teknolojik cihazlara gerek duyulmamaktadır.

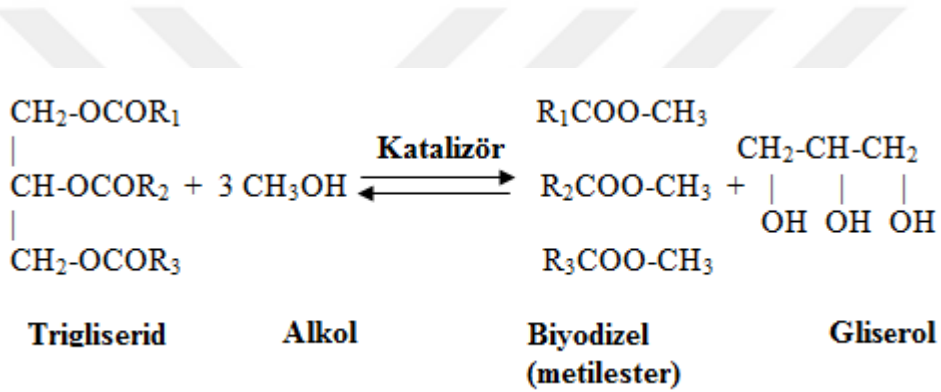
### **Dezavantajları**

- Yanma aşamasında yakıt tüketimi dizele göre daha fazladır.
- Isıl değerinin dizele göre düşük olmasından dolayı yanma sonucunda güç düşüşüne neden olmaktadır.
- Saf biyodizel kullanımında motor parçalarının (yakıt hortumu, contalar ve bağlantı elemanları) biyodizel kullanımına uygun seçilmesi gerekmektedir.
- Biyodizel üretimi sonucu elde edilen gelirin diğer tarım bitkilerine göre fazla olmasından dolayı tercih edilmesinin diğer tarım ürünlerinin fiyatlarının artmasına ve temininde sıkıntı oluşturmaktadır.
- Viskozitesi dizele göre biraz daha yüksektir.
- Doymamış yağ oranına ve çift bağa sahip olmasından dolayı iyot sayısı dizel yakıtına göre yüksektir.
- Kurum oluşumuna ve karbon kalıntılara neden olmaktadır.
- Motor yağını kirletmektedir.
- NO<sub>x</sub> emisyonu dizele göre biraz daha fazladır.
- Soğuk hava şartlarında dizele göre daha çabuk etkilenmektedir. Bunun sebebi ise yüksek akma ve bulutlanma noktasıdır.

### 3. BİYODİZEL

#### 3.1 Biyodizel Nedir?

Fosil kökenli yakıtlarla ilgili krizlerin gün gittikçe daha tehlikeli hale gelmesinden dolayı bu yakıtlara alternatif yakıtlar araştırılmaya başlanmıştır. Alternatif yakıt olarak günümüzde araştırmaların yapıldığı yakıt türlerinden biri de biyodizeldir. Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan (pamuk, aspir, kanola, keten, soya fasulyesi, kolza, yerfıstığı, hindistan cevizi gibi bitkilerden), kullanılmış atık kızartma yağlarından, bir katalizör desteği ve bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda oluşan bir yakıt türüdür (URL 3).



Şekil 3.1 Trigliseritlerin transesterifikasyon reaksiyonu

Biyodizel, biyoyakıtlar grubunda olan, çevreyi kirletmeyen ve yenilenebilir özelliklere sahip sıvıhaldeki bir alternatif yakıttır. Halk arasında biyodizel, “yağmazotu” ismiyle de bilinmektedir (URL 4).

Dizel motorun mucidi Rudolph Dizel, 1893 yılında motorunun denemesini Almanya’da gerçekleştirmiş ve 1898 yılında Paris Dünya Fuarı’nda yer fıstığından elde ettiği yağı yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. Rudolph Dizel “Bitki tohumlarının yağlarından elde edilen yakıtın motorda kullanımının ülkelerin tarımsal alandaki çalışmalarını iyi bir şekilde geliştireceğini” ifade etmesine rağmen bitkisel tohumların yağlarından elde edilen yakıtın günümüzde motorlarda kullanımı önemsiz görünebilir, ancak “Bitkisel yağların zamanla fosil kökenli yakıtlar kadar önem kazanacak” demiştir (Knothe ve ark. , 1996).

Ancak petrolün o zamanlarda ucuz olması günümüzdeki kadar büyük öneme sahip olmamasından dolayı biyodizel alanında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. İlk



zamanlarda motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan bitkisel yağların doğrudan kullanılabilceği düşünülse de motorlar üzerinde yapılan deneme sonucunda, tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar, enjektör memesinde karbon birikmesine, piston segmanının yapışmasına, yağlayıcı yağın seyrelmesine, silindir gömleğinin aşınmasına neden olacak şekilde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca soğukta ilk çalışma problemi, ateşleme kalitesinin ve ısı verimin düşüklüğüne sebep olup bitkisel yağların, direk püskürtmeli dizel motorlarda doğrudan kullanılmasının önündeki en büyük sorundur (Poulton, M.L.,1994).

Bütün bu nedenlerden dolayı bitkisel yağların daha kullanışlı olabilmesi için yapısı, dizel yakıtına yakın olacak şekilde kimyasal değişikliğe uğratılmıştır.

### **3.2 Biyodizelin Özellikleri**

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki dizel yakıtına benzer özellikler gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, doğrudan motorda kullanılabilceği gibi dizel veya başka alkoller ile belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Biyodizel, fosil kökenli yakıtlara oranla daha az emisyon yaymaktadır. Biyodizelin diğer önemli özellikleri aşağıdaki gibidir.

#### **3.2.1 Yoğunluk**

Biyodizelin yoğunluğu dizele göre daha fazladır. Bunun nedeni yapısındaki gliserinden kaynaklanmaktadır. Biyodizel, motorine oranla daha az ısı değere sahiptir. Düşük olan bu ısı değeri dolaylı olarak, motor gücü ve torkunda düşüş olmaktadır. Fakat yüksek yoğunluktan ötürü güç kaybı azalmaktadır (Akyarlı, 2004).

#### **3.2.2 Parlama noktası**

Parlama noktası, yakıtlar için önemli bir özelliktir. Özellikle taşınması ve depolanması parlama noktasını daha bir önemli hale getirmektedir. Parlama noktası için DIN EN22719 standardı kullanılmaktadır (Akyarlı, 2004).

### 3.2.3 Yağlayıcılık

Motor elemanlarının (pistonlar, segmanlar, yakıt pompaları, enjektörler vb.) çalışma esnasında sürtünmeden dolayı aşınmalara uğramaktadır. Bunun önüne geçmek için bahsi geçen parçaların yağlanması gerekir. Kullanılan fosil kökenli dizel yakıtların kükürt oranı emisyonlardan dolayı oldukça düşük tutulur. Bunun sonucunda kükürt miktarı düşürülmüş dizel yakıtların yağlayıcılık özelliği azalmaktadır. Yağlayıcılık özelliğinin iyileştirilmesi için yakıt içine katkı maddeleri katılmaktadır. Ancak katkı maddesi miktarı arttıkça yakıt besleme elemanlarında tortular meydana gelmektedir. Biyodizel bu anlamda yağlayıcılık özelliği çok iyi olan bir yakıttır. Yapılan bazı araştırmalarda % 0.15-0.50 (hac/hac) biyodizel eklenmesi ile kükürt içermeyen fosil kökenli dizel yakıtının standartlarda belirtilen aşınma izi 460 mikrometre değerinin altında kalmıştır (Karahana, 2006).

### 3.2.4 Kalori değeri

Yakıtın kalori değeri, motorun çalışması aşamasında önemlidir ve aynı zamanda yakıt kalitesinin bir kriteridir. Biyodizelin kalori değeri 35 mj/kg'dan daha büyüktür. Kalori değeri için DIN51900-3 metodu kullanılmaktadır (Akyarlı, 2004).

### 3.2.5 Yağlama yağının seyrelmesi

Biyodizelin motorlarda kullanılmasından dolayı ortaya çıkan olumsuzluklardan biri de yağlama yağının seyrelmesidir. Yapılan araştırmalara göre, yağlama yağı seyrelmesinin %4-5 oranında olduğu görülmüştür (Karabektaş, 2002).

Motorun çalışma süresi uzadıkça yağ seyrelmesi artmaktadır. Yağlama yağına karışan motorin kısa sürede buharlaşırken, biyodizel karıştığı zaman buharlaşmaz ve bunun sonucunda motor yağını kısa sürede bozar.

### 3.2.6 Soğukta akış özelliği

Biyodizel, motorine göre daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bunun sonucunda yakıtların soğuk havalarda kullanımında sorun çıkmaktadır. Biyodizel yüksek sıcaklıkta kristalize olur. Kızartma yağlarının ve hayvansal yağlarının doymuş

hidrokarbon sayısı fazladır. Motorun yakıt besleme elemanları yakıtın soğuk akış özelliğinden etkilenmektedir ve bunun sonucunda besleme elemanları hasar görmektedir. Soğuk akışın bir diğer sorunu ise motordaki ilk hareket problemidir (Akyarlı, 2004).

### 3.2.7 Toksik etkisi

Biyodizelin olumsuz herhangi bir toksik etkisine rastlanılmamaktadır. Biyodizelin ağız yolu ile alınmasında ölüme sebep olacak doz 17,4 g biyodizel/kg miktarındadır. Günlük kullanmış olduğumuz sofr tuzunun dahi bu değeri 1.75 g tuz/kg şeklindedir. Bu değerlere bakıldığı zaman sofr tuzunun biyodizele oranla 10 kat daha fazla öldürücü etkiye sahip olduğu görülmektedir. Cilde temas açısından bakıldığında ise biyodizelin %4 'lük sabun çözeltilisinden daha az toksik etkisinin olduğu görülmektedir. Her ne kadar biyodizelin toksik bir etkisi olmasada dizel için gerekli olan standart durumların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması tavsiye edilmektedir (URL 3).

### 3.2.8 Setan sayısı

Dizel yakıtların tutuşma kalitesinin değeridir. Setan sayısının yüksek olması tutuşma gecikmesi zamanını kısaltır. Uzun düz zincirlere sahip doymuş hidrokarbonların setan sayısı yüksektir. Yakıtların kendiliğinden tutuşma sıcaklığı yüksek çıkınca bunun sonucunda vuruntu olayı gerçekleşir. Hidrokarbonların uzunluğu arttıkça setan sayısı artar, bunun yanında çift bağ sayısı arttıkça da setan sayısı azalır. Minimum setan sayısı EN 14214 standardına göredir (Karahan, 2006).

### 3.2.9 Su İçeriği

Bitkisel yağların su içermesi motor için bir olumsuz durum değildir. İstenilen oranların (Su/yakıt) sağlanması durumunda NOx emisyonlarını ve yanma sıcaklığını azaltabilir. Fakat yüksek basınçlı enjeksiyonlu sistemlerde su yakıttan ayrılarak enjektör sistemlerinde çürümelere neden olabilmektedir.

### 3.2.10 Isıl değer

Yakıtların birim kütlelerinin tam olarak yanması sonucu açığa çıkan ısı miktarına denir. Bir diğer adı yanma ısısı ya da kalorifik değerdir. Bir diğer ifadeyle yakıtın birim kütle/hacim başına düşen enerji miktarını belirtir. Isıl değer doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça artar. Doymamış hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça (yani hidrojen sayısı azaldıkça) ısıl değer azalır. Biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı ısıl değeri (yaklaşık %11) dizel yakıtına göre daha düşüktür. Motor performansı olarak dizel motora ulaşmak için enjeksiyon hacminin artırılması gerekir bu da beraberinde yakıt sarfiyatını arttırır.

### 3.3.11 Biyobozunabilirlik

Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur. Su ile karıştırıldığında, biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir (URL 3).

### 3.2.12 Oksidasyon kararlılığı

Fosil kökenli yakıtların oksidasyon kararlılığı biyodizele göre yüksektir. Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksektir. Buna karşın doymamış yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı düşüktür.

### 3.2.13 İyot sayısı

İyot değeri yüksek yakıtlar enjektörlerde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana getirmektedir (Akyarlı, 2004).

### 3.2.14 Kinematik viskozite

Biyodizelin karakteristik özelliklerinden biri de kinematik viskozitedir. Viskozitenin yüksek olması yakıtın fakir atomizasyonuna, enjektörlerin tıkanmasına, kötü yanmaya, segmanlarda karbon tortulaşmasına ve yağlamada kullanılan yağın bozulmasına sebebiyet vermektedir. Viskozitenin yüksek olması aynı zamanda pompalamayı ve enjektörlerdeki püskürtmeyi azaltır. Viskozitenin bağlı olduğu bir

diğer değer ise sıcaklıktır. Biyodizele ait viskozite değeri 40 °C'de 3,5-6 mm<sup>2</sup>/s arasında değişen bir değere sahiptir.

Viskozitenin yüksek çıkması transesterifikasyon işleminin istenilen şekilde oluşmamasından kaynaklanmaktadır (Akyarlı, 2004).

Test metodunda DIN EN ISO 3104 metodu uygulanmaktadır. Viskozitenin yüksek çıkmasından oluşan sorununu özlemek için iki temel strateji vardır;

- Motorda yapılan değişikliklerle yakıtta uyarlanması: Bitkisel yağla çalışan motorlar-stasyonel motorlar.
- Yakıtın motora uydurulması: Biyodizel (Viskozite düşürülmesi).

### 3.2.15 Karbon artığı

Oluşan karbon artığı miktarını bulmak için oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı gözlenmiştir. Yanma sonucu oluşan karbon artığı enjektörlerin delik kısımlarında veya yanma odasında karbon birikmesine neden olmaktadır. Araştırmalar, biyodizelin hemen hemen hiç karbon artığı bırakmadığı ve kullanılan maksimum değerin, miktarın % 0,4'ü kadar olduğunu göstermiştir (Akyarlı, 2004).

### 3.2.16 Kükürt içeriği

Dizel yakıtı kıyasla bitkisel yağların kükürt içeriği düşüktür. Bunun sebebi biyodizelin düşük C/H oranından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucunda da daha düşük emisyon oluşmasına neden olur.

## 3.4 Biyodizel Emisyonları

Biyodizel ile yapılan çalışmalarda şu şekilde emisyonlar elde edilmiştir (URL 5).

- Saf biyodizel kullanılmasıyla kükürt emisyonları hemen hemen yok edilmiştir,
- Yanmamış hidrokarbon, karbon monoksit ve partikül madde miktarında önemli düşüşler elde edilmiştir, buna karşın azot oksit emisyonu biraz artmıştır,
- Toplam hidrokarbon miktarı dizel yakıtı göre hemen hemen yarı yarıya düşüktür,
- Karbonmonoksit emisyonu dizele göre yarı yarıya düşüktür,
- Partikül madde miktarıda hemen hemen yarı yarıya azalmıştır (URL5).

### 3.5 Biyodizelin Malzeme Uyumu

Biyodizelin çözücülüğü orta sınıf değerindedir. Boyalı bazı yüzeylerdeki boyaları sökebilir. Biyodizel yakıt deposunda kullanılmadan önce deponun içi temizlenmelidir. Çünkü biyodizelin çözücülüğünden dolayı daha önce kullanılan dizelden dolayı tortular oluşmaktadır. Oluşan bu tortular biyodizel kullanılmasıyla beraber çözünerek yakıt filtresi ve enjektörlerin tıkanmasına sebep olmaktadır. Biyodizeldeki oksidasyondan dolayı organik asitler oluşmaktadır.

Meydana gelen bu asitler pirinç, bakır, bronz ve diğer bakır alaşımları ile çinko ve çinko alaşımlarını içeren malzemelere etki eder;

Motorda, bakır rekorlarda, bakır borularda ve pirinç regülatörlerde kurşun ve çinko kaplamadan uzak durulmalıdır. Çünkü yakıt bu parçalarda tortu bırakır ve bu tortularda filtrelerde tıkanmalara neden olur. Mümkün oldukça çelik ve alüminyum malzemeler tercih edilmelidir.

Ayrıca biyodizelin çeşitli kauçuk, metal ve plastik parçalar üzerinde korozyon etkisinin olduğubazı araştırmacılarca belirtilmiştir. Bunun yanında ester içerikli yakıtların malzeme ile uzun süreli temasında boyalar üzerinde çözücü etkisi olduğu, bunun önüne geçmek için dayanıklı boyanın kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Karahana, 2006).

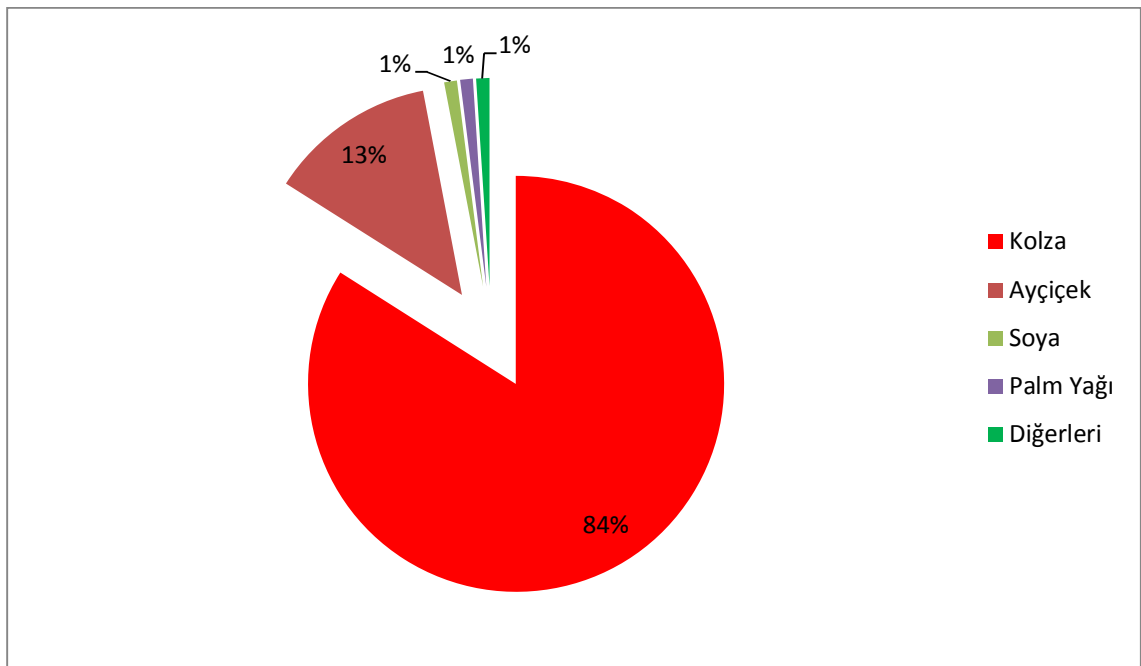
### 3.6 Biyodizelin Depolanması

Biyodizel, dizelin depolandığı depo ve tanklarda saklanabilir. Bu saklama süresi bir yıl kadardır. Bugüne kadar yapılan araştırmalarda biyodizelin depo edilmesi ile ilgili herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Biyodizel depolanırken mümkün olduğunca depolandığı tanklar tamamen dolu tutulmalıdır. Depo tamamen dolu tutulmadığında biyodizel hava ile temas etmiş olur. Nemli ve ılık şartlarda depolama yapılırken biyodizele biyosit adı verilen katkı maddesi ilave edilir. Bu maddenin amacı tankın içerisindeki mikroorganizmaları yok etmektir. İlave edilecek biyosit miktarı yaklaşık olarak 50 gr. kadardır (Schumacher, 1997).

### 3.7 Biyodizelin Elde Edilmesinde Kullanılan Hammaddeler

Biyodizelin elde edilmesinde kullanılan yağlar şu şekilde sıralanabilir:

- Bitkisel Yağlar: Aspir, Kolza, Ayçiçek, Pamuk, Soya, Palm Yağları
- Hayvansal Yağlar: Donmuş Yağlar, Balık ve Kanatlı Yağları
- Atık Bitkisel Yağlar: Yemek Yapımında Kullanılmış Yağlar
- Geri Kazanım Yağları: Hurda Yağı
- Şehir ve Endüstri Kökenli Atık Geri Kazanım Yağları



Şekil 3.2 Biyodizel elde edilmesinde kullanılan hammadde kaynakları

Şekil 3.2'de biyodizelin elde edilmesinde kullanılan hammadde kaynaklarının dağılımı görülmektedir. Şekil 3.2'ye bakıldığında kolza yağı biyodizel üretiminde en fazla kullanılan bitkisel yağ çeşididir. Kolza yağından biyodizel elde eden ülkelerin başında Almanya ve Avusturya gelmektedir. Ayçiçek yağından biyodizel üretiminde Fransa ve İtalya, soya yağından biyodizel elde edilmesinde ABD, kullanılmış yemeklik yağdan biyodizel üretiminde ise İngiltere lider durumdadır.

### 3.8 Biyodizelin Yakıt Kalitesinin Arttırılması

Dizel motorlarda kullanılan bitkisel yağların kullanımında karşılaşılan en büyük sorunların başında yüksek viskozite gelmektedir. Kullanılan bitkisel yağların viskozitelerinin yüksek olmasından dolayı püskürtmede zorluklar yaşanmaktadır. Bu da beraberinde iyi bir atomizasyon sağlamamakta olup sonucunda yanma verimi de düşmektedir. Bu sorunu belirli oranda azaltmak için motorinle karıştırılarak kullanımı uygun görüldüğü araştırmalarla belirtilmiştir. Viskozitenin azaltılması kimyasal ve ısıl yöntemlerle yapılmaktadır.





#### 4. ASPIR BİTKİSİ VE YAĞI

Aspir, papatyagiller familyasından olup boyu yaklaşık 60-100 cm. olan bir bitkidir. Biyodizel hammaddesi olan aspir ülkemiz şartlarında tarımı yapılabilen yüksek oranda oleik asit içeren bir bitkidir. Dikenli ve dikensiz çeşitleri olup sarı, kırmızı, turuncu, beyaz gibi farklı renklerde çiçek açabilen ve tohumunda yaklaşık % 30-45 civarında yağ bulunan bir yıllık bir yağ bitkisidir. Aspir bitkisinin, papağan yemi, boyacı aspiri, kır safranı ve haspir gibi isimleri de bulunmaktadır. Safran bitkisine benzerliğinden dolayı yalancı safran ismini de almaktadır. Anavatanı İran, Hindistan, Arabistan yarımadası ve Pakistan'dır. Ülkemizde ise tarımının uygun olduğu bölgelerimiz özellikle Güney ve Orta Anadolu'dur.

Aspir yağının önemli özelliği, doymuş yağ asitleri oranının düşük, doymamış yağ asitleri oranının yüksek olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı renkkoyuluğu görülmemekle birlikte batılı ülkelerde mayonez, margarin ve salata yağı olarak kullanılmaktadır. Aspir yağı, ayrıca vernik, boya, sabun ve cila yapımında da kullanılmaktadır. Tıp alanında ise romatizmal ağrılara karşı kullanılmaktadır.

Aspirden yağ elde edildikten sonra geriye kalan küspe, çiftlik hayvanlarının yemlerine karıştırılarak değerlendirilmektedir. Soğuğa dayanıklı olmasından dolayı ilkbaharda ekimi yapılmaktadır. Erken ekiminden dolayı verimi yüksek olmaktadır. Kuvvetli kök yapısına sahip olmasından dolayı kurak bölgelerde yetiştirildiği zaman topraktaki sudan en iyi şekilde faydalanabilmektedir.



Şekil 4.1 Aspir Bitkisi (URL 6)

#### 4.1 Aspir Bitkisinin Tarihi

Aspir bitkisi 3000 yıl kadar önce Orta Doğu'da kültüre alınmaya başlanmış eski bir kültür bitkisidir. Eski Mısır'da MÖ 2000'li yıllarda özellikle tohumlarında bulunan yağ ve çiçeklerindeki boyamada kullanılan maddeler nedeniyle kültüre alındığına dair bilgiler vardır. Mısır Kralı Amenophis'in mumyasında MÖ 1600 yıllarında aspir bitkisinin çiçeklerine rastlanmıştır. Ibn Battuta 1325-1354 yılları arasındaki Afrika ve Asya seyahatlerinde Orta Çağda Arap Ülkeleri'nde özellikle ilaç ve baharat amaçlı kullanılan aspiden bahsetmiştir. Aspir bitkisinin ismi eski Yunan tıpcısı Dioscorides tarafından tanımlanan 600 tıbbi bitki arasında bulunmaktadır.

Arapların V. Yüzyıl ve VI. Yüzyıllarda İber Yarım Adası'ndan Avrupa'ya geçişleri aşamasında aspir bitkisi de Avrupa'ya girmiş, uzun bir zaman bahçelerde boya ve süs bitkisi olarak kullanılmıştır.

Hindistan'da halen günümüzde aspir bitkisinin tohumları saf bir şekilde aspir yağı elde edilmesinde veya susam tohumları ve yer fıstığı ile beraber işlenerek "sweet oil" adı verilen yemeklik yağ imalatında yaygın şekilde değerlendirilmektedir (Weiss, 2000).

Amerika kıtasına Aspir bitkisi İspanyol ve Portekiz gemicileri tarafından götürülmüş olup, ABD'de yaygınlaşmasında 20. yy başlarında Kalifornia Üniversitesi'nde yapılan araştırmalar önemli rol oynamıştır. İkinci dünya savaşından sonra Amerika'ya yüksek oleik asit içeren ve yüksek verimli çeşitlerin geliştirilmesiyle aspir bitkisi önemli yağ bitkileri arasına girmiştir (Uysal 2006).



Gelendost-1 (Dikenli-Turuncu) Gelendost-2 (Dikensiz-Turuncu)

Şekil 4.2 Aspir çeşitleri (Uysal, 2006)

## 4.2 Aspir Bitkisinin Yetiştirilmesi

Aspir bitkisinde ürün alma zamanı ortalama 120-130 gündür. Aspir bitkisinin çimlenmesi toprağın sıcaklığı 5 °C'ye vardığında gerçekleşmektedir. Aspir ürün alınana kadarki dönem içerisinde 300 mm'lik yağışa gerek duymaktadır. Aspir bitkisinin tarımı, toprak bakımından çokça seçici olmamasına rağmen, verimli, drenaj problemi olmayan, derin, PH değeri nötr yada nötre yakın olduğunda uygundur.

Aspir bitkisinin ekimi yapılacağı zaman, tarla hazırlığına sonbaharda mevsiminde toprak tavadan iken derin sürüm yapılarak başlanır. İlkbaharda mevsiminde ise tarlaya girilebilecek en erken zamanda toprak ekime hazır hale getirilir.

Aspir, İç Anadolu Bölgesinde, toprak sıcaklığının +4 °C ve üzerinde olduğu 15 Mart ile 15 Nisan tarihleri arasında ekilir. Sonbaharda mevsiminde ekim-kasım ayları gibi kışlık olarak da ekim yapılmaktadır. Aspir tarımında en önemli bakım işi gübreleme ve yabancı ot mücadelesidir. Ekim işine girilmeden önce ilaçlama işlemi

gerçekleştirilerek yabancı ot oluşumu azaltılır. Çünkü yabancı otlar en fazla fide döneminde etkili olurlar.

Ülkemizde aspir tarımında her ne kadar önemli bir hastalık görülmesede, yağışlı geçen yıllarda ve bölgelerde Aspir pası (Pucciniacarthami) adı verilen hastalık görülmektedir. Hasat zamanı bitkiler kuruyup renk bakımından sarı ve kahverengi olurlar. Aspir hasadı için hububatta kullanılan biçerdöverler kullanılabilir. Ancak kullanılan biçerdöverlerin, aspire göre vantilatör ayarının ve batör-kontrabatör yapılması gerekmektedir (Babaoğlu ve Nazlıcan, 2007).

### **4.3 Aspir Yağının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri**

Aspir tohumunda yaklaşık olarak %13-46 oranında yağ bulundurmakta ve bu yağın yaklaşık %90'ı doymamış yağ asitlerinden (linoleik asit ve oleik asit) meydana gelmektedir (Lee ve ark., 2004). Aspir yağı özellikle yüksek linoleik asit (omega-6) içeriğinden dolayı diğer bitkisel yağlardan ayrılmaktadır. Aspir yağı %75 linoleik asit içeren antioksidan etkisi ve E vitamini bakımından yüksek olan tokoferoller içermektedir. Bundan dolayı aspir yağı kalp ve damar hastalarının uyguladıkları diyetlerde kullanılmakta ve antikolesterol etkisinden dolayı büyük bir öneme sahiptir (Weiss, 2000).

### **4.4 Yaygın Olarak Kullanılmayan Alternatif Yakıtlar**

#### **4.4.1. Alkoller**

Alternatif yakıt olarak göz önüne alınan alkol ve karışımları birçok ülkede yüksek bir kullanım seviyesine çıkmıştır. Alkol, kömür ve tarım ürünlerinden elde edilmektedir. Ülkemizin tarım ülkesi olması nedeniyle ve zengin linyit kaynaklarının bulunması ayrıca petrol ithal eden ülkelerin başında gelmesinden dolayı alkolün ülkemiz için önemli bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Alkollerin motor yakıtlarına alternatif yakıt olmasının nedenlerinden biride emisyonlarının düşük olmasıdır

Metanol ve etanol, benzin ile çalışan motorlarda saf olarak kullanılabilceği gibi farklı oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir.

**Metanol**, kimyasal formülü  $\text{CH}_3\text{-OH}$  şeklindedir. Metil alkol çok hafif hissedilebilen, kokusuz, renksiz, zehirli bir alkoldür. Metanol motorin ve benzine oranla daha geniş tutuşma aralığına sahiptir. Be nedenle depoda bulunan doymuş buhar, çevre sıcaklıklarında patlayıcı olabilme özelliğine sahiptir. Ağırlığının yaklaşık %49.9 kadarını, yakıcı özelliğe sahip oksijen oluşturur. Stokiyometrik karışımda ihtiyaç duyulan kütleli hava miktarı 6.44 kg kadardır. Bu özelliği egzoz emisyonları bakımından bir avantaj olmasına karşın alt ısı değerinin benzine oranla 2.2 kat daha az olması bir dezavantajdır.

Metanolun gizli buharlaşma ısı değeri çok yüksektir. Yüksek olan bu değer metanolun emme manifoldunda buhar fazına geçmesine ve benzine göre 4 kat daha fazla ısı çekmesine sebep olmaktadır. Bu durum karbüratör çıkışında buharlaşmak için yeterli ısıyı bulamayan metil alkolün silindir içerisine sıvı fazda giriş yapacağından HC emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda sıvı yakıtın silindir cidarlarındaki yağ filmini bozacağı, kartere kadar inen sıvı metil alkolün motor yağını da bozacağı bilinen bir durumdur.

**Etanol**, saydam, hafif kokulu ve renksiz bir sıvıdır. Kimyasal formülü  $\text{C}_2\text{H}_5\text{-OH}$  şeklinde olan etanol motor özellikleri açısından hemen hemen metanolla aynı sayılabilir. Etanolun buharlaşma gizli ısısı metanoldan 1.3 kat daha düşüktür. Buharlaşma aşamasında emme manifoldundan daha az ısı çekilmesi motora soğuk havalarda ilk hareket kolaylığı sağlamaktadır. Metanole göre enerji yoğunluğu daha yüksektir. Bu durum motorlu taşıtlarda daha küçük ebatlarda yakıt deposunun kullanılmasına olanak tanımaktadır.

**Propanol**, üç karbonlu olup doymuş alifatik alkol grubuna mahsustur. Normal propanolün (n-propanol) formülü  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  şeklinde olup, buna 1-propanol de denmektedir. Kimyasal özellikleri bakımından etanole çok benzemektedir. Zehirli, akışkan, renksiz, keskin ve hoş olmayan bir kokuya sahiptir. Molekül kütlesi 60,09 g/mol , erime noktası  $-127\text{ }^\circ\text{C}$ , kaynama noktası  $97,2\text{ }^\circ\text{C}$  ve özkütlesi  $20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $0,804\text{ g/cm}^3$  tür. Suda ve organik çözücülerde çözünür. n-Propanol, karbon monoksit ve hidrojenden metil alkol elde edilirken, propan ve bütanın oksidasyonu esnasında ve Fischer-Tropsch reaksiyonunda yan ürün olarak elde edilir.

#### 4.4.2 Alkol yakıtların avantaj ve dezavantajları

Alkolün yaygın bir şekilde kullanılmasını engelleyen en belirgin faktör; dünya petrol rezervlerinin halen ihtiyaca cevap vermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bunun yanında alkollerin birim kütle başına düşen ısı değerinin düşük olması ve buna bağlı olarak maliyetinin benzine göre fazla çıkması da bir engeldir.

Alkollerin alternatif yakıt olarak motorlarda kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz (Knowles, 1984).

- Alkoller benzine oranla daha fakir karışımlarda çalışabilirler,
- Alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine kullanılabilir,
- Saf metanol kullanılan bir motorun performansında benzine göre %10 daha fazla güç artışı görülmüştür,
- Oktan sayısı yaklaşık olarak 90-100 olan benzin ile alkol karıştırıldığında, karışımın oktan sayısı 110 gibi bir değere çıkmaktadır ki; bu değer motor performansını arttırabilir. %90 benzin karışımına %10 metanol karıştırıldığında karışımın oktan sayısı 95 olmaktadır.
- Motorun bazı benzin yakıt sisteminin parçaları alkol ile uyumlu değildir. Özellikle eğer benzin tankı kurşun-kalay alaşımı ile kaplı ise alkol kullanımı yakıt tankında hasara sebep olmaktadır.
- Benzinden alkole dönüştürülmüş olan yakıt sistemlerinin filtrelerinde alkol tıkanmaya neden olmaktadır.
- Ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler.
- Alkollerin istenmeyen bir özelliği de atmosferden nem kapma durumudur. Bunun önüne geçmek için yakıt tanklarındaki yakıt filtreleri yenilenmelidir. Ayrıca bu özelliğinden dolayı taşınması ve dağıtımı esnasında dikkat gerekmektedir.
- Alkol - benzin karışımının içerisine su karışmışsa, bunun sonucunda özellikle soğuk havalarda faz ayrışması meydana gelir. Faz ayrışması olayı daha çok metanollü karışımlarda meydana gelmektedir.
- Benzinin yerini alkollerin alması durumunda, yeni alkol imalat, üretim ve dağıtım istasyonlarının kurulmasını gerektirmektedir. Bu da büyük maddi sıkıntılara neden olacaktır.
- Alkollerdeki yüksek gizli buharlaşmadan dolayı araç trafikte iken güç düşmesi problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bunun önüne geçmek için emme manifoldundaki ısıyı devamlı yüksek tutmak gerekmektedir.

## 5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karaosmanoğlu (2002), yaptığı çalışmalarında, bitkisel tohumlardan elde edilen yağlar üzerine yapılan işlemler sonucunda elde edilen yakıtları biyomotorin olarak isimlendirmiş. Ülkemizde her çeşit yağlı bitki tohum tarımının mümkün olduğunu, mevcut teknolojiler kullanılarak biyomotorin imalatının yapılabileceğini ve kullanılabileceğini belirtmiştir (Karaosmanoğlu, 2002).

Erdoğan (1991), yaptığı çalışmalarında, bitki kaynaklı yağların dizel motorlarında kullanılmasını araştırmış. Yapmış olduğu çalışmaların neticesinde, bitkisel yağların tam atomizasyon oluşturamamasından ve bunun neticesinde de yanmanın tam olarak oluşmaması sonucunda, dizel motorlarda direkt yakıt kullanımının mümkün olmadığını belirtmiştir. Ama bazı hallerde bitkisel yağların dizel yakıtın içine uygun oranda katılarak kullanılabileceğini, ayrıca çeşitli kimyasal yöntemler uygulanarak bitkisel yağların yakıt özelliklerinin düzeltilebileceğini belirtmiştir (Erdoğan, 1991).

Işığgür (1992), araştırmasında, yüksek viskozite değerine sahip bitkisel yağların viskozitelerini düşürme yöntemleri olarak, seyreltme ve transesterifikasyon yöntemlerini kullanmıştır. Bu alandaki çalışmalarını imal ettiği aspir bitkisi yağına uygulamış, motor üzerinde gerekli çalışmalarını gerçekleştirmiş ve dizel yakıtına alternatif bir yakıt olup olmadığını araştırmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde özellikle emisyon değerlerinde düşme görüldüğünü belirtmiştir (Işığgür, 1992).

Acaroğlu ve Demirbağ (2005), aspir yağından biyodizel elde etmek için üretim aşamasında ortaya çıkan masrafı ortaya koymuş ve biyodizel üretiminin litre başına 0,55 € civarında olduğunu tespit etmişlerdir [Acaroğlu ve Demirbağ (2005)].

Ziejewski ve ark. (1996), yüksek oleik asidi içerikli %25 oranında ayçiçek yağı ile %75 D2 dizel yakıtı ve yüksek oleik asidi içerikli %25 oranında aspir yağı ile %75 D2 dizel yakıtını karıştırarak, EMA'nın (The Engine Manufacturers Association) 200 saatlik dayanıklılık test prosedürüne göre karışımların motor parçaları üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda araştırmacılar, karbonlaşma oranının emme supabının kafasında aspir yağlı karışım için 2,20, ayçiçek yağlı karışım için 2,20, D2 için 2,00 olduğunu belirtmişlerdir. Karbonlaşma oranının piston tepesinde, aspir yağlı karışım için 1,44 ayçiçek yağlı karışım için 1,50 D2 dizel yakıtı için 1,46 olduğunu tespit etmişlerdir. Ziejewski ve ark.(2006), üç test yakıtının motor parçalarında yapmış

olduğu karbonlaşma miktarları arasında önemli bir fark olmadığını ifade belirtmişlerdir (Ziejewski ve ark., 2006).

Işığığür ve ark. (1994), aspir yağından biyodizel üretimi ile ilgili katalizör olarak kullanılan potasyum hidroksitin sodyum hidroksite nazaran daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir (Işığığür ve ark., 1994).

Kusdiana ve Saka (2000), çalışmalarında, kolza yağından biyodizel elde etmek için süper kritik yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde katalizör kullanmadan sıcaklık değerinin yüksek tutulup 240 saniyelik bir sürede esterleştirme olabileceğini göstermişlerdir. Sonuç olarak transesterifikasyon ve süper kritik yöntemlerinden elde edilen metil esteri oranları arasında karşılaştırma yapılmış ve süper kritik yöntemde elde edilen metil esteri oranının %1,5 oranında daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (Kusdiana ve Saka 2000).

Lauperta ve ark. (2007), yaptıkları literatür araştırmasına göre SCI Journals'da 1992 - 2005 yılları arasında yayınlanmış çalışmaların yaklaşık %96'sında biyodizelin tam yükte motorun efektif gücünde azalmaya sebep olduğunu vurgulamışlar. Bu azalmanın motor tipine, yakıt cinsine, çalışma sıcaklığına ve yükleme şartlarına göre değiştiği belirtilmiştir. Daha dikkatli incelendiğinde bu güç kaybının asıl sebebinin düşük ısı değer ve yüksek viskoziteden kaynaklanan kötü atomizasyon sonucu oluşan kötü yanmadan kaynaklandığı görülmüştür (Lauperta ve ark., 2007).

Lauperta ve ark. (2007), yaptıkları çalışmalarda, özgül yakıt tüketiminin yakıtın ısı kapasitesi farkından ve erken püskürtmeden dolayı biyodizel miktarına bağlı olarak artış gösterebileceğini belirtmiştir. Yaptıkları istatistik çalışmalarına göre, çalışmaların %98'inde özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir (Rakopoulos ve ark., 2004).

Rakopoulos ve ark. (2004), yaptıkları literatür araştırmalarında ise, biyodizelin içerdiği oksijen miktarıyla yakıt tüketiminin doğru orantılı olarak arttığını ortaya koymuşlardır. Bunun nedeninin, artan oksijen miktarının yakıtın ısı kapasitesini düşürdüğü şeklinde gözlemlenmiştir (Labeckas G, Slavinskas S., 2006).

Labeckas ve Slavinskas (2006), yaptıkları araştırmalarında, kanola yağının %5, %10, %20 ve %35 oranlarında dizel ile karıştırıldığında, karışımın termik verimlerini incelemişlerdir. Bunun sonucunda en iyi termik verimin %5 ve %10'luk karışımlarda elde edildiğini belirtmişlerdir (Ramadhas ve ark., 2005).

Gleri (2005), yaptığı araştırmada, dizel motorlarında kanola yağı metil esterinin alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kanola yağından elde edilen metil esteri, 4 silindirli, turbo şarjlıve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 1750-4400



dev/dk aralığında tam yük deneyine tabi tutularak emisyon ve motorun performans değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, kanola yağının metil esteri ile elde edilen motorun performans değerlerinin motorin ile elde edilen motorun performans değerlerine yakın olduğu görülmüştür (Gleri, 2005).

Koçak (2005), yaptığı çalışmada, fındık yağının metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilceğini test etmiştir. Fındık yağının metil esteri, turbo şarjlı, 4 silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda 1750-4500 d/d arasında tam yük deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre; fındık yağının metil esteri ile elde edilen motorun performans değerlerinin motorin ile elde edilen motorun performans değerlerine yakın olduğu belirtilmiştir. Özgül yakıt tüketiminin artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak da fındık yağı metil esterinin ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Koçak, 2005).

Lauperta ve ark. (2007), yaptıkları literatür araştırmasına göre NOx emisyonları ile ilgili elde edilen sonuçlara göre çalışmaları dörde ayırmışlardır (Lapuerta ve ark., 2007).

1. Bu araştırmaların yaklaşık %85'lik bir kısmında NOx emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. NOx emisyon miktarının karışımda kullanılan biyodizel oranıyla doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir (Schumacher ve ark., 1994).

Marshall ve ark. (1995), yapmış oldukları bir başka araştırmada ise %20 biyodizel karışimli bir yakıt ile NOx emisyonlarında %3,7'lik artış gerçekleşmişken, %30 biyodizel karışımda ise sadece %1,2'lik bir artış gerçekleşmiştir (Marshall ve ark., 1995).

2. Bazı araştırmacılar ise NOx emisyonlarının belirli çalışma koşullarında yüksek olabileceğini belirtmişlerdir.

Serdari ve ark. (1999), yaptıkları araştırmalarda, NOx miktarının motor tipine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuşlardır (Serdari ve ark., 1999).

Hamasaki ve ark. (2001), çalışmaları sonucunda, NOx miktarının hafif yüklerde azaldığını, ağır yüklerde ise arttığını gözlemlenmişlerdir. Bunun da düşük yüklerde yanmanın setan sayısına daha duyarlı olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Hamasaki ve ark., 2001).

3. Bir kısım araştırmacı ise herhangi bir değişiklikte karşılaşmadıklarını belirtmişlerdir.

Durbin ve ark. (2000), araştırmalarında, %20 biyodizel katkılı bir yakıt ve saf biyodizel ile yaptıkları çalışmada hemen hemen dizel yakıtı ile aynı sonuçları elde ettiklerini belirtmişlerdir (Durbin ve ark., 2000).

4. Düşük sayıdaki bir araştırmacı grubu da NOx miktarlarında azalma tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar, NOx miktarının yüksek setan sayısına bağlı olarak azaldığını tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin erken başlayan yanma neticesinde daha düşük sıcaklık ve basınç değerleri gösterilmektedir (Schmidt ve Van Gerpen, 1996). Ayrıca doymuş esterlerde yüksek setan sayısı nedeniyle daha düşük NOx sonuçları elde edilmektedir. Common rail yakıt enjeksiyon sistemlerinde setan sayısı önemsiz hale gelmektedir (McCormick ve ark., 2005).

Araştırmacılar, biyodizel veya biyodizel-dizel karışımlarında NOx miktarının artmasını çeşitli nedenlere bağlamaktadırlar. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Araştırmacıların birçoğu, NOx artışını erken püskürtme sonucunda başlayan erken yanmaya bağlamaktadırlar. Ancak bu fikir Schmidt ve Van Gerpen (1996) tarafından öne sürülen fikirle tamamen zıtlık göstermiştir.

Bir grup ise NOx miktarının yükselme sebebini biyodizeldeki düşük PM miktarı ile azalan ışmanın etkisiyle alev sıcaklığının artmasına bağlamaktadırlar (Cheng ve ark., 2006).

Bazı araştırmacılara göre de, NOx emisyon miktarının arttırmasındaki nedeni biyodizelin yapısında bulunan oksijen ve oksijence zengin dolgu havasına bağlamaktadırlar (Song ve ark., 2004).

NOx miktarının artmasının bir diğer nedeni de, İyot sayısının artmasına (doymamış yağ oranı ve yapısındaki çift bağlarla doğru orantılı bir sayı) bağlıdır (EPA, 2002).

Ergeneman ve ark. (1997 ), normal dizel, soya, zeytinyağı, mısır ve ayçiçeği yağı ile elde edilen biyodizel ile yapılan deneyde sıkıştırma oranı 19 olan bir motorun azot oksit emisyonlarını karşılaştırmışlardır. En düşük NOx emisyonunu dizel yakıtında, enyüksek NOx emisyonunun biyodizelde elde edildiğini belirtmişlerdir (Ergeneman ve ark., 1997a).

Krahl ve ark. (1996), yaptıkları literatür çalışmasında PM emisyonlarının kanola yağı metil esteri ile çalışan bir motorda daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bazı araştırmalarda da duman miktarının hem PM emisyonlarının biyodizel kullanımında düştüğünü göstermiştir (Krahl ve ark.,1996).

Çanakçı ve Wan Gerpen (2001), atık yağı biyodizeli ve soya yağı ile yaptıkları çalışmada PM emisyonlarında %65 oranında düşüş elde etmişlerdir (Çanakçı ve Van Gerpen , 2001).

Yapılan bazı araştırmalarda da PM emisyonunun standart dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizel kullanımında değime göstermediği ve biyodizel kullanımında ise bu emisyonların arttığı gözlemlenmiştir. Bir diğer sonuç ise, PM emisyonunun uçuculuğu az olan yanmamış hidrokarbonlardan (HC) dolayı ortaya çıktığı yapılan araştırmalarda elde edilmiştir (L. Turrio-Baldassarri ve ark., 2004).

Lapuerta ve ark. (2007), yaptıkları literatür araştırmasına göre, araştırmacıların %95'i biyodizel kullanımının sonucunda Hidrokarbon (HC) emisyonları değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Last ve ark. (1995), yaptıkları araştırmada, düşük karışım oranlarının HC değerinin azalmasında yüksek karışım oranlarına göre daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Çanakçı ve Van Gerpen (2001), araştırmalarını turbo şarjlı, direkt enjeksiyonlu motorlarda yapmışlar. Bu araştırmanın sonucunda tüm biyodizel çeşitleri için HC emisyonlarında %50'lik bir azalma olduğunu bulmuşlardır.

Monyem ve ark. (2001), yaptıkları araştırmada, okside olmuş biyodizelin okside olmamış biyodizele göre daha düşük HC emisyon değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Storey ve ark. (2005), yaptıkları araştırmalarında, erken püskürtme zamanının daha düşük HC emisyonlarına neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Choi ve ark. (1997), yaptıkları araştırmalarda, tek silindirli bir dizel motorda soya yağından elde edilmiş biyodizel ile yaptıkları çalışmada, düşük yüklerde CO emisyonunda herhangi bir azalma tespit edilememiş ancak yüksek yüklerde azalmalar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

## **5.1 Biyodizelin Motorlarda Kullanımı**

2005 yılında Avrupa Birliği Ülkelerinde alınan kararlar benzine ve motorine %2 oranında biyoetanol ve biyodizel katma zorunluluğunun ülkemizde de uygulamaya geçilmesi için gerekli çalışmaları yapılmıştır (Öğüt ve ark., 2005). Bunun sonucunda Türkiye'de benzine tüketimi 4.5 milyon m<sup>3</sup>, buna karşılık olarak %2 'lik oran 90 bin m<sup>3</sup>

biyoetanol, 12 milyon m<sup>3</sup> motorin için de %2'lik oran 240 bin m<sup>3</sup>, biyodizele ihtiyacı olduğunu vurgulamıştır.

Öğüt ve ark. (2007), araştırmalarında, özellikle tarım alanında “Bitkisel Yağın Uygun Traktörlerde Yakıt Olarak Kullanılabilmesi” için “Yakıt Amaçlı Bitkisel Yağ Standardının” oluşturulması gerektiğini ve bunun sonucunda da yağ bitkilerinin tarımının yaygınlaştırabileceğini vurgulamıştır.

Atabey (2009), yaptığı araştırma için, aspir bitkisinin farklı ekim zamanlarının biyodizel kalitesinin özellikleri hakkında sonuçlar elde etmek için 2006 yılında Ankara Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Deneme Tarlası'nda çalışmıştır. Yaptığı çalışmada üç farklı aspir çeşidinin üç farklı ekim zamanlarında elde edilen yağ ile biyodizel elde edilmiştir. Çeşit olarak Yenice, Dinçer ve Remzibey ve ekim zamanı olarak 28 Mart, 27 Nisan ve 25 Mayıs seçilmiştir

Yapılan çalışmalar sonucunda, biyodizel standardına göre yüksek kaliteli biyodizel üretimi hedeflendiği durumlarda Remzibey çeşidinin kullanılması uygun görülmüştür.

Eryılmaz (2009), yaptığı bu çalışmada, yabancı hardal tohumundan elde edilen yağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemiştir. Daha sonra bu yağdan transesterifikasyon yöntemini kullanarak yabancı hardal yağı metil esteri (YHME) elde edilmiştir. Elde ettiği B100 özelliğindeki biyodizeli motorinle %20 ve %2 hacimsel oranlarında karıştırarak, B20 ve B2 özelliklerinde yakıtlar elde edilmiştir. Daha sonra yakıtların (B100, B20 ve B2) kimyasal, fiziksel ve yakıt özellikleri belirlenmiştir. Bu yakıtlar, 3 silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli TÜMOSAN 3D 29T, 60 BG, dizel motorunda kullanılarak motorin ile karşılaştırılmış ve yakıt tüketimi, güç, moment, motor gürültü seviyesi ve duman yoğunluğu incelenmiştir.

Bannister ve ark. (2009), araştırmasında, hayvansal yağlar, bitkisel yağlar, veya atık yağlar içindeki trigliseridler transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmiştir. Elde edilen biyodizel motorin ile hacimce %5, %10, %20, %30 ve %50 değerlerinde karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışımlar Common-rail direk enjeksiyonlu bir araçla, belirli süratlerde yapılan deneylerde motor performan değerleri ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Egzoz emisyonlarında da NOx in dışında azalma görülmüştü. Motor gücünde ise biyodizel oransal olarak arttıkça azalma sergilenmiştir. Ayrıca biyodizel oranının artmasıyla yakıt tüketiminin de arttığı görülmüştür.

Ghobadian ve ark. (2009), yapmış olduğu çalışmada, atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin, dizel motor performans değerlerine ve emisyon değerlerine

etkisini yapay sinir ağlarını kullanarak analizleri üzerinde çalışmış. Deneyleri için atık yağları bir lokantadan elde etmiş. Atık yağlardan üretilen biyodizel uygun standartlarda ölçülmüştür. Bu atık yağlardan elde edilen biyodizelin dizel motorundaki güç, tork ve egzoz emisyon değerlerinin sonuçları bir yapay sinir ağıyla değerlendirilmiştir. Biyodizel ve dizel karışımı, 2 silindirli ve 4 zamanlı bir dizel motorunda farklı motor hızlarında ve tam yük durumlarında test edilmiştir. Test sonuçları yapay sinir ağı kullanılarak elde edilen sonuçlar gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda kullanılan biyodizelin dizel motorda kullanılmasıyla motor performansında ve emisyon değerlerinde iyileşmeler görülmüştür. Bunun sonucunda yapay sinir ağının motor performansının ve emisyonlarının tespitinde kullanılabileceği görülmüştür.

Eevera ve ark. (2009), araştırmasında, palmye yağı, Hindistan cevizi yağı, yer fıstığı yağı ve pirinç kepeği yağı gibi yağlarla, pongamia, neem (Hindistan ülkesindeki bir bitki) ve pamuk tohumundan elde edilen gıda özelliği olmayan yağlardan biyodizel üretimi yapmıştır. Biyodizel üretilirken, bu sürece etki eden katalizörün türü ve miktarı, reaksiyon süresi ve reaksiyon sıcaklığı gibi değerler göz önünde tutularak optimum noktanın bulunması için deneyler yapmıştır. Deney sonucunda biyodizelin, asit oranı değeri, özgül ağırlık, nem oranı, iyon sayısı gibi yakıt özellikleri saptanmıştır. İyon ve setan sayısı gözönüne alındığında, Hindistan cevizi ve palmyeden elde edilen biyodizelin soğuk hava şartlarında dizel motorlarında kullanılmasının uygun olmadığı bunu yanında sıcak iklim durumlarında bu yakıtların kullanılabileceğini saptamıştır.

Gümüş ve Kaşifoğlu (2010), çalışmalarında, kayısı çekirdeği yağından elde edilen biyodizelin dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırarak dizel motorunda denenmiştir. Deneyde kullanılan motor, tek silindirli Lombardini 6 LD 400 motorudur. Yakıt oranları B5, B20, B50, B100 şeklinde olup, dizel yakıtların motor performansı ve emisyonu deneylerine sokulmuş. Bu deneylerin neticesinde, B5 ve B20 oranlarındaki karışımların özelliklerinin dizel yakıttan daha iyi güç özelliklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ama bunun yanında B50 ve B100 yakıtlarının kullanılması sonucu motor gücünde düşüş gözlenmiştir. Biyodizel oranının artmasıyla emisyon değerlerinde iyileşmeler görülmüştür. Deney sonucunda motor performansı ve emisyonu testleri değerlerinin kayısı çekirdeklerinden elde edilen biyodizelin, dizel motorunda herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan kullanılabileceği belirlenmiştir.

İlkılıç ve ark. (2011), bu çalışmada, aspir yağından biyodizel elde etmek için katalizör madde olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve metil alkol kullanarak transesterifikasyon yöntemi uygulanmıştır. Deney sonucunda elde edilen biyodizel,

dizel yakıtı ile %5 (B5), %20 (B20) ve %50 (B50) hacimsel değerlerde karıştırılmıştır. Daha sonra saf biyodizel, karışım yakıtlarının ve dizel yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri elde edilmiştir. Tüm deneyler tek silindirli bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Performans değerleri incelendiğinde dizel yakıtın değerlerine göre B5, B20 ve B50 karışımlarında sırasıyla %2,2 , %6,3 , %11,2 oranında azalma görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında dizel yakıtın değerlerine göre B5, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %2,8 , %3,9 ve %7,8 oranında artış olduğu görülmüştür. Egzoz emisyon sonuçlarına bakıldığında, biyodizel karışimli yakıtların dizel yakıtı oranla karbon monoksit (CO) ve partikül madde (PM) değerlerinde düşüş, azot oksit (NOX) ve hidrokarbon (HC) değerlerinde ise artış saptanmıştır. Bunun neticesinde aspiden elde edilen biyodizelin, motor performans ve egzoz emisyon değerleri bakımından dizel yakıtına oranla motorda herhangi bir değişikliğe gidilmeden kullanılabilceğini görülmüştür.

Fazal ve ark. (2011), araştırmasında, yakıt olarak otomobillerde biyodizelin kullanımını incelemiştir.

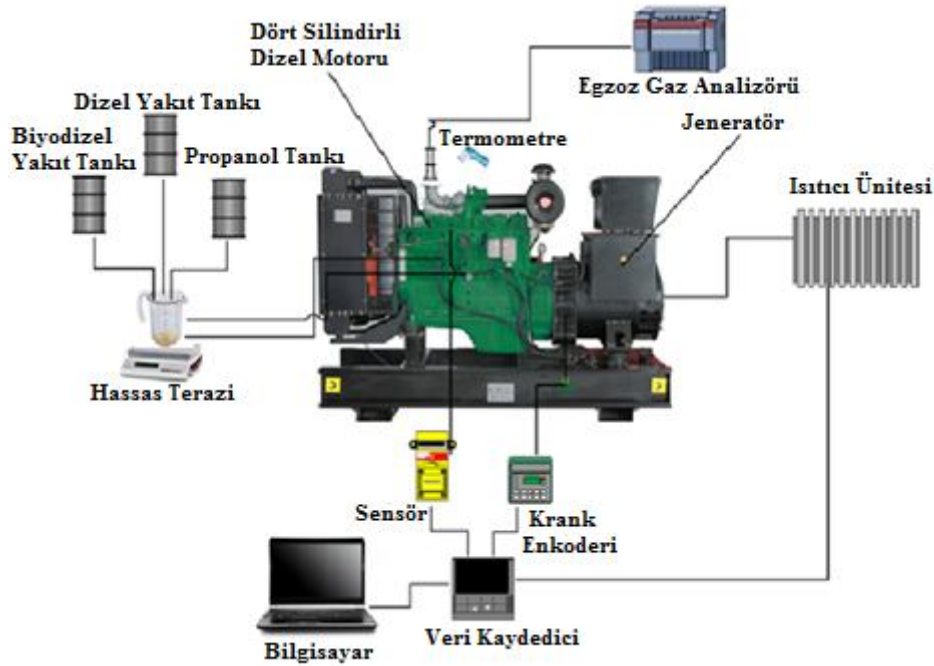
Biyodizel ve dizel yakıtlarının motor açısından malzeme uyumluluğunu incelemiştir. Biyodizel kullanımının motor parçalarında korozyona neden olduğunu belirtmiştir. Buna karşın emisyonların azaldığını ama enjektörde koklaşma, yakıt filtresinde tıkanma ve hareket eden parçalarda yapışmanın arttığını gözlemlemiştir. Çalışmalarında Remzibey çeşidi aspidi kullanmıştır.

## 6. MATERYAL VE METOD

### 6.1 Deneysel Materyaller

#### 6.1.1 Deneysel motoru

Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu nedenle bitkisel yağların yakıt özellikleri petrol esaslı dizel yakıtlarıyla ve birbirleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, aspir yağından biyodizel elde edilmiştir. Aspir yağından biyodizel üretmek için Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Laboratuvarı kullanılmıştır. Laboratuvar koşullarında elde edilen biyodizel yine aynı laboratuvarında yer alan jeneratör motorunda test edilmiştir. Çizelge 6.1’de, deneysel motoruna ait teknik özellikler sunulmuştur. Tüm deneysel sistemin şeması Şekil 6.1’de sunulmuştur.



Şekil 6.1. Deneysel sisteme ait şematik diyagram



**Şekil 6.2.**Deneyde kullanılan NWK22 model dizel motor

**Çizelge 6.1.** Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri

Üretici	: NWK22
Güç Çıkışı	: 1500 rpm 18kW
Motor Soğutma Sistemi	: Su Soğutma
Emme Sistemi	: Doğal emişli
Motor Modeli	: 4DW81-23D
ÇapxStrok	: 85x100(mm)
Hacim	: 2400 (cm <sup>3</sup> )
Silindir Sayısı	: 4
Yanma Sistemi	: Doğrudan enjeksiyonlu
Sıkıştırma Oranı	: 17:1



### 6.1.2 Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Egzoz Emisyon sonuçlarının ölçülmesinde Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Laboratuvarı'nda bulunan CAPELEC CAP 3200 markalı egzoz emisyonu cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyonu cihazı Şekil 6.2'de verilmiş olup cihazın teknik özellikleri de çizelge 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Motor deneylerinde kullanılan egzoz emisyon cihazı

Çizelge 6.2. Motor deneylerinde kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

Emisyon	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
HC	0-20,000 ppm	1 ppm
CO <sub>2</sub>	%0-20	%0.1
CO	%0-15	%0.001
O <sub>2</sub>	%0-21.7	%0.01
NO <sub>x</sub>	0-5000 ppm	1 ppm
Duman koyuluğu	% 0-99,9	% 0,01

### 6.1.3 Hassas terazi

Biyodizel elde edilme deneylerinde kullanılacak katalizör madde miktarı ve yakıt numuneleri için, hassasiyetle ölçüm yapabilen terazi kullanılmıştır. Yakıt tüketimi gram cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 6.4. Deneyde kullanılan hassas terazi

### 6.1.4 Termometre

Yapılan çalışmada sıcaklık ölçümleri için dijital Raytek Raynger ST4 markalı, temassız bir kızılötesi sıcaklık ölçüm cihazı egzoz gazı sıcaklığını belirlemek için kullanılmıştır. Egzoz sıcaklıkları ölçülürken yanma odasına en yakın noktada egzoz manifoldunun üstü seçildi. Kullanılan cihaza ait teknik özellikler çizelge 5.3 'de verilmiştir.

**Çizelge 6.3.** Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Tip	Raytek Raynger ST4
Sıcaklık ölçüm aralığı	(-32 to +400 °C)
Lazer tipi	Tek nokta
Hassasiyet	%±1
Tepki Süresi	500 µsn
Difüzyon hızı	95%

### 6.1.5 Metil alkol (metanol)

Aspir yağından biyodizel imal etmek için, alkol olarak metil alkol (CH<sub>3</sub>OH) kullanılmıştır. Kullanılan metil alkol 20 °C de 0.791-0.793 kg/l yoğunluğa ve 32.04 g/mol molekül ağırlığına sahiptir.

**Şekil 6.5.** Biyodizel üretiminde kullanılan alkol

### 6.1.6 Katalizör

Aspir biyodizeli imalatında katalizör madde olarak potasyumhidroksit (KOH) kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Biyodizel üretiminde kullanılan katalizör

## 6.2 Aspir Yağı ve Biyodizel Üretimi

Biyodizel yapımında kullanılan bitkilerden biri de aspir (*Carthamus tinctorius*L.) dir. Mutfaklarımızda kullanılmak üzere yağ yapımında kullanılmasının yanında, son yıllarda kullanım alanı gittikçe genişlemektedir. Son zamanlarda, bitkisel yağların biyodizel üretiminde değerlendirilmesi, yağlı tohumlu bitkileri daha bir önemli konuma getirmiştir.

Günümüzde biyodizel elde edilmesinin çeşitli metodları vardır. Bunların içerisinde en yaygın olarak kullanılan metod transesterifikasyon metodudur.

Bu metotta; bitkisel yağlar bir katalizör aracılığıyla alkol ile reaksiyona girerek yeniden esterleşirler. Bu metot viskozitenin düşürülmesindeki en etkili yöntemdir (Öğüt ve Oğuz 2006). Biyodizelin üretim aşamaları; katalizör ve alkolün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, yıkama ve kurutmadır (Eryılmaz, 2009). Aspir yağından biyodizel aşağıda anlatıldığı gibi elde edilmiştir.

1. Başta yağın içindeki suyu uzaklaştırmak için, yağ 100 °C nin üstünde ısıtılmış ve daha sonra 50 °C nin altındaki bir sıcaklığa soğutulmuştur.
2. Aspir yağı 1000 ml'lik beher kaba doldurulup elektrikli ısıtıcı ile 55° C ye ulaşıncaya kadar ısıtılmıştır. 55° C seviyesine getirildikten sonra sıcaklık bu derecede sabit tutularak manyetik karıştırıcı ile belli bir devirde karıştırılmıştır.



**Şekil 6.7.** Aspir yağının ısıtılması

Karıştırma işlemi devam ederken biryandan da karışıma katılacak metil alkol ve KOH maddeleri başka bir beher kap içerisinde karıştırılmıştır. Kullanılacak metil alkol kullanılan yağ miktarının 1/5 i oranında, KOH ise %3 oranında (yaklaşık 3 gr.) kullanılmıştır. KOH tamamen eriyene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Elde edilen bu karışım sabit ısıda tuttuğumuz aspir yağının üzerine eklenip beher kabın ağzı metil alkolün uçmaması için alüminyum folyo ile sıkıca kapatılmıştır.



**Şekil 6.8.** Katalizör katılarak ısıtılan yağ

Yaklaşık olarak 1 saat boyunca sıcaklık  $55^{\circ}\text{C}$  seviyesinde tutularak manyetik karıştırıcı ile karıştırılmaya devam edilmiştir. Uygun biyodizelin elde edilmesi için sıcaklık ve reaksiyon süresine dikkat edilmiştir.

3. Bir saatlik karıştırma işleminden sonra karışımın dinlenmesi ve gliserinin alta çökmesi için hazırlanmış olduğumuz ayırma hunisine karışımı aktarıp 12 saat beklenmiştir.



**Şekil 6.9.** Dinlenmeye bırakılan karışım

4. 12 saat beklemenin sonunda alta çökmüş karışımdan gliserin uzaklaştırılmıştır.
5. Gliserini alınan Biyodizel içerisinde reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayırma esnasında gliserin kalma riskinden dolayı yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi iki farklı şekilde yapılmıştır.

Birincisinde 1 litre biyodizel ve 1 litre saf su karıştırılıp elektrikli ısıtıcıda ısınmaya bırakılmıştır. Isınma esnasında sıcaklık belli bir zaman boyunca  $80^{\circ}\text{C}$  -  $90^{\circ}\text{C}$  aralığında kalmıştır. Kaynama işlemi manyetik karıştırıcı ile desteklenmiştir. Amaç biyodizelin altında bulunan su yüzeye çıkarılıp buharlaşması sağlanmıştır. Belli bir zaman sonra su kalmayınca sıcaklık değeri yükselmeye başlamıştır. Sıcaklık  $120^{\circ}\text{C}$  seviyelerine gelince ısıtma işlemine son verildi. Bu işlem sonucunda kullanılmaya hazır biyodizel elde edildi.



**Şekil 6.10.** Isıtılan biyodizel

İkincisinde ise yaklaşık  $50^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında 1 litre su ile 1 litre gliserini alınmış yağ uygun kap içerisinde belirli bir zaman boyunca çalkalanmıştır. Dinlenmeye bırakıldığında yıkamada kullanılan su ile yağ arasında gözle görülen bir faz ayrımı meydana geldi. Bu işlemin bitiminde dibe çöken su uzaklaştırılıp kalan yağ, ısıtıcıda içerisinde kalan suyun uzaklaşması için yaklaşık 1 saat boyunca ısıtıldı. Bu ısıtılma sürecinde Sıcaklık  $120^{\circ}\text{C}$  seviyelerine gelince ısıtma işlemine son verildi. İşlem sonucunda kullanıma hazır biyodizel elde edildi.



**Şekil 6.11** Yıkanmış biyodizeldeki faz ayrımı

### 6.3 Deneylerde Kullanılan Yakıtlar ve Karışım Oranları

Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan karışımların yüzdece miktarları aşağıda verilmiştir.

B90P10	(%90 Aspir Biyodizeli + %10 Propanol)
B80P20	(%80 Aspir Biyodizeli + %20 Propanol)
B40D40P20	(%40 Aspir Biyodizeli + %40 Euro Dizel + %20 Propanol)
A100	(Saf Aspir Yağı)
ULSD	( Euro Dizel) %100 Dizel
B100	(%100 Saf Aspir Biyodizeli)

Çizelge 6.4. Test yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri. Georing ve ark., 1982.

Test Yakıtları/ Özellikleri	ULSD	B100	PROPA NOL	B90P10	B80P20	B40D40P20	A100
Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup> (API)	0.832 (38)	0.891 (27)	0.804 (42)	0.882	0.874	0.85	0.914 4
Kin. Viskozite mm <sup>2</sup> /s	2.793	4.9388	29.9	3.5-5.0	3.5-5.0	3.893	31.3
Tutuşma Noktası °C	61.5	140+	299	156	171.8	140.4	260
Kükürt Miktarı %	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Isıl Değer kJ/kg	43350	38122	33600	37670	37218	39309	39519

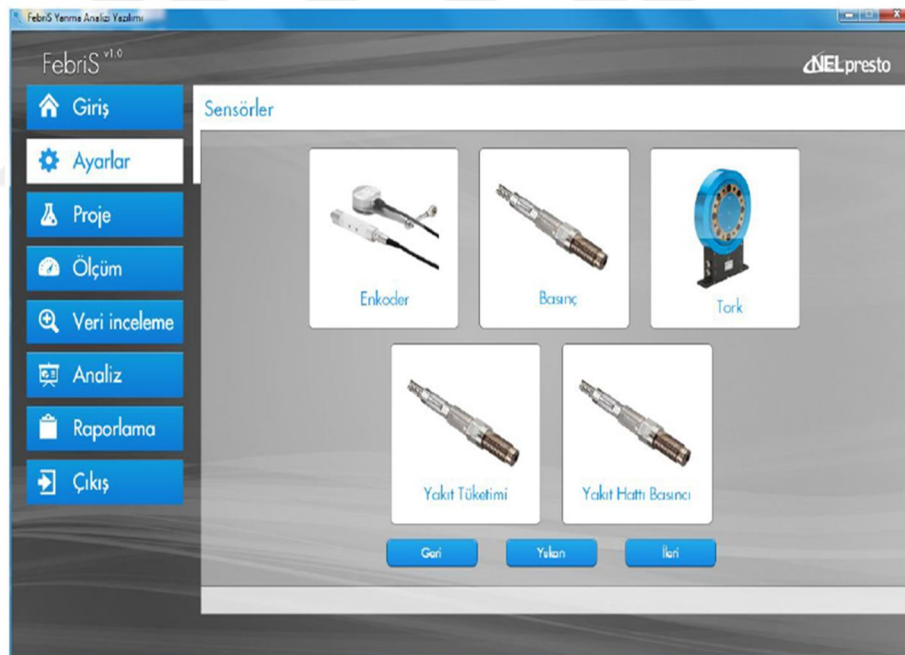


## 6.4 Yanma Analizi Sistemi ve Hesaplanan Parametreler

### 6.4.1 Febris yanma analizi sistemi

Motor yanma ve performans verileri için deney düzeneğinde Febris yanma analizi yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım içten yanmalı motorlarda silindir içi basıncı sensörü, krank açısı sensörü ve birçok farklı tip sensörlerden alınan sinyalleri kullanarak hesapladığı verileri gösteren ve kaydeden, ölçülen ve hesaplanan verileri kullanarak performans ve ileri yanma analiz sonuçlarının grafiksel olarak incelenebildiği ve raporlanabildiği bir yazılımdır.

Gerekli kalibrasyon ayarları yapıldıktan sonra ölçüm esnasında elde edilen sonuçlar kaydedilir. Ölçüm değerleri kullanılarak birçok ileri analizler yapılır. Tüm sonuç ve ölçümler istatistiksel ve grafiksel olarak incelenir.



Şekil 6.12. Sensör seçim menüsü

Ayarlar ekranındaki menüden gerekli olan seçimler yapılarak işleme başlanır. Şekildeki ekranda motorla ilgili geometrik değerler girildiğinde, program motor hacmini litre cinsinden vermektedir. Silindir basıncı, silindir içerisindeki basınç sensörleri yardımıyla ölçülür.

Yazılımın kullandığı başlıca parametreler ve belirlenme durumu aşağıda belirtilmiştir.

1. Devir; enkoderden gelen ardışık 2 darbe arasında geçen zaman kullanılarak hesaplanan, devir/dakika biriminde devir verisidir (FEBRIS, 2016).

$$n = \frac{60}{(t_2 - t_1) * EDS} \quad (6.1)$$

EDS: Enkoderin 1 devirde ürettiği darbe sayısı

2. Piston konumu; motorun geometrik özellikleri ve krank mili açısı kullanılarak hesaplanan, mm biriminde piston konumu verisidir.

3.

$$s = r * \left( \sqrt{\left(1 + \frac{l}{r}\right)^2 - \left(l * \frac{e}{r}\right)^2} - \cos(KA) - \frac{l}{r} * \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} * \sin(KA) - e\right)^2} \right) \quad (6.2)$$

s: Piston konumu

r: Krank mili yarıçapı

l: Biyel kolu uzunluğu

e : (Krank mili ofset - Piston pimi ofset) / l

KA: Krank mili açısı

4. Piston hızı; piston konumu ve zaman verileri kullanılarak hesaplanan, m/sn biriminde piston hızı verisidir (Heywood, 1988).

$$\dot{s} = \frac{ds}{dt} \quad (6.3)$$

5. Piston ivmesi; piston konumu ve zaman verileri kullanılarak hesaplanan, m/sn<sup>2</sup> biriminde piston ivmesi verisidir.

$$\ddot{s} = \frac{d\dot{s}}{dt} \quad (6.4)$$

6. Silindir hacmi; motorun geometrik özellikleri ve krank mili açısı kullanılarak hesaplanan, cm<sup>3</sup> biriminde silindir hacmi verisidir.

$$V = V_c + A_k * s \quad (6.5)$$

V: Silindir hacmi

$V_c$ : Ölü hacim =  $V_h / (\epsilon - 1)$

$A_k$ : Piston alanı =  $\pi * d^2 / 4$

s: Piston konumu

$V_h$ : Çalışma hacmi =  $A_k * \text{stroğ}$

$\epsilon$  : Sıkıştırma oranı

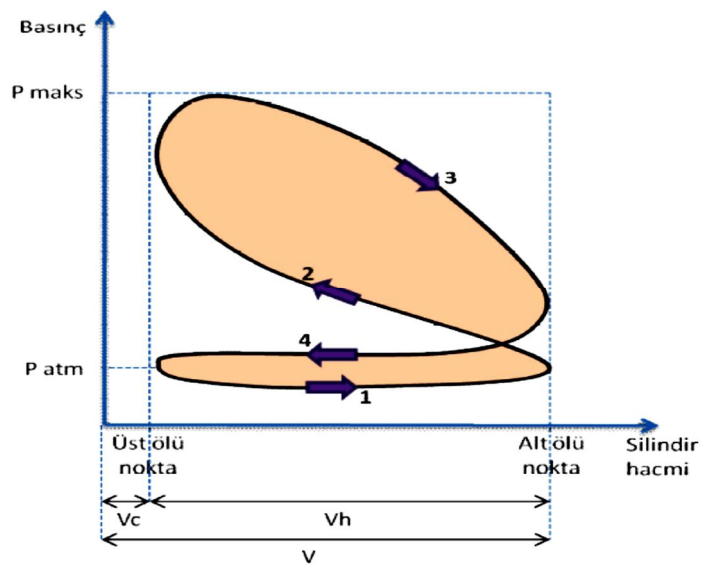
7. Tepe açısı; basınç eğrisinin tepe noktasının görüldüğü andaki krank mili açısıdır.
8. P maks basınç eğrisinin en yüksek değeridir.
9. Ort. piston hızı; krank mili dönüş hızı ve piston stroğunu kullanılarak hesaplanan, m/sn biriminde ortalama piston hızı verisidir.

$$OPH = 2 * Str * n / 60 \quad (6.6)$$

Str: Piston stroğunu

n: Krank mili dönüş hızı

10. Ortalama indike basınç, indikatör diyagramı (silindir hacmi - silindir basıncı) kullanılarak hesaplanır.



Şekil 6.13 İndikatör diyagramı (FEBRIS, 2016).

Görülen indikatör diyagramının üst kısmı yüksek basınç, alt kısmı ise alçak basınç bölümüdür. Bu bölümlerin alanı, yazılım tarafından nümerik integrasyon yöntemiyle hesaplanır. Ortalama indike basınç, bu alanların farkıdır.

$$O\dot{I}B_{YB} = \frac{A_3 - A_2}{V_h} \quad O\dot{I}B_{AB} = \frac{A_4 - A_1}{V_h} \quad O\dot{I}B_{YB} = O\dot{I}B_{YB} - O\dot{I}B_{AB} \quad (6.7)$$

$A_i$ : i numaralı çevrim zamanının indikatör eğrisinin altındaki alan [P\*V]

$V_h$ : Çalışma hacmi =  $A_k$ \*strok

**11.** İndike güç; ortalama indike basınç ve devir verileri kullanılarak kW cinsinden hesaplanır.

$$P_i = 0.5 * n * O\dot{I}B * VH \quad (6.8)$$

n: Devir

OİB: Ortalama indike basınç

VH: Toplam çalışma hacmi =  $V_h * z$

Febris yanma analizi yazılımında şekillere görülen ekranlardan veri incelemeler yapılabilir ve daha sonra analiz yapılarak genel çıktılar alınabilir.

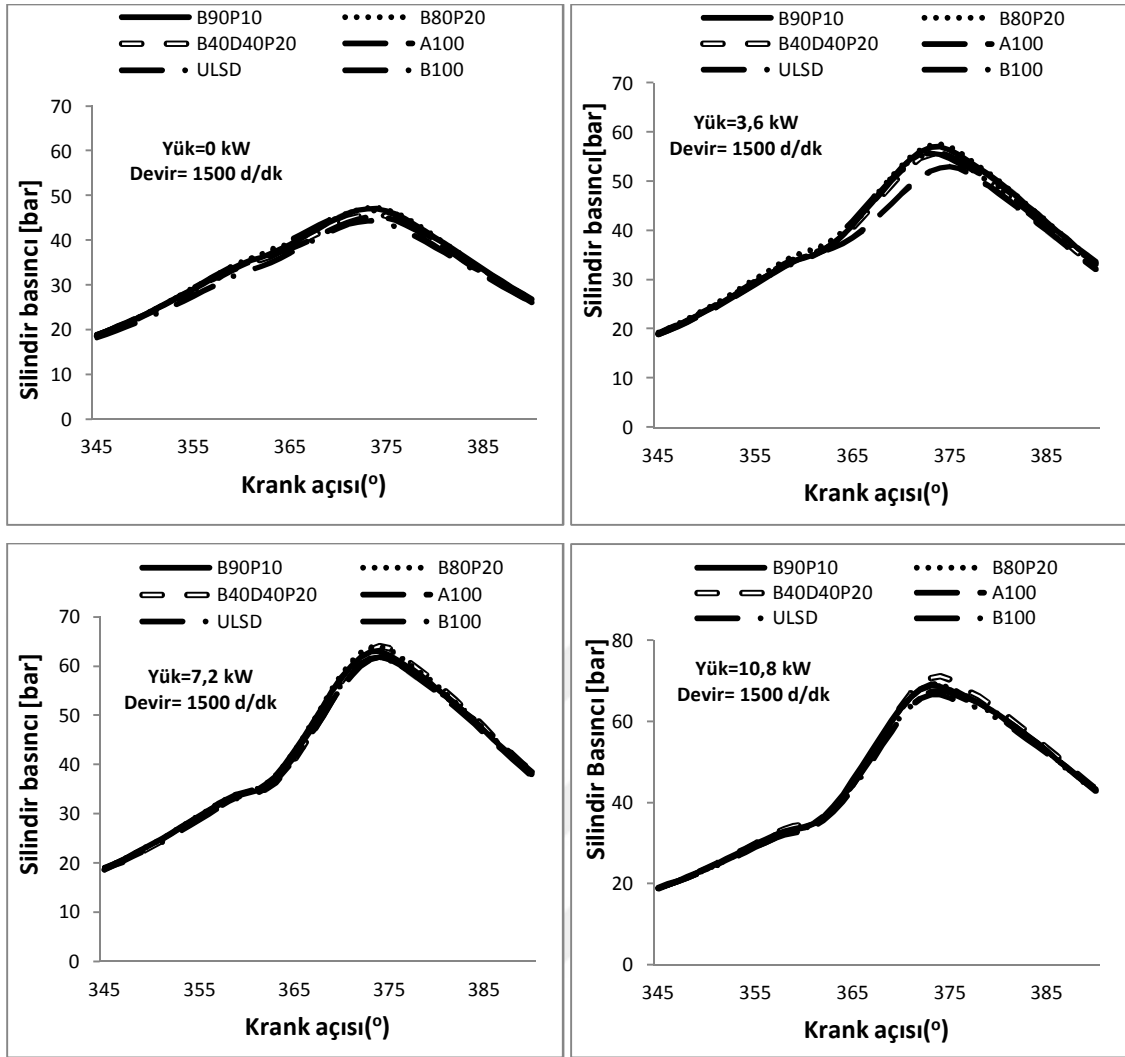
## 7. DENEY SONUÇLARI

### 7.1 Yanma Deneyleri

Basınç sensöründen alınan basınç verileri ve eş zamanlı alınan krank açısı pozisyon bilgisi kullanılarak oluşturulan silindir basıncı, net ısı salınımı, kümülatif toplam ısı salınımı, ortalama gaz sıcaklığı ve kütleli yanma oranı gibi yanma göstergeleri tüm deney yakıtları için farklı yüklerde ve 1500 d/dk sabit motor devri çalışma koşulları için bu bölümde verilmiştir.

#### 7.1.1 Silindir basıncı

Tüm test yakıtları için yazılım aracılığı ile alınan gerçek silindir basıncı verilerinin motor yüküne göre değişimi şekil 7.1'de gösterilmiştir. Genel olarak motor yükü arttığında silindir basınçlarının pik noktaları beklendiği gibi artış göstermiştir. Ayrıca basıncın pik noktaları 375 KMA dan önce gerçekleşmiş olup 7 ile 15 KMA arasındadır. Yüksüz durum hariç diğer durumlarda enjeksiyon yapıldığı ve yanmanın başladığı bölgeler şekiller üzerinde belirgin bir şekilde görülmektedir. Yüksüz durumda basınç değerleri ULSD ve yüksek oranda biyodizel içeren B90P10, B80P20 yakıtları için diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır. Yüksüz durumda en düşük basınç değerleri B100 için elde edilmiştir. Yüklü durumlarda ise tüm test yakıtları için basınç değerleri benzer şekilde elde edilmiştir. Silindir içi basıncın artış oranının yumuşak olduğu ve bununda vuruntusuz bir çalışmanın göstergesi olduğu düşünülmektedir. Bu durum düşük oranlarda propanol içeren herhangi bir dizel benzeri yakıtın veya biyodizelin motorlarda yakıt olarak kullanımının mümkün olabileceğini göstermektedir.



Şekil 7.1. Test yakıtlarının kullanımında farklı motor yükleri için oluşan basınç eğrileri

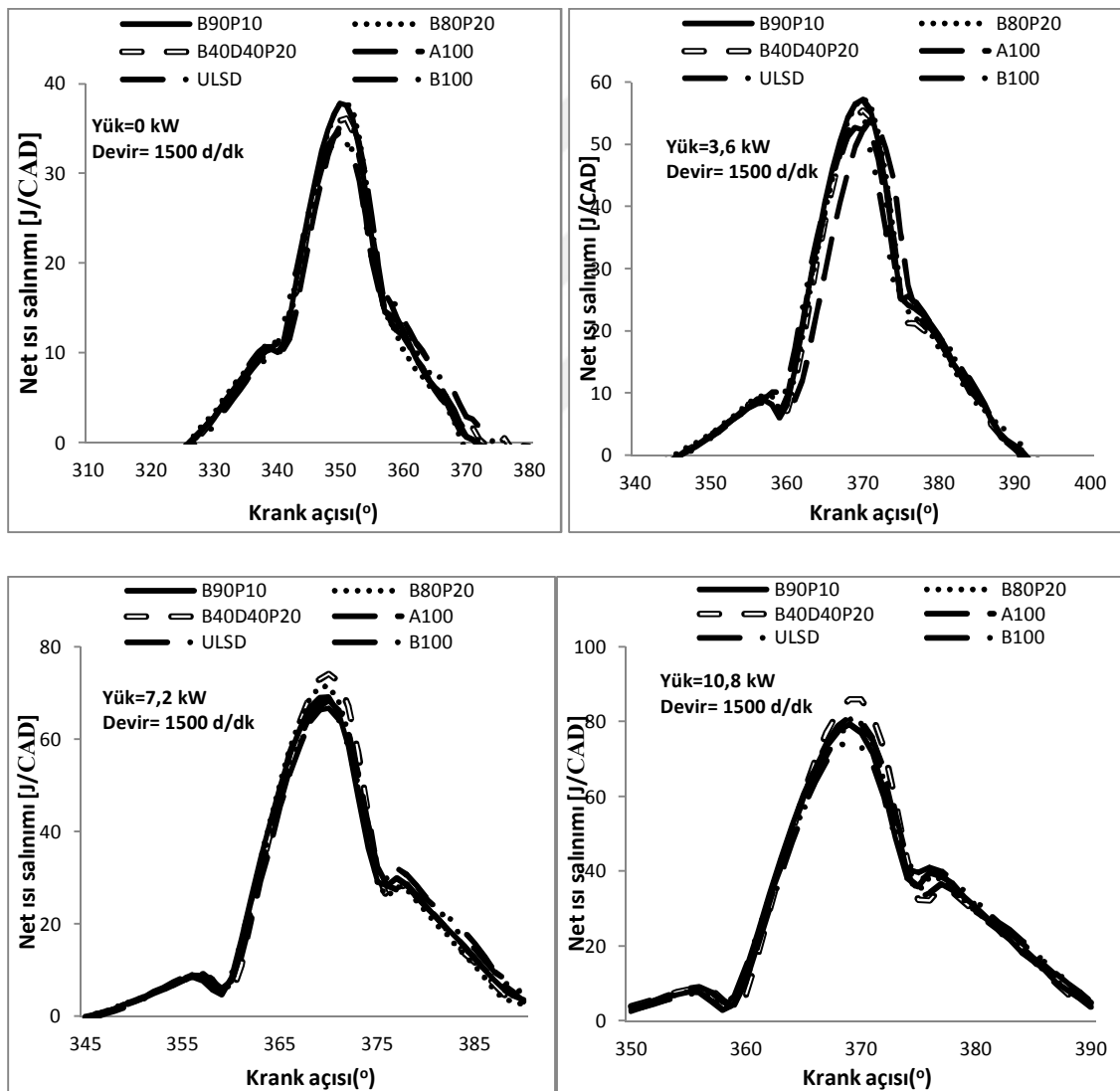
### 7.1.2 Isı salınım hızı

Farklı motor yükleri için deney yakıtları ile yapılan testlerde elde edilen verilerden hesaplanan ısı salınımı değerleri Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ısı salınım değerleri motor yüküne göre artış göstermiştir. Bunun nedeni yük arttıkça çevrim başına yakılan yakıtın artmasıdır. Enjeksiyonun başlangıcı ve yanmanın başlangıç noktaları şekiller üzerinde belirgin bir şekilde görülmektedir.

Motor yüksüz durumda iken püskürtme miktarı az olduğundan bu bölge daha dar ve daha az belirgindir. Test yakıtları karşılaştırıldığında ise, yakıt olarak kullanılan aspir yağı A100 ‘ün ısı salınım değerleri düşük düzeylerde ve pik noktaları diğer yakıtlardan sapma göstermiştir. Bunun nedeninin A100 yakıtının viskozitesinin yüksek olması dolayısıyla atomizasyon ve yanmanın daha kötü olduğu düşünülmektedir. Motor yükü

artıkça sıcaklık arttığından bu durumun etkisi azalmıştır. Orta ve yüksek motor yüklerinde (7,2-10,8) daha belirgin olmak üzere yüksek oranda propanol içeren B40D40P20 yakıtının ve B80P20 yakıtlarının püskürtme noktalarının geciktiği görülmektedir. Bu durum propanolün düşük viskozitesinden kaynaklanmaktadır.

Ancak propanol içeren karışım yakıtların buharlaşma ve karışım oluşturma özelliklerinin daha iyi olmasından dolayı tutuşma gecikmesi süresini uzatmıştır. Ayrıca kontrolsüz yanma safhasında daha fazla dolgunun yanmasına yol açmıştır. Bu nedenle yüksek propanol içeren karışım yakıtların yüksek motor yüklerinde ısı salınımının pik noktaları daha yüksek çıkmıştır.



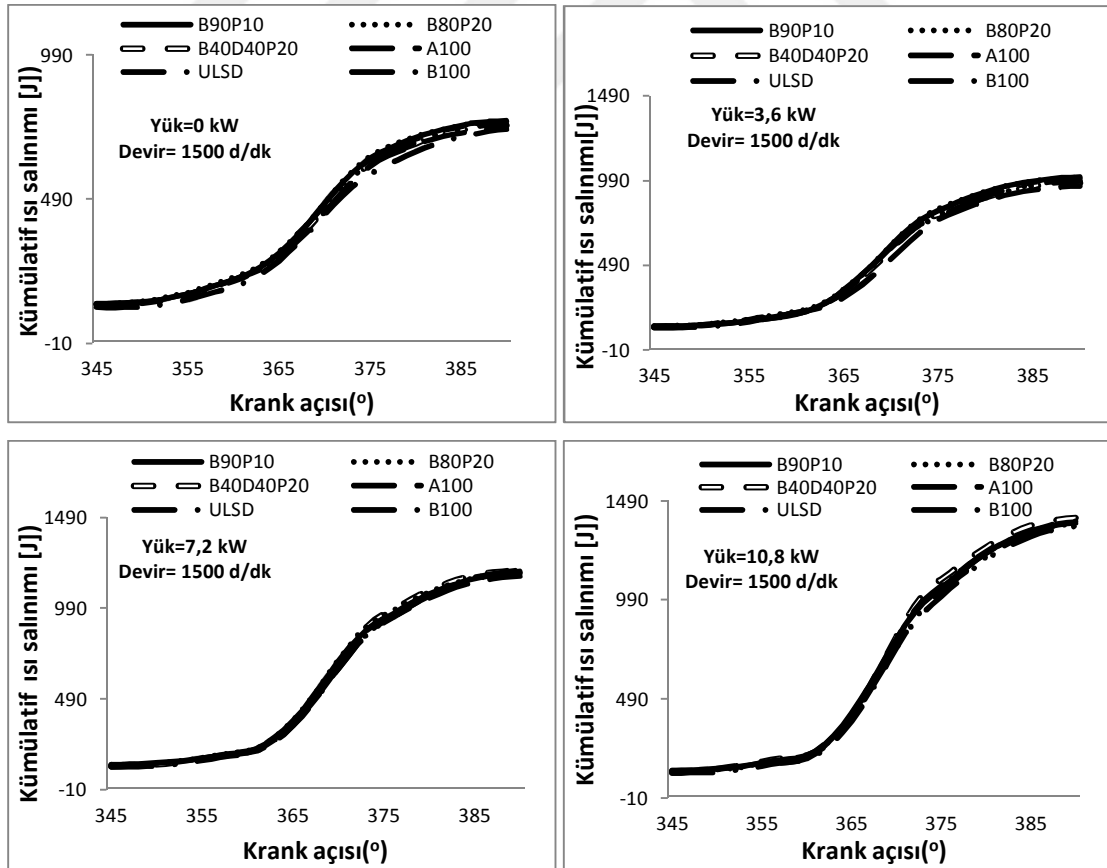
Şekil 7.2. Deneysel yakıtların kullanımında oluşan ısı salınımı değerlerinin motor yüküne göre değişimi

Çalışma koşulları değişmediği sürece değerlerin alınan her çevrimde aynı olması beklenir. Fakat test ortamında bunu sağlamak mümkün olmadığından, istatistiksel yöntemler yardımı ile hatalı çevrimler çıkarılır ve kalan tüm çevrimler boyunca alınan değerlerin ortalamaları alınarak, analizler bu ortalama çevrim üzerinde yapılabilir.

### 7.1.3 Toplam ısı salınımı

Farklı yük koşulları için ve 1500 d/dk motor devrinde test yakıtlarının kullanımında hesaplanan toplam ısı salınımı değerleri Şekil 7.3'de gösterilmiştir.

Toplam ısı salınım değerleri yanmanın ve çevrim boyunca yakılan yakıt miktarının bir göstergesidir. Motor yükü arttıkça çevrim sırasında yakılan yakıt miktarı arttığından her krank açısı için ortaya çıkan ısı miktarı da artmaktadır. Bu nedenle yük arttıkça toplam ısı salınımı değerleri tüm test yakıtları artış göstermiştir. Ancak saf yakıtlar olan B100 ve özellikle A100 yakıtları için kümülatif ısı salınımları daha düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Bunun nedeninin bu yakıtların düşük olan alt ısıl değerleri olduğu düşünülmektedir.



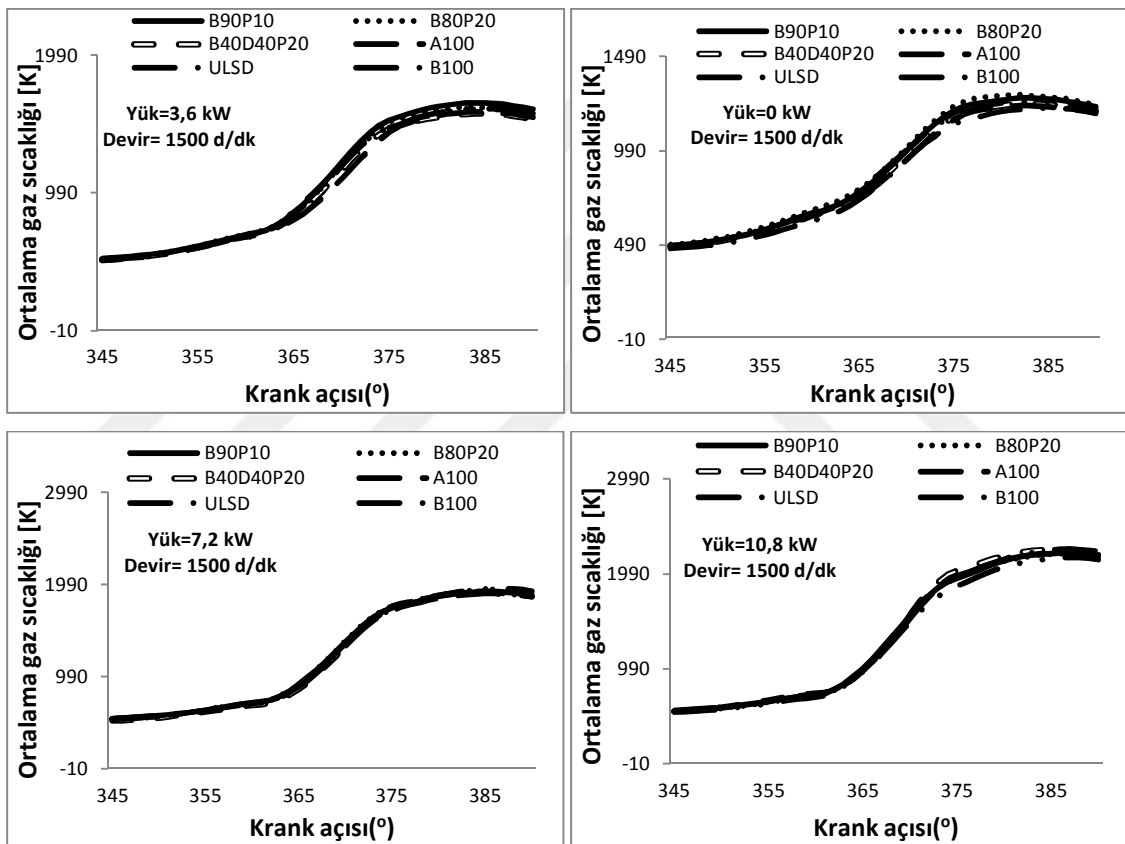
Şekil 7.3 Deneysel yakıtların kullanımında oluşan kümülatif ısı salınımı değerlerinin motor yüküne göre değişimi



### 7.1.4 Ortalama gaz sıcaklığı

Tüm test yakıtlarının kullanımında 1500 d/dk motor devri ve farklı motor yükleri için hesaplanan silindir içi ortalama gaz sıcaklığı değerleri Şekil 7.4'de gösterilmiştir.

Beklendiği gibi motor yükü arttıkça silindir içi ortalama gaz sıcaklığı değerleri tüm test yakıtları için artış göstermiştir. Test yakıtları karşılaştırıldığında özellikle, pik basıncın olduğu krank açısı değerlerinde propanol içeren karışım yakıtlarının ortalama gaz sıcaklığının biraz daha yüksek olduğu, bunun dışındaki bölgelerde ve tüm test yakıtları için silindir içi sıcaklıkların benzer olduğu görülmektedir.

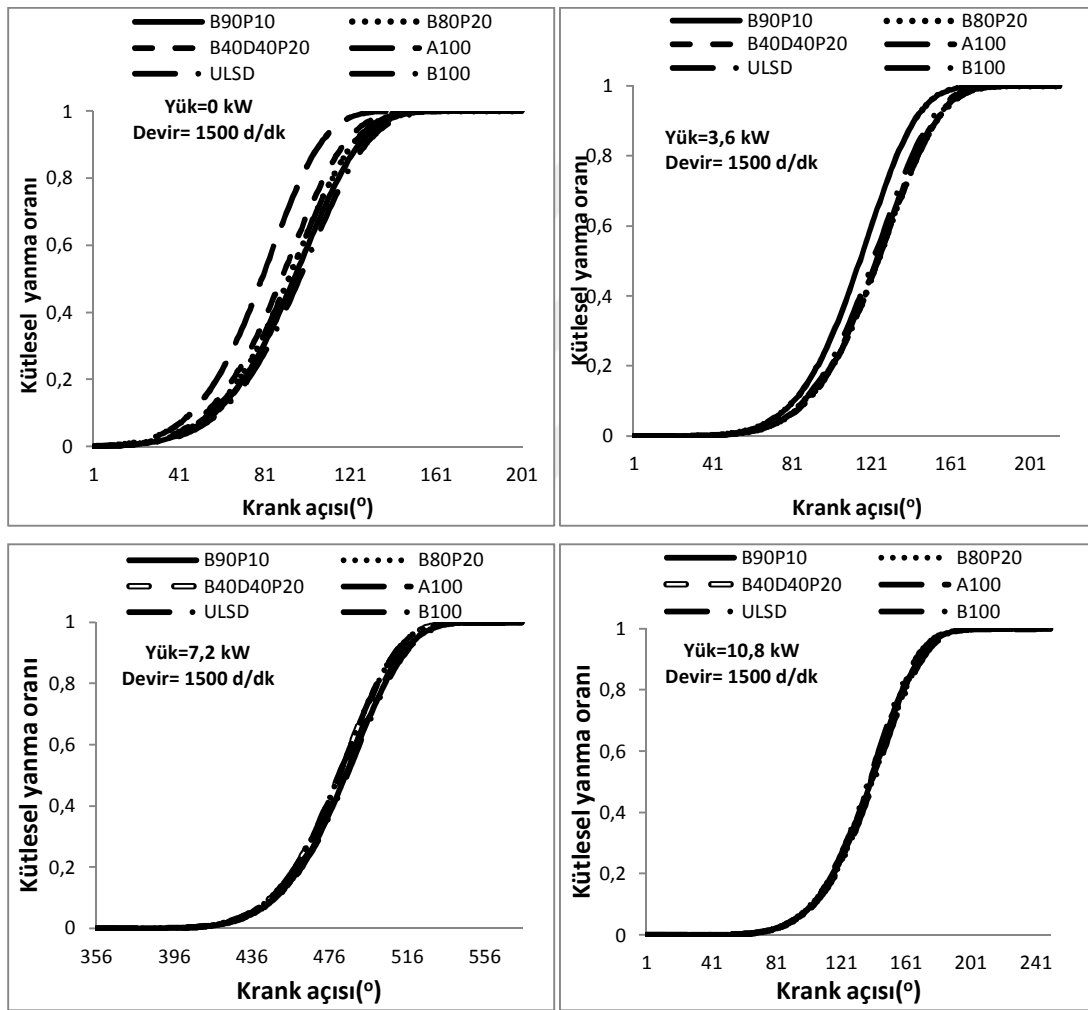


Şekil 7.4 Deney yakıtlarının kullanımında oluşan ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin motor yüküne göre değişimi

### 7.1.5 Kütleli yanma oranı

Farklı motor yükleri için 1500 d/dk motor devrinde tüm test yakıtları ile yapılan testlerden elde edilen verilerden hesaplanan kütleli yanma oranları Şekil 7.5'de

gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi motor yakıtlar karşılaştırıldığında tüm yakıtların kütleli yanma oranlarının düşük yüklerde belirgin bir şekilde farklılaştığı görülmektedir. Motor yükü arttıkça düzelen yanma ortamı sayesinde yakıtın tümünün yanması için daha uygun koşullar olduğundan ve hem fiziksel hem kimyasal tutuşma gecikmelerinin kısılmasından dolayı her krank açısı için yakılan yakıt kütlelerinin tüm yakıtlar için benzer olması sağlanmıştır. Bu durum şekilde açıkça görülmektedir. Bu nedenle 7,2 kW ve 10,8 kW motor yüklerinde tüm test yakıtları için hesaplanan kütleli yanma oranları değerleri oldukça benzer çıkmıştır.

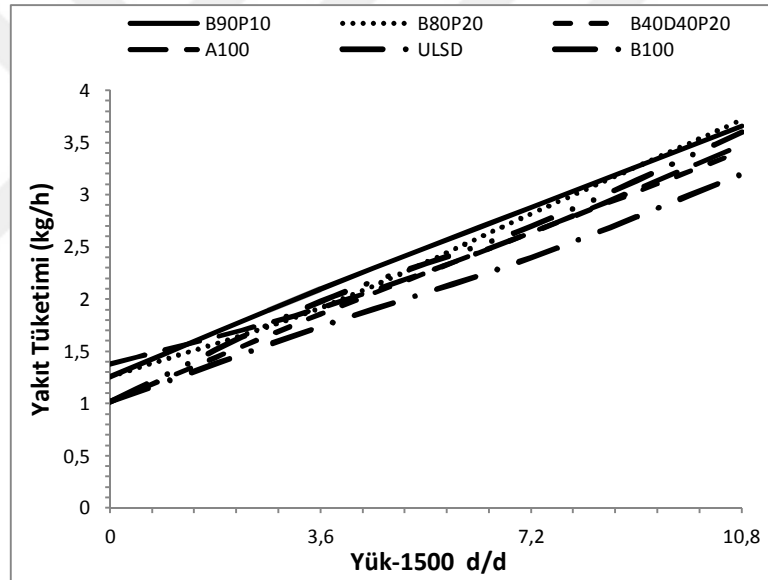


Şekil 7.5. Denei yakıtlarının kullanımında oluşan kütleli yanma oranı değerlerinin motor yüküne göre değişimi

## 7.2 Performans sonuçları

### 7.2.1 Kütlesel yakıt tüketiminin değerlendirilmesi

Deneyde kullanılan saf yakıtlar ile karışımların yakıt sarfiyatları şekil 7.6 da görülmektedir. Grafik incelendiğinde ilk etapta yüksüz durumda deney motorunun çalıştırılmasında özellikle A100 yakıtı sarfiyat bakımından en fazla tüketilen yakıt durumundadır. Ancak bu yakıtımız daha sonraki yük durumlarında diğer yakıtlar ile arasındaki sarfiyat fazlalığını düşürmektedir. Özellikle 7,2 kW ve 10,8 kW yüklerinde B90P10 karışımı ile B80P20 karışımı diğer yakıtlara oranla ortalama % 15 lik bir artış göstermektedir. En düşük yakıt tüketimi dizel yakıtında elde edilmiştir. Bunun nedeni, hem propanol hem de biyodizelin alt ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasıdır.



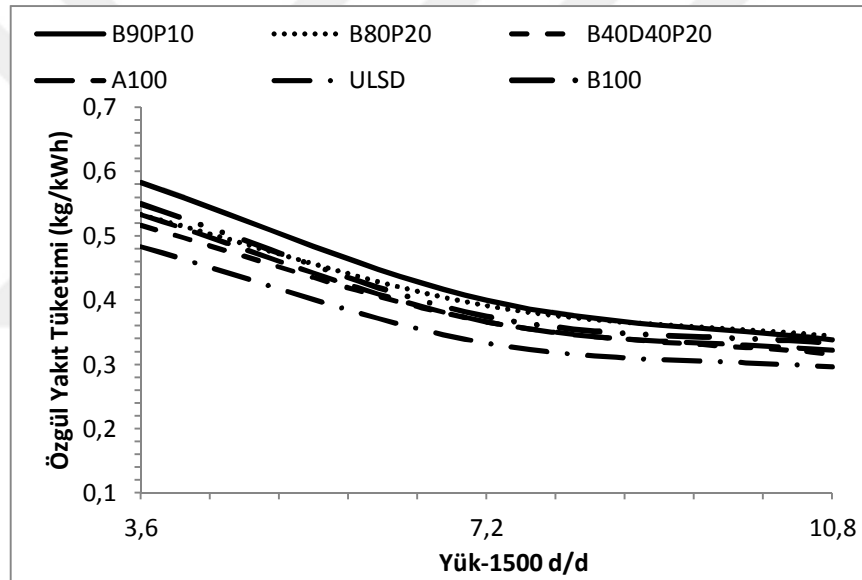
Şekil 7.6. Kütlesel Yakıt Tüketimi Değerleri

### 7.2.2 Özgül yakıt tüketiminin değerlendirilmesi

Çalışma sırasında, herhangi bir güçteki bir saatte tüketilen yakıt miktarının elde güce oranına özgül yakıt tüketimi denir. Motorun farklı güç değerlerine bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi Şekil 7.7'de gösterilmiştir. Grafığe bakıldığında biyodizel yakıtların özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtına göre artış göstermektedir. Bu artışın nedeni, biyodizelin ısıl değerlerinin dizel yakıtın ısıl değerine göre düşük

olmasıdır. Püskürtülen yakıtın miktarı, yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketim miktarını etkilemektedir. Biyodizelin ısı değeri dizelden düşük olduğundan aynı miktarda enerji oluşturmak için daha fazla yakıt tüketimini gerektirmektedir. Bu da özgül yakıt tüketim miktarının dizele göre daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak biyodizel yakıtların yakıt özelliklerindeki avantajları yanma verimini arttırmaktadır. Bu sebeple özgül yakıt tüketimi değerlerindeki artışlar genellikle ısı değeri farkından daha az olmaktadır.

Grafik incelendiğinde tüm yük şartlarında özgül yakıt tüketiminde en düşük değer dizel yakıtta görülmektedir. 3,6 yük değerinde dizel yakıtı en büyük değere sahip olan B90P10 karışımına oranla % 17 lik bir düşük değere sahiptir. En büyük yük değerinde ise yine dizel yakıtı % 14 lük bir düşüğe sahiptir.

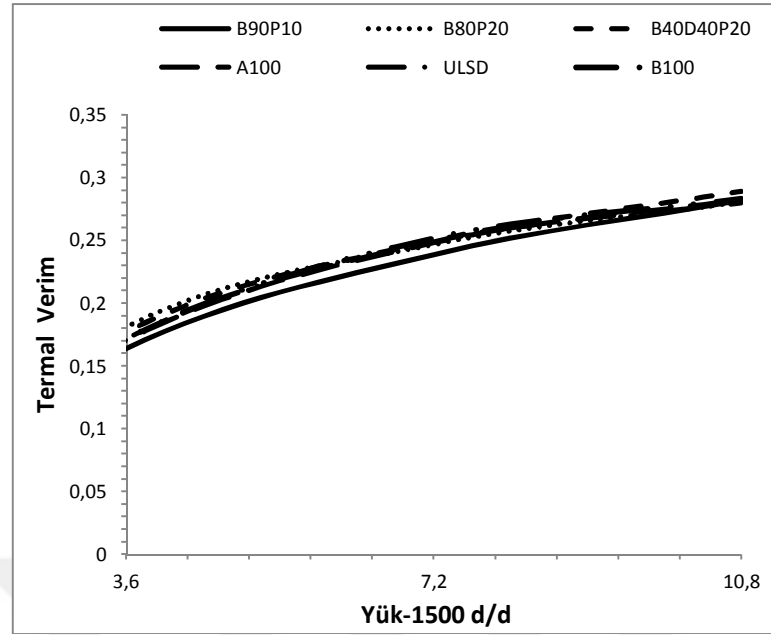


Şekil 7.7. Özgül yakıt tüketimi değerleri

### 7.2.3 Termal verim değerlendirilmesi

Dizel yakıtına oranla biyodizel, daha düşük bir ısı değeri sahip olmasına karşın, yanmadaki iyileşmeler ile motor, biyodizelin kimyasal enerjisini dizel yakıtın enerjisi ile hemen hemen aynı verimlilikte mekanik enerjiye dönüştürebilmektedir.

Motorun ilk çalışma yükü olan 3,6 motor yükünde B80P20 karışımı B90P10 karışımına oranla % 9,7 lik bir artış değerine sahiptir. Ancak motor yükü 10,8 değerine ulaştığında termal değerinde % 3 lük bir değişim meydana gelmektedir.

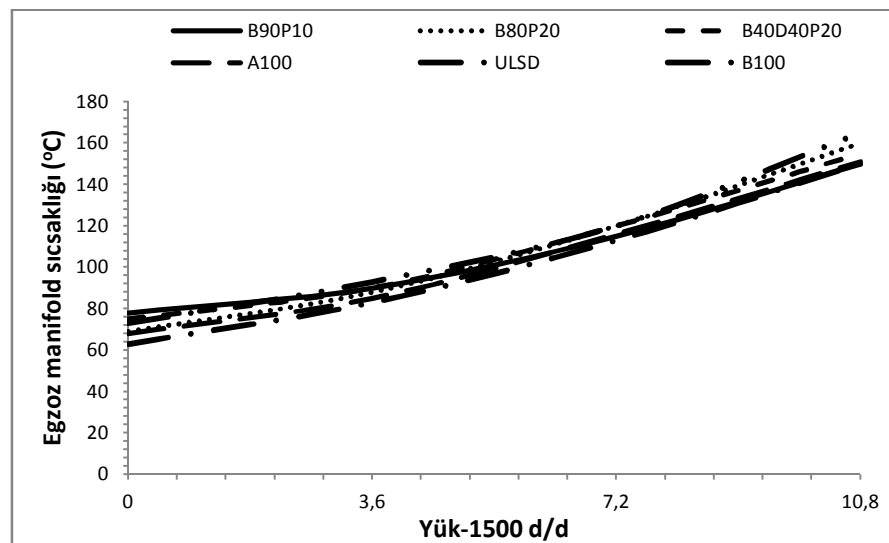


Şekil 7.8. Termal Verim Değerleri

#### 7.2.4 Egzoz sıcaklığı değerlendirilmesi

Emisyon değerlerinin analiz edilmesinde egzoz gaz sıcaklığı deneyde kullanılan yakıtların yanma periyodundaki önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Motor boşa çalışırken en yüksek sıcaklık değeri B90P10 karışımında görülmektedir. Motorun en yüksek yük değeri olan 10,8 kW yükte ise biyodizel, dizele oranla % 10 luk bir fazlalık ile en yüksek egzoz gaz sıcaklığına ulaşmaktadır.



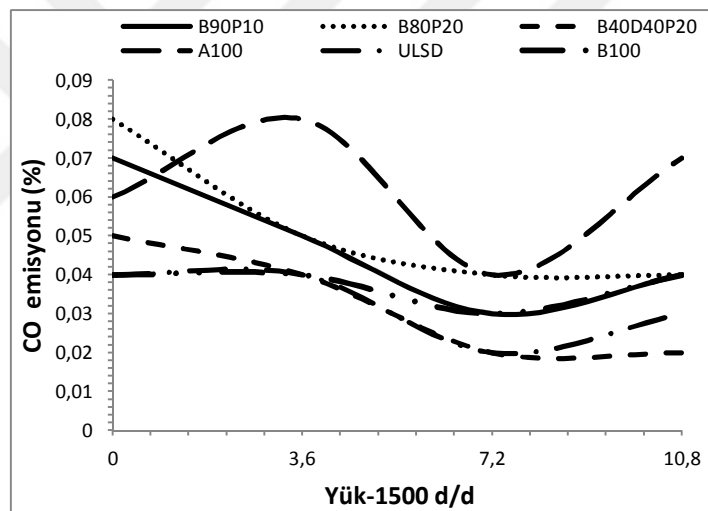
Şekil 7.9. Egzoz Gaz Sıcaklığı Değerleri

### 7.3 Emisyon Sonuçları

#### 7.3.1 Karbonmonoksit (CO) emisyon değişimi

Yakıtların CO emisyon değerleri şekil 7.10'da motor devrine bağlı olarak gösterilmiştir. Sonuçlara göre, %100 aspir biyodizelinin CO değerleri diğer yakıtlara göre tam yanmadan dolayı düşük çıkmaktadır.

Şekil 7.10 incelendiğinde motor yüksüz çalışırken B80P20 karışımı dizel ve biyodizel yakıtına göre %100 lük bir artışla başlamaktadır. CO salınımının en az olduğu 7,2 kW yük deneyinde B80P20 karışımında %50 lik bir düşüşün olduğu görülmektedir. 7,2 kW yük deneyinde en iyi düşüş %60 lık değer ile B40D40P20 karışımında görülmektedir.

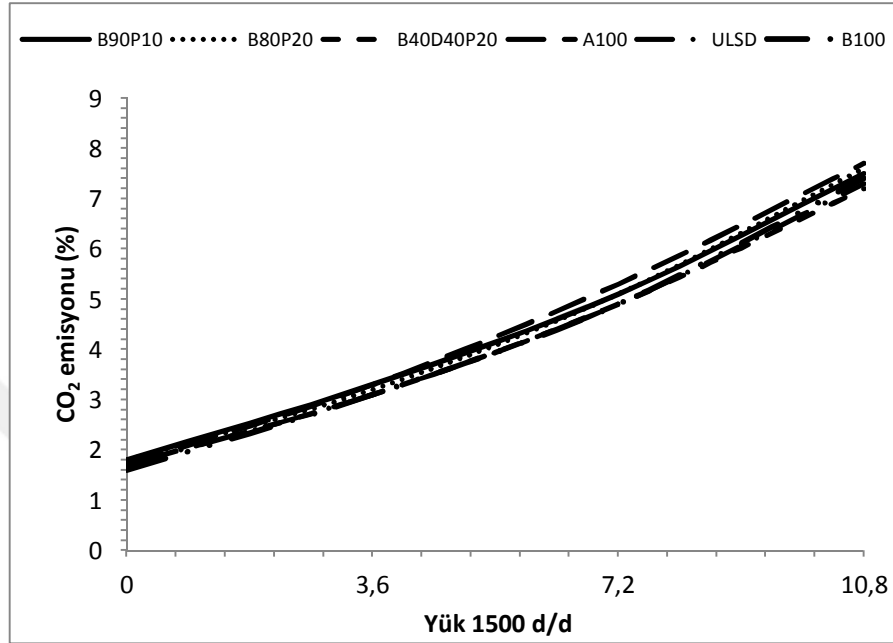


Şekil 7.10. CO emisyonu değerleri

#### 7.3.2 Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının değişimi

Şekil 7.11'de karbondioksit oranının motor devrine göre değişimi verilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında motorin yakıtının CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri genel olarak diğer yakıtların değerlerine göre düşük çıkmaktadır. Biyodizel karışımları ve saf biyodizel yakıtların CO<sub>2</sub> emisyonunun yüksek çıkma nedeni, biyodizel yakıtında oksijen bulunması ve ayrıca biyodizelin hava fazlalık katsayılarının motorine göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 7.11 incelendiğinde özellikle 10,8 kW yük değerinde CO<sub>2</sub> salınımı en üst seviyeye çıkmaktadır. Özellikle 3,6 kW yük değerinde saf aspir yağı % 94 gibi bir artış değeri göstermektedir. Aynı yük değerinde saf biyodizel yakıtı da saf aspire yakın bir değer göstermektedir. En uygun değer % 77 ile B80P20 yakıtına aittir.

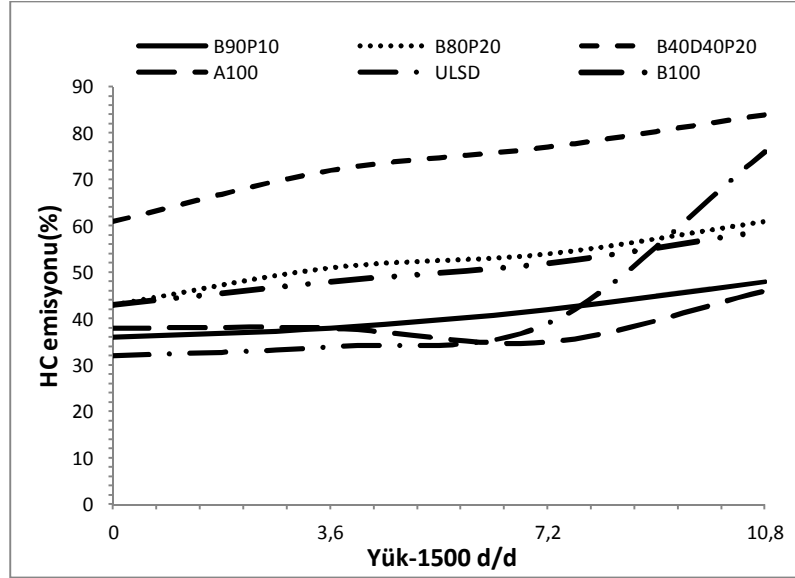


Şekil 7.11. CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri

### 7.3.3 Hidrokarbon (HC) emisyonlarının değişimi

Şekil 7.12 de motor devrine bağlı olarak yakıtların HC emisyon değerleri verilmiştir. HC emisyon değeri motor devrinin düşük olduğu yerlerde yakıtın tutuşma sıcaklığının düşük olmasından dolayı yüksek olduğu görülmektedir.

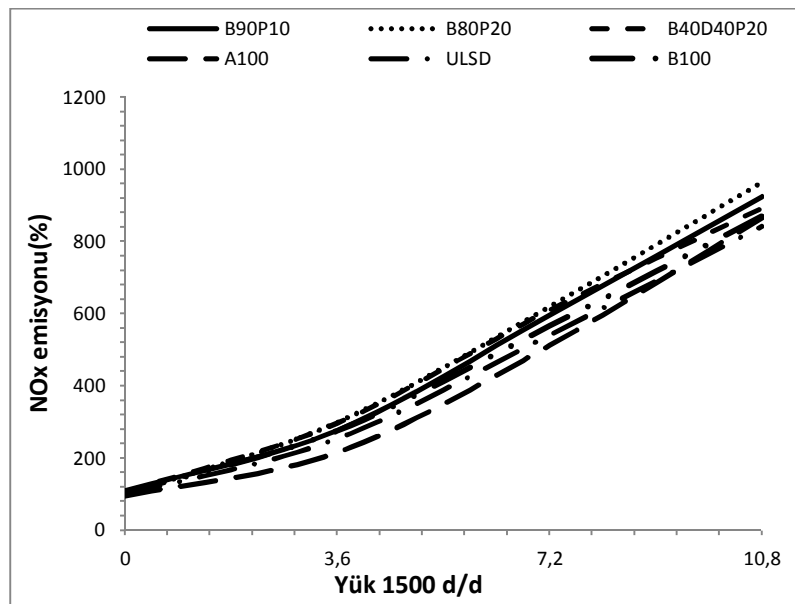
Şekil 7.12. incelendiğinde 0 kW yük değerinde her ne kadar dizel yakıtı en düşük değeri gösterse de ilerleyen yük değerlerinde en iyi sonucun saf aspride elde edildiği görülmektedir. Özellikle 0 kW ve 3,6 kW yük değerlerinde herhangi bir değişim görülmeyp 7,2 de %7 lik bir azalma gözlenmektedir. Bunun aksine diğer yakıt türlerinde artış görülmektedir. Sonrasında da % 31 lik bir artışla en yüksek yük değerinde de en iyi yakıt olarak görülmektedir.



Şekil 7.12. HC emisyonu değerleri

### 7.3.4 Azotoksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının değişimi

Şekil 7.13 incelendiğinde yukarıda da açıklandığı gibi saf aspir motorun yüksüz çalışmasında en düşük değere sahiptir. B80P20 karışımında çok hızlı artışlar görülmektedir. Boşta çalışmada ilk etapta B90P10 karışımı saf aspire oranla % 15 gibi bir artış değeri ile öne çıkmaktadır. En büyük yük değerine varıldığında B80P20 karışımı ULSD ye göre % 14 lük bir fazlalıkla öne çıkmaktadır.



Şekil 7.13. NOx emisyonu değerleri

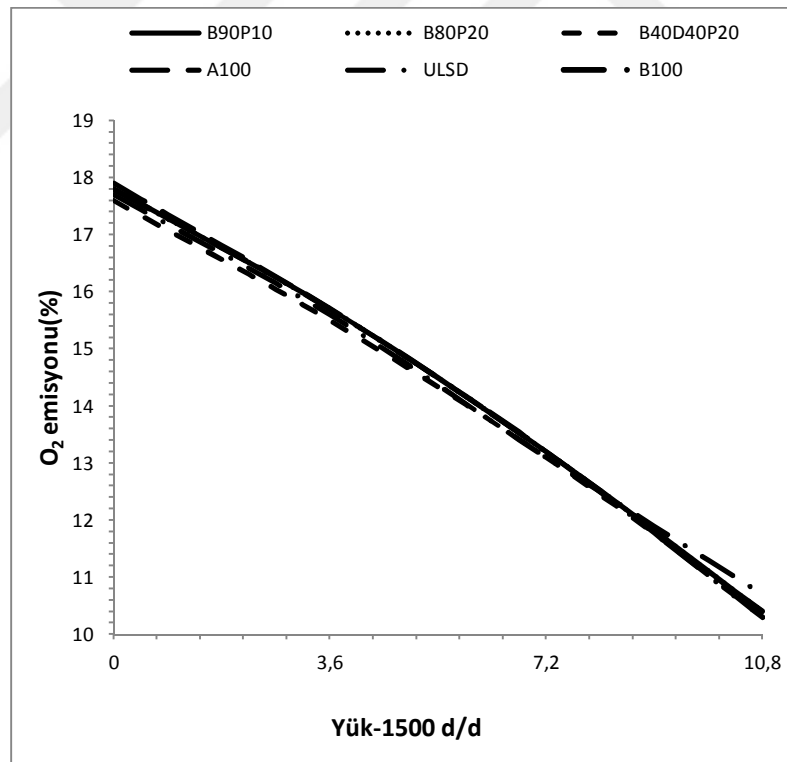


### 7.3.5 Oksijen (O<sub>2</sub>) emisyonlarının değişimi

Egzoz gazlarında O<sub>2</sub> miktarının yüksek olması fakir bir karışım oranı olduğunu gösterir. Dizel motorlarda karışım fakirleşmesi sonucunda yakıt sarfiyatı azalır ve NO<sub>x</sub> haricindeki diğer zararlı emisyon değerlerinde azalma görülmektedir.

şekil 7.14’de biyodizel-motorin yakıtı karışımları kullanımında egzoz gazları içindeki O<sub>2</sub> miktarı görülmektedir. Karbonmonoksit oluşumuna neden olmayacak şekilde, oksijen oranının mümkün olduğunca duşuk olması istenmektedir.

şekil 6.14 incelendiğinde motor boşta çalıştığında en yüksek değer olan saf aspir en duşuk değer olan B40D40P20 karışımına göre % 1,7 oranında fazlalık bir değer sergilemektedir. Motor en üst değer olan 10,8 kW yük değerinde çalıştırıldığında ise saf aspir en buyuk değere sahip olan dizele oranla % 3,9 oranında daha az bir değere sahip olmaktadır.



şekil 7.14 O<sub>2</sub> emisyonu değerleri

## 8.SONUÇ

Bu çalışmada, farklı yüklerde motora saf dizel, saf biyodizel ve propanol ile belirli oranlarda karıştırılan biyodizel gönderilerek motor performansı sonuçları, egzoz emisyon sonuçları ve yanma verileri değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmede ilk olarak silindir basıncına bakıldığında motor yükünün artmasına bağlı olarak silindir basınçlarının beklendiği gibi artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle yüksüz durumda basınç değerleri ULSD ve biyodizel oranı fazla olan B90P10 ile B80P20 karışımlarında diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır. En düşük basınç B100 için elde edilmiştir. Yüklü durumlarda ise tüm test yakıtları için basınç değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Isı salınım değerlerine bakıldığında motor yüküne bağlı olarak artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi, yükün artmasıyla çevrim başına yakılan yakıtın artmasıdır. Test yakıtları karşılaştırıldığında A100 yakıtının viskozitesinin yüksek olması nedeniyle A100'ün ısı salınım değerleri diğer yakıtlara göre sapma göstermiştir. Yüksek propanol içeren karışım yakıtların yüksek motor yüklerinde ısı salınımının pik noktaları daha yüksek çıkmıştır.

Toplam ısı salınımı, yük arttıkça tüm test yakıtları için artış göstermiştir. Bunun nedeni, motor yükü arttıkça çevrim sırasında yakılan yakıt miktarının artmasıdır.

Silindir içi ortalama gaz sıcaklığı değerleri tüm test yakıtları için yük arttıkça artış göstermiştir. Özellikle propanol içeren karışım yakıtların ortalama gaz sıcaklığı biraz daha yüksek çıkmıştır.

Kütlesel yanma oranı, tüm yakıtlar için düşük yüklerde belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir. Motor yükü arttıkça düzelen yanma oranı sayesinde yakılan yakıt kütlesi tüm yakıtlar için benzer olmaktadır. özellikle 7,2 kW ve 10,8 kW motor yüklerinde tüm test yakıtları için kütlesel yanma oranı değerleri oldukça benzerdir.

Kütlesel yakıt tüketimi incelendiğinde yüksüz durumda A100 yakıtı sarfiyat bakımından en fazla tüketilen yakıttır. Ancak motor yükünün artmasıyla özellikle 7,2 kW ve 10,8 kW yüklerinde propanol karışimli yakıtların kütlesel yakıt tüketimi diğer yakıtlara oranla fazla çıkmıştır.

Özgül yakıt tüketimi değerlerinde özellikle biyodizel karışimli yakıtların değerleri dizel yakıtın değerine göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, biyodizelin ısısal değerinin dizel yakıtın ısısal değerine göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü

dizel ile aynı miktarda enerji oluşturmak için daha fazla biyodizel yakılması gerekmektedir.

Termal verim incelendiğinde, biyodizelin dizele oranla daha düşük bir ısı değere sahip olmasına karşın yanma sırasındaki iyileşmeler neticesinde motor, biyodizelin kimyasal enerjisini dizel yakıtın kimyasal enerjisi ile hemen hemen aynı verimlilikte mekanik enerjiye dönüştürebilmektedir.

Egzoz sıcaklığına bakıldığında, özellikle motor yüksüz iken propanol karışımların egzoz gaz sıcaklığı en yüksek değeri göstermektedir. Ancak yük miktarı arttıkça özellikle biyodizelin egzoz gaz sıcaklığı en yüksek değeri göstermektedir.

Emisyon sonuçları incelendiğinde, biyodizel yakıtların CO emisyonları dizel yakıtların CO emisyonlarına oranla düşük çıkmaktadır. Bunun nedeni, biyodizel yakıtların molekül yapılarında oksijen bulunmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle A100 yakıtının CO değerleri diğer yakıtlara göre düşük çıkmaktadır.

CO<sub>2</sub> değerleri incelendiğinde dizel yakıtının CO<sub>2</sub> emisyon değerleri genel olarak diğer yakıtlara oranla düşük çıkmıştır. Diğer yakıtların yüksek çıkma nedeni, biyodizel yakıtında oksijen bulunması ve ayrıca biyodizelin hava fazlalık katsayılarının dizele oranla yüksek olmasından ileri gelmektedir.

HC emisyonlarında yüksüz durumda dizel yakıtı en düşük değere sahiptir. Ancak motor yükü attıkça saf aspirde en iyi sonuç elde edilmektedir.

O<sub>2</sub> miktarının yüksek olması fakir bir karışımın yanma sonucundan kaynaklanmaktadır. 0 kW yükte saf aspir en yüksek değere sahip iken motor yükü en üst seviyede iken dizel en büyük değere sahip olmaktadır.

NO<sub>x</sub> te motor yüksüz çalışırken saf aspir en düşük değere sahiptir. Özellikle B80P20 karışımında çok hızlı artış meydana gelmektedir. En büyük yük değerinde yine B80P20 karışımı ilk sıradadır.

Sonuç itibarı ile, alternatif enerji kaynağı olarak kullanılan aspir bitkisinin iklim şartlarına uygunluğu, kolay elde edilebilirliği ve motor üzerinde köklü değişiklik yapmaya gerek kalmadan kullanımı nedeninin yanında, emisyonlara katkısının istenilen yönde olmasından dolayı özellikle propanol desteğiyle kullanımı uygun görülmüştür. Enerji verimliliği açısından bu çalışmaların teşvik edilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Acaroğlu, M, Demirbaş,A., (2005), Relationships between viscosity and densit measurements of biodiesel fuels. Energy Sources.

Akyarlı,A., “Biyodizelin yakıtın uluslar arası standartlarda üretimi” Bioenerji Sempozyumu İzmir 2004

Anonymous, 2009b. (<http://www.index.gen.tr/biyokutle-enerjisi/>). (Erişim Tarihi:03.03.2009).

Anonymous, 2009c. wikipedia.org. (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Etanol>) (Erişim Tarihi:03.04.2008)

Atabey, E., 2009, Farklı Ekim Zamanlarının Aspir Çeşitlerinde Bazı Tarımsal Özellikleri ve Biyodizel Kalitesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2-16

Babaoğlu,M. ve Nazlıcan, A.N., 2007, Aspir, Soya Yetiştiriciliği, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayın Dairesi Başkanlığı, Ankara, 35-36

Bannister, C.D., Hawley, J.G Ali, H.M., Chuck, C.J., Price, P., Chrysafi, S.S., Brown, A. and Pickford, W., 2009, The Impact Of Biodiesel Blend Ratio On Vehicle Performance And Emissions, Automobile Engineering, Vol:224, 405-421

Borat, O.,Balcı, M. ve Sürmen A., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara

Çanakçı M, Van Gerpen J.H.,2001. Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel. ASAE Annual international meeting; 016050.

Cheng AS, Upatnieks A, Mueller CJ., 2006, Investigation of the impact of biodiesel fuelling on NOx emissions using an optical direct injection diesel engine, Int J Engine Res, 7:297–318.

Choi C.Y., Bower G.R., Reitz R.D., 1997. Effects of biodiesel blended fuels and multiple injections on D.I. diesel engines. SAE paper, 970218.

Durbin TD, Collins JR, Norbeck JM, Smith MR., 2000. Effects of biodiesel, biodiesel blends, and a synthetic diesel on emissions from light heavy duty diesel vehicles. Environ Sci Technology, 34pp:349–55.

Eevera, T., Rajendran, K., Saradha, S., 2009, Biodiesel Production Process Optimization and Characterization to Assess the Suitability of the Product for Varied Environmental Conditions, Renewable Energy, 34:762-765

EPA., 2002. Assessment and Standards Division (Office of Transportation and Air Quality of the US Environmental Protection Agency). A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, EPA, 420-P-02-001.

Erdogan, D., 1991. Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. Tarımsal Mekanizasyon 13.Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 25 – 27 Eylül, Konya.

Ergeneman M., Özaktas T., Karaosmanoglu F., Arslan H. E., 1997a. Ignition Delay Characteristics of some Turkish vegetable oil-diesel fuel blends. Petroleum Science and Technology, Volume 15, Issue 7 & 8 August 1997 , pages 667 -683.

Eryılmaz, T., 2009, Hardal Yağı Biyodizelin Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 7-85

EÜAŞ, 2012. Elektrik Üretimi Sektör Raporu 2012, [www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Sektor Raporu EUAS 2012.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS_2012.pdf) (erişim tarihi: 12.09.2013)

FAO, 2008. "Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities" The State of Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.

Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A. and Masjuki, H.H., 2011, Biodiesel Feasibility Study: An Evaluation Of Material Compatibility; Performance; Emission And Engine Durability, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:1314–1324,

Febri, 2016, ([http://www.nel.com.tr/EN,5773/febris internal combustion engine analysis testing sy.html](http://www.nel.com.tr/EN,5773/febris_internal_combustion_engine_analysis_testing_sy.html).)

Ghobadian, B., Rahimi, H., Nikbakht, A., M., Najafi, G., Yusaf, T., F., 2009, Diesel Engine Performance and Exhaust Emission Analysis Using Waste Cooking Biodiesel Fuel with an Artificial Neural Network, Renewable Energy, 34:976-982,

Gleri, E., 2005, Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Gümüş, M., Kaşifoğlu, S., 2010, Performance and Emission Evaluation of a Compression Ignition Engine Using a Biodiesel (Apricot Seed Kernel Oil Methyl Ester) and Its Blends with Diesel Fuel, Biomass and Bioenergy, 34:134-139

Hamasaki K, Kinoshita E, Tajima H, Takasaki K, Morita D., 2001. Combustion characteristics of diesel engines with waste vegetable oil methyl ester. In: The 5th international symposium on diagnostics and modeling of combustion in internal combustion engines, 2001 (COMODIA 2001).

Heywood, J. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw-Hill, Newyork, s. 491-558, 81-83, 145-154.

İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R. and Aydın, H., 2011, Biodiesel From Safflower Oil And Its Application In A Diesel Engine, Fuel Processing Technology, 92, 356–362

Işığgür, A., 1992. Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi. Yayınlanmamış doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, GTÜ.

Işığgür, A., Karaosmonolu F., Aksoy, H.A., 1994. "Methyl ester from safflower seed oil of Turkish origin as a biofuel for diesel engines", Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol.45/46, 103-112

Karabektaş, M., 2002. " Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımının motor performansına etkisi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Karahan,S.,"Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin dizel Motorlara Etkisi" Ulusal Biyodizel Sunuşayı, Ankara 2006

Karaosmanoğlu, F.,2002, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, CC1 2002 Özel Sayısı, 10, İstanbul, 50-56 s.

Karaosmanoğlu, F., 2008. Biyomotorin ve Türkiye. (<http://www.biyomotorinbiodiesel.com/biomoto.html>) (Erişim tarihi: 21.06.2008).

Knothe, G., 2001. Historical Perspectives on Vegetable Oil-Based Diesel Fuels. Industrial Oil Volume: 121, Page 1103-1107.

Knothe, G.,Dunn, R.O., Bagby, M.O.,1996. Biodiesel: The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels, Oil Chemical Research, National Center for Agricultural Utilization Research, Agricultural Research Service, U.S Department of Agriculture, U.S.A.

Knowles, D., 1984, Alternative Fuels. Reston Publishing Company Inc. .Virginia

Koçak, M.S., 2005, Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,

Krahl J, Munack A, Bahadır M, Schumacher L, Elser N.,1996.Review: utilization of rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester or diesel fuel: exhaust gas emissions and estimation of environmental effects. SAE paper 962096.

Kusdiana, D. and Saka, S., 2000. A Novel process of the biodiesel fuel production insupercritical methanol. 1st World conference and exhibition on biomass for energy and industry. 5-9 June Sevilla, Spain. Volume I, pp: 563-566.

K. Yamane, A. Ueta and Y., 2004, Shimamoto, Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine, Int J Engine Res 4 , pp. 249-261.

Labeckas G, Slavinskas S.,2006. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Energy Convers Manage* Vol.47 pp:1954–67.

Lapuerta, M., Armas, O., Fernandez, J.R., 2007. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, *Science Direct., Progress In Energy and Combustion Science*.

Last R.J., Krueger M., Durnholz M., 1995. Emissions and performance characteristics of a 4-stroke, direct injected diesel engine fueled with blends of biodiesel and low sulfur diesel fuel. SAE paper, 950054.

Lee, Y., Oh, S., Chang, J. and Kim, I., 2004, Chemical Composition And Oxidative Stability Of Safflower Oil Prepared From Safflower Seed Roasted With Different Temperatures, *Food Chemistry*, 84, 1-6

L. Turrio-Baldassarri, C.L. Battistelli, L. Conti, R. Crebelli, B.,2004. De Berardis and A.L.Iamiceli et al., Emission comparison of urban bus engine fuelled with diesel oil and biodiesel blend, *Sci Total Environ*327, pp. 147–162.

Marshall W, Schumacher LG, Howell S., 1995. Engine exhaust emissions evaluation of a cummins L10E when fuelled with a biodiesel blend. SAE paper 952363.

McCormick R.L., Tennant CJ, Hayes RR, Black S, Ireland J, McDaniel T.,2005. Regulated emissions from biodiesel tested in heavy-duty engines meeting 2004 emission standards, SAE paper, 2005-01-2200.

M. Lapuerta, O. Armas, R. Ballesteros and J. Fernández, 2005. Diesel emissions from biofuels derived from Spanish potential vegetable oils, *Fuel*84 , pp. 773–780.

Monyem A., Van Gerpen J.H., 2001. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions., *Biomass and Bioenergy* 20 pp:317-325.

NREL, 2008. Biodiesel Handling and Use Guide (Fourth Edition). National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-540-43672.

Öğüt, H, Ark., 2007, Standartlara Uygun Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Doğrudan Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu*, Ankara

Öğüt, H. ve Oğuz, H.,2005. Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel, Nobel Yayınevi Ltd. Sti.

Öğüt, H ve Oğuz, H, 2006, Biyodizel Üçüncü Milenyumun Yakıtı, Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı, ISBN 975-591-730-6, Konya.

Poulton, M.L., 1994. Alternative Fuels for Road Vehicles. Computational Mechanics Publications, Southampton.

Rakopoulos CD, Hountalas DT, Zannis TC, Levendis YA.,2004. Operational and environmental evaluation of diesel engines burning oxygen-enriched intake air or oxygen-enriched fuels: a review. SAE paper, 2004-01-2924.

Ramadhass AS, Muraleedharan C, Jayaraj S., 2005. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. *Renew Energy*, Vol. 30 pp:1789–800.

Safgönül, B., Arslan, H.E, Ergeneman, M. ve Sorousbay, C., (1999) İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 218s.

Schmidt K, Van Gerpen JH., 1996. The effect of biodiesel fuel composition on diesel combustion and emissions, SAE paper, 961086.

Schumacher, L.G.,1997. 6V-92TA DDC Engine exhaust emission test using methyl ester, National Soy Diesel Development Board, U.S.A

Schumacher LG, Borgelt SC, Hires WG, Fosseen D, Goetz W., 1994. Fuelin Diesel engines with blends of methyl ester soybean oil and diesel fuel. Gnternet Erisimi:/www.missouri.edu/\_pavt0689/ASAED94.htmS.

Serdari A, Fragioudakis K, Teas C, Zannikos F, Stournas S, Lois E.,1999. Effect of biodiesel addition to diesel fuel on engine performance and emissions., *J Propul Power*,15 pp:224–31.

Song J., Zello V., Boehman A.L., 2004. Comparision of the impact of intake oxygen enrichment and fuel oxygenation on diesel combustion and emissions, *Energy Fuels*, 18:1282–90.

Storey J.M., Lewis S.A., 2005. West B.H., Huff S.A., Slucer C.S., Wagner R.M., 2005. Hydrocarbon species in the exhaust of diesel engines equipped with advanced emissions control devices. CRC projet no. AVFL- 10b-2 2005.

Taşyürek, M., Acaroğlu, M., 2007. Biyoyakıtlarda (Biyomotorinde) Emisyon Azaltımı ve Küresel Isınmaya Etkisi. Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı, Konya.

TSE, 2009. Türkiye Standartlar Enstitüsü Web Sitesi. ([http://www.tse.org.tr/Turkish/Abone/Standard\\_Detay.asp STDNO=51144](http://www.tse.org.tr/Turkish/Abone/Standard_Detay.asp STDNO=51144)) (Erişim Tarihi:02.03.2009)

Uysal, N., 2006, Isparta, Populasyonundan Geliştirilen Aspir(*CarthamustinctoriusL.*) Hatlarının Tarımsal Ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 3-21

Weiss, E.A., 2000, Safflower, In: *Oilseed Crops*, Blackwell Sci. Ltd.,Victoria, Australia, pp 93-129.

Ziejewski M., Goettler, H.J., Haines, H., Huang, C., 1996. “EMA Durability tests on high oleic sunflower and safflower oils in diesel engines”, SAE Paper, No:961846



[URL 1] [http://tr.wikipedia.org/motorlu taşıtlar](http://tr.wikipedia.org/motorlu_tasitlar), 2006

[URL 2] [www.iea.org](http://www.iea.org), 2007

[URL 3] <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>, 2006

[URL 4] <http://www.biyomotorin-biodiesel.com>, 2006

[URL 5] [http:// www.biodiesel.org/pdf\\_files/emissions.PDF](http://www.biodiesel.org/pdf_files/emissions.PDF)

[URL 6] <http://www.balikesirborsa.org.tr/tema1/haber/detay.aspir>

[http:// www.biodiesel.org/pdf\\_files/emissions.PDF](http://www.biodiesel.org/pdf_files/emissions.PDF)

<http://www.biyomotorin-biodiesel.com>



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Zülfü TOSUN  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Maden, 01.01.1974  
**Telefon** : 505 549 92 04  
**Faks** : -  
**e-mail** : www.zulfu\_tosun@mynet.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Melik Ahmet Lisesi,	Sur	Diyarbakır	1992
Üniversite	: Batman Üniversitesi,	Merkez	Batman	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi,	Merkez	Batman	2017
Doktora	: -			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1998	Batman Milli Eğitim Müdürlüğü	Öğretmen
2015	Batman Milli Eğitim Müdürlüğü	Mühendis

### UZMANLIK ALANI

Ortaöğretim Matematik

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

-

### YAYINLAR\*

-